

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΜΑΡΝΕΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Α.Μ. 5142)
ΦΑΪΛΑΔΗΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ (Α.Μ. 5177)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στα Σύγχρονα Συστήματα Βελτίωσης της Απόδοσης των Βενζινοκινητήρων που είτε εφαρμόζονται ήδη, είτε θα εφαρμοστούν στο μέλλον.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να βοηθήσει τους αναγνώστες της να κατανοήσουν την λειτουργία και το σκοπό της χρήσης τέτοιων συστημάτων, μέσα από την ανάλυσή τους. Σε αυτήν την εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τετράχρονους εμβολοφόρους βενζινοκινητήρες εσωτερικής καύσης, μιας και η χρήση τους είναι η συχνότερη και η περισσότερο διαδεδομένη στις μέρες μας.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Επαμεινώνδα Αλεξόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την εκπόνηση της Εργασίας.

Μαρνέρης Δημήτριος
Φαϊλάδης Θεοφάνης
Μάιος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη Πτυχιακή Εργασία μελετά και αναλύει τον τρόπο λειτουργίας και την χρησιμότητα της εφαρμογής των Σύγχρονων Συστημάτων Βελτίωσης της Απόδοσης σε τετράχρονους βενζινοκινητήρες. Στόχος των συστημάτων, αυτών, που θα αναλυθούν στην συνέχεια, είναι η ικανοποίηση των απαιτήσεων του αγοραστικού κοινού, υπολογίζοντας ταυτόχρονα και τον τομέα περιβάλλον. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά κεφάλαια.

Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή των τετράχρονων εμβολοφόρων βενζινοκινητήρων, παρουσιάζονται τα πρώτα οχήματα, στην ιστορία, που εφοδιάστηκαν με αυτές τις μηχανές εσωτερικής καύσης, καθώς επίσης παρουσιάζονται και τα σημαντικότερα στάδια εξέλιξης των συστημάτων βελτίωσης της απόδοσής τους.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά παλαιότερα, αλλά και πιο σύγχρονα συστήματα ψεκασμού του καυσίμου, ενώ αναλύεται και ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναφέρονται τα συστήματα τα οποία μεταβάλλουν τον χρονισμό, και σε κάποιες περιπτώσεις και το βύθισμα, των βαλβίδων εισαγωγής, ή ακόμα και της εξαγωγής, του κινητήρα.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς η υπερτροφοδότηση των βενζινοκινητήρων, ενώ αναφέρονται και τα συστήματα διπλής ή παράλληλης υπερτροφοδότησης.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο μελετάται ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων μεταβλητής σχέσης συμπίεσης και περιγράφονται τα βασικά εξαρτήματα τέτοιων κινητήρων.

Στο έκτο Κεφάλαιο αναλύονται σύγχρονοι κινητήρες άμεσου ψεκασμού και γίνεται σύγκριση της αποδοτικότητάς τους.

Τέλος, στο έβδομο Κεφάλαιο αναφέρεται το μέλλον των βενζινοκινητήρων, και τα περιθώρια βελτίωσης των επιμέρους συστημάτων που τους αποτελούν.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτήν την Πτυχιακή Εργασία είναι ότι τόσο οι βενζινοκινητήρες, σαν μηχανικά σύνολα, όσο και τα επιμέρους συστήματα που τους αποτελούν, δεν έχουν εξαντλήσει ακόμα όλα τα περιθώρια εξέλιξής τους, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να περιμένουμε θεαματικά αποτελέσματα από τους βενζινοκινητήρες του μέλλοντος. Κύρια πρωτοτυπία της Εργασίας αυτής είναι το ευρύ φάσμα πολλών διαφορετικών, σύγχρονων και μη, συστημάτων βελτίωσης της απόδοσης που καλύπτεται σε ένα μόνο τεύχος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1	Ιστορική αναδρομή.....	1
1.2	Χρονολογική παρουσίαση συστημάτων των ΜΕΚ.....	5

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

2.1	Συστήματα Ψεκασμού.....	6
2.2	Στοιχειομετρικό Μίγμα - Λόγος λ.....	6
2.3	Αισθητήρας λ.....	8
2.4	Εξαερωτήρας – Καρμπυρατέρ.....	9
2.5	Μηχανικό Σύστημα Ψεκασμού.....	10
2.6	Σύστημα Μηχανικού & Ηλεκτρονικού Ψεκασμού.....	12
2.7	Ηλεκτρονικό Σύστημα Ψεκασμού.....	14
2.8	Πλεονεκτήματα Ηλεκτρονικού Συστήματος Ψεκασμού.....	17
2.9	Άμεσος Ψεκασμός.....	17
2.10	Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος.....	21
2.11	Πρόγραμμα Υψηλής Απόδοσης.....	21
2.12	Κινητήρας Άμεσου Ψεκασμού - Mitsubishi GDI.....	23
2.13	Λειτουργία Κινητήρα GDI.....	25
2.14	Το Πρόβλημα Των Κινητήρων GDI.....	30
2.15	Κινητήρας Άμεσου Ψεκασμού - Renault IDE.....	30
2.16	Αρχή Λειτουργίας Κινητήρα IDE.....	31
2.17	Κινητήρας Έμμεσου Ψεκασμού - Nissan DIS.....	33

3. ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

3.1	Μεταβλητός Χρονισμός Βαλβίδων.....	36
3.2	Honda VTEC.....	37
3.3	Toyota VVT-i, Dual VVT-i, VVTL-i.....	38
3.4	BMW Vanos, Valvetronic.....	43
3.5	Fiat Multiair.....	47

4. ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ

4.1	Υπερτροφοδότηση.....	52
4.2	Τύποι Υπερσυμπιεστών.....	52

4.3	Αρχή Λειτουργίας.....	53
4.4	Μηχανικοί Υπερσυμπιεστές.....	54
4.5	Φυγοκεντρικός Υπερσυμπιεστής.....	58
4.6	Εναλλάκτης Θερμότητας.....	60
4.7	Βαλβίδα Ανακούφισης.....	63
4.8	Wastegate.....	65
4.9	Πλήρης Διάταξη Φυγοκεντρικού Υπερσυμπιεστή & Λοιπών Εξαρτημάτων.....	66
4.10	Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Μηχανικών & Φυγοκεντρικών Υπερσυμπιεστών.....	67
4.11	Διπλή Υπερτροφοδότηση.....	68
4.12	Φυγοκεντρικοί Υπερσυμπιεστές Μεταβλητής Γεωμετρίας.....	71
5. ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΣΧΕΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ		
5.1	Μεταβλητή Σχέση Συμπίεσης.....	74
5.2	Αρχή Λειτουργίας VCR.....	75
5.3	Κινητήρας Μεταβλητής Σχέσης Συμπίεσης - Saab SVC.....	75
5.4	Ο Επαναστατικός Κινητήρας Της MCE-5 Development.....	76
5.5	Πλεονεκτήματα Κινητήρων VCR Της MCE-5.....	81
5.6	Κινητήρας VCR Στη Γραμμή Παραγωγής.....	81
6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ		
6.1	Ανάλυση Σύγχρονων Κινητήρων Άμεσου Ψεκασμού.....	83
6.2	Κινητήρας TSI Twincharger.....	83
6.3	Σύγκριση Κινητήρων Νέου VW Golf.....	92
6.4	Κινητήρας 1.2 TSI.....	94
7. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ BENZINOKΙΝΗΤΗΡΩΝ		
7.1	Το Μέλλον Των Βενζινοκινητήρων.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		101

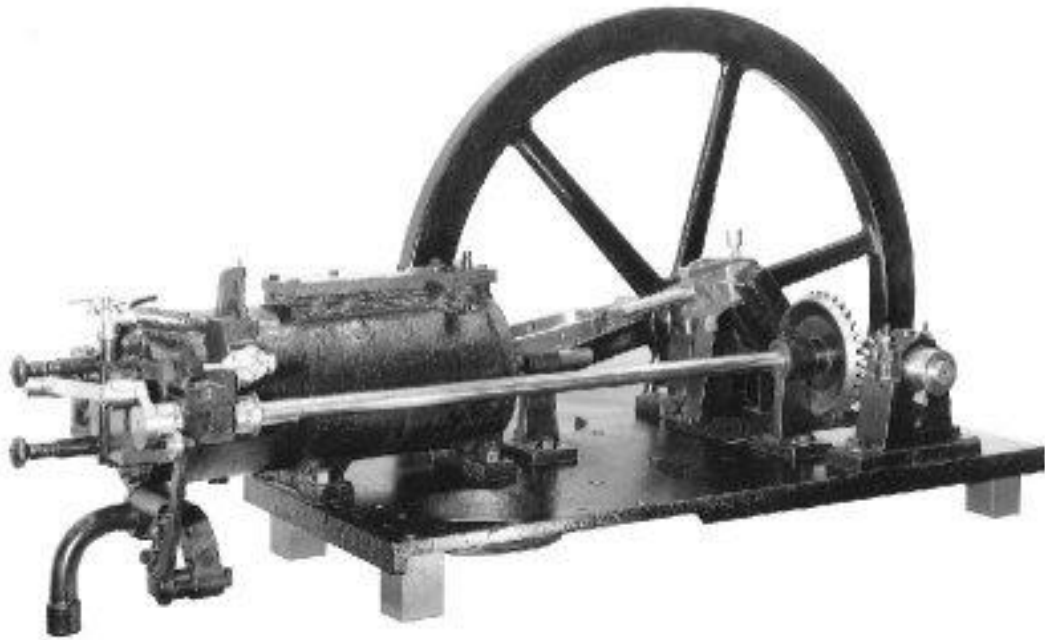
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) είναι οι κινητήριες μηχανές που μετατρέπουν την αποθηκευμένη χημική ενέργεια, που βρίσκεται μέσα σε κάποιο καύσιμο, άμεσα σε κινητική. Η βασική ιδέα λειτουργίας ενός τέτοιου κινητήρα ήταν η πραγματοποίηση έκρηξης ενός μίγματος, αποτελούμενο από εύφλεκτα αέρια ή υγρά, μέσα σε ένα κύλινδρο, όπου θα υπήρχε ένα έμβολο το οποίο θα το ωθούσε η έκρηξη του μίγματος, παράγοντας έτσι μηχανικό έργο. Η λειτουργία των εμβολοφόρων, ή αλλιώς παλινδρομικών, αυτών Μ.Ε.Κ. στηρίζεται στην παραγωγή μηχανικού έργου από την καύση του καύσιμου μίγματος η οποία πραγματοποιείται από εξωτερικό μέσο, αναφλεκτήρα, μιας και αναφερόμαστε μόνο σε βενζινοκινητήρες.

Ο πρώτος βενζινοκινητήρας του οποίου ένας κύκλος λειτουργίας του πραγματοποιούταν σε τέσσερις χρόνους, όπως τον γνωρίζουμε σήμερα, κατασκευάστηκε και παρουσιάστηκε από τον Γερμανό μηχανικό Nikolaus Augustus Otto το 1876, Εικ. 1.1.1, κλείνοντας οριστικά την εποχή των πρώιμων κινητήρων. Οι τέσσερις, αυτοί, χρόνοι λειτουργίας ενός κινητήρα είναι οι εξής :

- i. Αναρρόφηση φρέσκου μίγματος αέρα-βενζίνης, καθώς το έμβολο κινείται προς το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ), πρώτος χρόνος.
- ii. Συμπίεση του μίγματος, καθώς το έμβολο κινείται προς το Ανω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ), δεύτερος χρόνος.
- iii. Καύση του μίγματος από σπινθήρα ο οποίος προκαλείται από τον αναφλεκτήρα, οπότε προκαλείται διαστολή του μίγματος απωθώντας το έμβολο προς το ΚΝΣ και παράγοντας έργο, τρίτος χρόνος.
- iv. Εξαγωγή των παραγόμενων καυσαερίων από τον κύλινδρο, καθώς το έμβολο κινείται προς το ΑΝΣ, τέταρτος χρόνος.



Εικόνα 1.1.1 : Ο πρώτος τετράχρονος βενζινοκινητήρας Otto.

Ο τετράχρονος κύκλος είχε παρουσιαστεί από τον Alphonse Bo De Rosa 14 χρόνια νωρίτερα, το 1862, στο Παρίσι σαν ο ιδανικός κύκλος λειτουργίας μιας μηχανής για άριστη απόδοση. Αυτήν ακριβώς την θεωρία χρησιμοποίησε ο Otto στον νέο, για εκείνη την εποχή, κινητήρα του.

Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτού του κινητήρα, σε σχέση με τους παλαιότερους, ήταν η συμπίεση του μίγματος αέρα-βενζίνης, κάτι που δεν έχει αλλάξει και δεν πρόκειται να αλλάξει για αρκετά, τουλάχιστον, χρόνια ακόμα, παρά τις αναρίθμητες τροποποιήσεις και βελτιώσεις που έχει δεχτεί αυτός ο κινητήρας.

Ύστερα από αρκετούς πειραματισμούς για την βελτίωση της πυροδότησης του καύσιμου μίγματος στον κύλινδρο του κινητήρα, δύο μηχανικοί, ο Gottlieb Daimler και ο Wilhelm Maybach, ολοκλήρωσαν έναν τετράχρονο βενζινοκινητήρα 500 cc με ισχύ 1 ps το 1884. Ο κινητήρας αυτός ήταν μονοκύλινδρος με μικρές διαστάσεις, Εικ. 1.1.2, και ήταν κατάλληλος ώστε να τοποθετηθεί σε οχήματα. Για την προώθηση της βενζίνης, για καύση, στον κύλινδρο χρησιμοποίησαν ένα είδος εξαερωτήρα (καρμπυρατέρ).



Εικόνα 1.1.2 : Ο κινητήρας των G. Daimler και W. Maybach.

Οι δύο μηχανικοί κατασκεύασαν ένα χρόνο αργότερα το πρώτο όχημα, Εικ. 1.1.3, ένα ξύλινο ποδήλατο, στο οποίο τοποθέτησαν αυτόν τον βενζινοκινητήρα, ενώ το 1886 κατασκεύασαν μία τροποποιημένη αλογοάμαξα με τον ίδιο κινητήρα, Εικ. 1.1.4 .



Εικόνα 1.1.3 : Το πρώτο όχημα με τετράχρονο βενζινοκινητήρα.



Εικόνα 1.1.4 : Τροποποιημένη αλογοάμαξα με τετράχρονο βενζινοκινητήρα.

Μετά την εμφάνιση των πρώτων οχημάτων άρχισαν να εμφανίζονται νέα τροποποιημένα οχήματα και τα πρώτα αυτοκίνητα με αποδοτικότερους, βέβαια, βενζινοκινητήρες. Άξιο αναφοράς είναι, επίσης, η παρουσίαση ένας νέου μαγνητικού συστήματος σπινθηρισμού υψηλής τάσης για την πυροδότηση του καύσιμου μίγματος στον κύλινδρο του βενζινοκινητήρα, το 1902 από τη γερμανική εταιρία Bosch η οποία ειδικεύεται στην κατασκευή αναφλεκτήρων μέχρι και σήμερα. Όλοι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων της εποχής υιοθέτησαν αυτό το σύστημα, και μέχρι το 1914 είχαν πουληθεί 2 εκατομμύρια συστήματα σπινθηρισμού.

Όλα αυτά, που περιγράψαμε παραπάνω, αποτέλεσαν τα πρώτα σημαντικά βήματα της εξέλιξης των τετράχρονων βενζινοκινητήρων εσωτερική καύσης. Τόσο, όμως, η εξέλιξη αυτών των κινητήρων, όσο και των επιμέρους συστημάτων που τους αποτελούν διαρκεί περισσότερο από έναν αιώνα και συνεχίζεται μέχρι και τις μέρες μας ακατάπαυστα. Επίσης, η ύπαρξη των αγώνων ταχύτητας και των πετρελαιοκινητήρων, κατά τον 20^ο και 21^ο αιώνα, έπαιξε καθοριστικό ρόλο για την εξέλιξη των βενζινοκινητήρων, αφού κάποια από τα συστήματα που βελτιώνουν την απόδοσή τους εφαρμόζονταν πρώτα στους αγώνες ή στους πετρελαιοκινητήρες. Τέτοια συστήματα, βελτίωσης της απόδοσης, αναλύονται στα ακόλουθα κεφάλαια.

1.2 ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΚ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ονομαστικά, και σε χρονολογική σειρά, η εξέλιξη των σημαντικότερων συστημάτων στον τομέα των βενζινοκινητήρων, μέχρι σήμερα :

- i. 1876 : Τετράχρονος Κινητήρας Otto.
- ii. 1896 : Πρώτη Εφαρμογή Καρμπυρατέρ.
- iii. 1910 : Μονός Επικεφαλής Εκκεντροφόρος.
- iv. 1912 : Διπλός Επικεφαλής Εκκεντροφόρος.
- v. 1920 : Εμφάνιση Μηχανικού Υπερσυμπιεστή.
- vi. 1928 : Κυλινδροκεφαλή Από Αλουμίνιο.
- vii. 1930 : Μηχανικό Σύστημα Ψεκασμού.
- viii. 1952 : Άμεσος Ψεκασμός Βενζίνης.
- ix. 1957 : Εμφάνιση Ηλεκτρονικού Ψεκασμού (EFI).
- x. 1967 : Πρώτο Σύστημα Ηλεκτρονικού Ψεκασμού.
- xi. 1973 : Μαζική Παραγωγή Turbo Κινητήρα.
- xii. 1976 : Εμφάνιση Αισθητήρα λ.
- xiii. 1980 : Μηχανικός Μεταβαλλόμενος Χρονισμός Βαλβίδων.
- xiv. 1989 : Μεταβαλλόμενη Βύθιση & Χρονισμός Βαλβίδων.
- xv. 1997 : Ηλεκτρονικά Ελεγχόμενος Άμεσος Ψεκασμός.
- xvi. 2005 : Διπλή Υπερτροφοδότηση.
- xvii. 2006 : Μεταβλητής Γεωμετρίας Turbo.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Τα συστήματα ψεκασμού αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της εξέλιξης των μηχανών εσωτερικής καύσης, με αποτέλεσμα συνεχώς να εξελίσσονται. Με το πέρασμα των χρόνων, το γνωστό καρμπυρατέρ, ή αλλιώς εξαερωτήρας, αντικαταστάθηκε από τα μηχανικά συστήματα ψεκασμού (injection), από τα συστήματα που συνδυάζουν μηχανικό και ηλεκτρονικό ψεκασμό και αυτά με την σειρά τους από ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα έκχυσης καυσίμου. Πλέον, έχουμε φτάσει στην εποχή του άμεσου ψεκασμού. Σ' αυτό έχουν συμβάλει τόσο οι εξελίξεις της σύγχρονης τεχνολογίας, όσο και οι αυστηρότερες προδιαγραφές των χωρών για μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Τα συστήματα ψεκασμού είναι υπεύθυνα για την τροφοδότηση του καυσίμου μίγματος (αέρα-βενζίνης) στους βενζινοκινητήρες. Βασικός σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η αύξηση της ισχύος του κινητήρα και, ταυτοχρόνως, η μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου μέσω του ελέγχου της ροής του αέρα και της ποσότητας του καυσίμου μέσα στον κινητήρα. Τέλος, καθορίζουν την σύσταση του στοιχειομετρικού μίγματος, η οποία πρέπει να είναι κατάλληλη έτσι ώστε όλες οι φάσεις λειτουργίας του κινητήρα να καλύπτονται από την καύση που πραγματοποιείται.

2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΙΓΜΑ - ΛΟΓΟΣ λ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης πρέπει να έχουν την δυνατότητα να μετατρέπουν την θερμογόνο δύναμη των καυσίμων σε μηχανική ενέργεια, ώστε να παραχθεί το ζητούμενο έργο. Στην περίπτωση των κινητήρων που εξετάζουμε, το καύσιμο αυτό είναι η βενζίνη. Η βενζίνη αναμιγνύεται με τον αέρα και έτσι δημιουργείται το μίγμα αέρα-βενζίνης το οποίο θα καεί για να παραχθεί έργο.

Η αναλογία των δύο συστατικών που αποτελούν το καύσιμο μίγμα, δηλαδή ο ατμοσφαιρικός αέρας και η βενζίνη, πρέπει να είναι συγκεκριμένη, έτσι ώστε να υπάρχει τέλεια καύση. Η στοιχειομετρική, αυτή, αναλογία αέρα-βενζίνης είναι 14,7:1. Αυτό σημαίνει ότι για την επίτευξη της τέλει καύσης πρέπει να αναμειχθούν 14,7 μέρη ατμοσφαιρικού αέρα με 1 μέρος βενζίνης.

Σαν **λόγος λ** ορίζεται η αναλογία αέρα-καυσίμου που χρησιμοποιείται από τον κινητήρα μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, προς την στοιχειομετρική

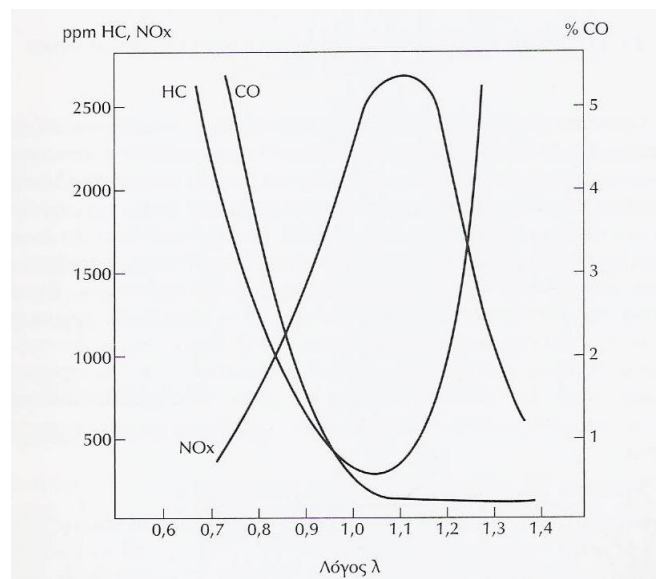
αναλογία αέρα-καυσίμου και απεικονίζει αριθμητικά το κατά πόσο «πλούσιο» ή «φτωχό» είναι το μίγμα αερα-καυσίμου.

Ο λόγος λ θα έπρεπε να ισούται πάντα με ένα ($\lambda=1$), κάτω από ιδανικές συνθήκες. Αυτό, βέβαια, δεν μπορεί να συμβεί λόγω του ότι η ποσότητα του εισερχόμενου ατμοσφαιρικού αέρα μεταβάλλεται συνεχώς, αφού μεταβάλλεται τόσο η πίεση, όσο και η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα η ισχύς, η κατανάλωση καυσίμου, η ομαλότητα λειτουργίας και οι εκπομπές ρύπων του κινητήρα να επηρεάζονται από τον λόγο λ , ακόμα και με την παραμικρή μεταβολή του. Παρ' όλα αυτά, όταν η τιμή του λόγου λ ισούται με ένα ($\lambda=1$), δεν σημαίνει αυτόματα ότι είναι και η ιδανική για κάθε κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα, όπως για την επίτευξη ενός τέλει ρελαντί, αφού για διαφορετικές συνθήκες και απαιτήσεις του κινητήρα, ο ιδανικός λόγος λ διαφοροποιείται.

Όταν οι απαιτήσεις ενός οχήματος είναι υψηλές, δηλαδή όταν λειτουργεί με πλήρες φορτίο, όπως κατά την επιτάχυνση ή όταν κινείται με υψηλές ταχύτητες ή κατά την εκκίνηση του κινητήρα, ο λόγος λ είναι μικρότερος του ένα ($\lambda < 1$) και το μίγμα αέρα-βενζίνης χαρακτηρίζεται πλούσιο, αφού η αναλογία του μίγματος που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι 13:1, 12:1 κ.τ.λ., λόγω του ότι η ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται είναι μεγαλύτερη.

Από την άλλη μεριά, όταν ένα όχημα κινείται με σταθερή, και σχετικά χαμηλή, ταχύτητα ή όταν επιβραδύνει ή σταματά, ο λόγος λ είναι μεγαλύτερος από την μονάδα ($\lambda > 1$), αφού η αναλογία αέρα-βενζίνης που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι 15:1, 16:1 κ.τ.λ., και το μίγμα αυτό χαρακτηρίζεται φτωχό. Σε αυτήν την περίπτωση η ποσότητα της βενζίνης που ψεκάζεται δεν είναι τόσο μεγάλη.

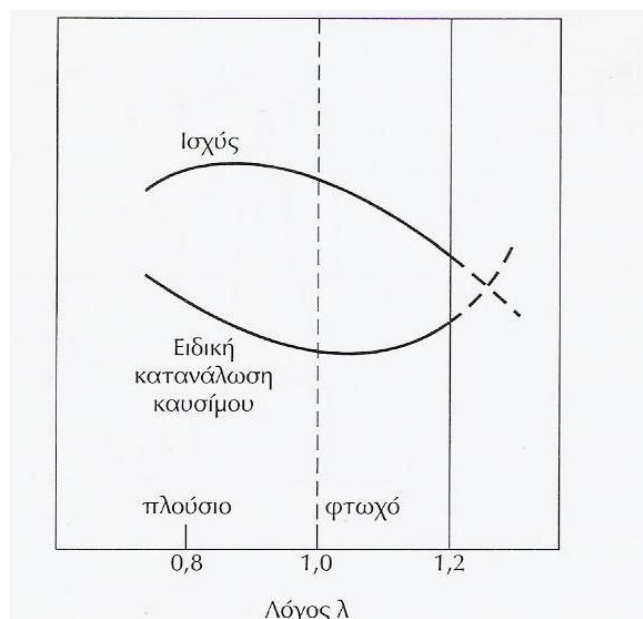
Όπως αναφέραμε και παραπάνω, ο λόγος λ επηρεάζει τις εκπομπές ρύπων του κινητήρα, καθώς και την σύστασή τους. Στο Σχ. 2.2.1 φαίνεται το πώς επηρεάζονται οι ρύποι σε σχέση με τον λόγο λ .



Σχήμα 2.2.1 : Επίδραση του λόγου λ στις εκπομπές ρύπων.

Όταν το μίγμα είναι πλούσιο σε βενζίνη, $\lambda < 1$, παρατηρούμε ότι τα οξειδία του αζώτου (NOx) βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα, αλλά οι υδρογονάνθρακες (HC) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι πολύ υψηλά. Από την άλλη μεριά, όταν το μίγμα είναι φτωχό, $\lambda > 1$, τα οξειδία του αζώτου αυξάνονται πολύ, ενώ οι υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο του άνθρακα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα.

Η ιδανικότερη, λοιπόν, περιοχή στην οποία θα ήταν καλό να κυμαίνεται ο λόγος λ θα ήταν μεταξύ 0,9 και 1,05, και από άποψη εκπομπής ρύπων αλλά και από άποψη απόδοσης και κατανάλωσης. Το τελευταίο προκύπτει από το Σχ. 2.2.2 στο οποίο παρατηρούμε ότι η περιοχή του λόγου λ από 0,9 έως 1,05 είναι η ικανοποιητικότερη, παρ' όλο που δεν φαίνεται να υπάρχει ιδανικός λόγος λ ο οποίος να επιτυγχάνει τις βέλτιστες τιμές ισχύος και ειδικής κατανάλωσης.



Σχήμα 2.2.2 : Επίδραση του λόγου λ στην παραγόμενη ισχύ και την ειδική κατανάλωση.

2.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ λ

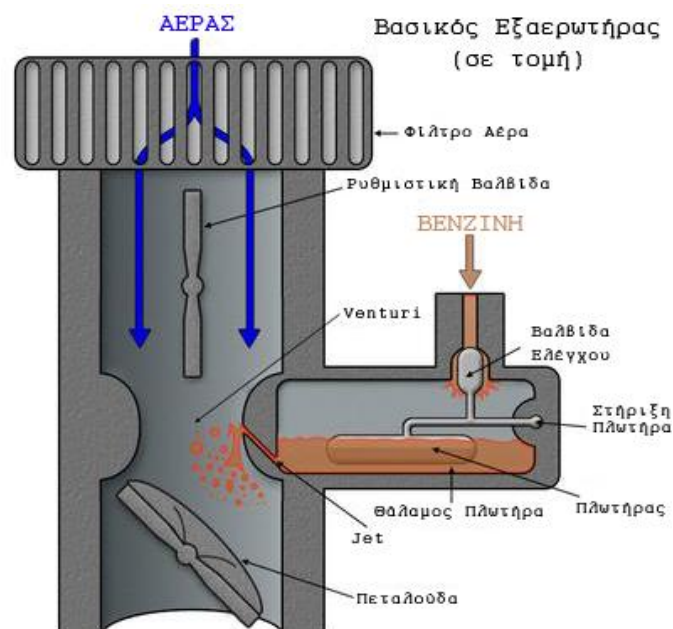
Είναι προφανές πως ο λόγος λ είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την λειτουργία του κινητήρα, αφού απεικονίζει ανά πάσα στιγμή την αναλογία μίγματος που χρησιμοποιείται από τον κινητήρα. Πολλές φορές το πολύ πλούσιο μίγμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον κινητήρα έχει σαν αποτέλεσμα την άσκοπη και αλόγιστη κατανάλωση βενζίνης, ενώ αντίθετα το πολύ φτωχό μίγμα μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα προανάφλεξης, με αποτέλεσμα την κρουστική καύση, πράγμα ανεπιθύμητο για την λειτουργία του κινητήρα.

Για τον λόγο αυτό πρέπει να ελέγχεται και να διορθώνεται, ο λόγος λ , όταν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από τον ιδανικό λόγο λ για κάθε κατάσταση

λειτουργίας. Ο έλεγχος αυτός γίνεται από έναν ηλεκτροχημικό αισθητήρα οξυγόνου ο οποίος βρίσκεται κοντά στον αγωγό της εξάτμισης, λόγω του ότι χρειάζεται υψηλή θερμοκρασία για να λειτουργήσει. Αυτός ο αισθητήρας ονομάζεται λήπτης ή αισθητήρας λ, και σκοπός του είναι να προσδιορίζει την περιεκτικότητα, των καυσαερίων που παράγονται από την μηχανή εσωτερική καύσης, σε οξυγόνο. Πάντοτε υπάρχει οξυγόνο στα παραγόμενα καυσαέρια, ακόμα και αν το μίγμα αέρα-βενζίνης είναι πολύ πλούσιο. Με την πληροφορία αυτή είναι εφικτός ο προσδιορισμός των ρύπων που εκπέμπονται. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα λαμβάνει αυτή την πληροφορία και επεμβαίνει στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, ώστε να διορθωθεί η αναλογία του μίγματος αέρα-βενζίνης και να πλησιάσει την στοιχειομετρική. Τέλος, είναι λογικό ότι αυτός ο αισθητήρας συναντάται μόνο σε κινητήρες με ηλεκτρονικά συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου.

2.4 ΕΞΑΕΡΩΤΗΡΑΣ - ΚΑΡΜΠΥΡΑΤΕΡ

Ο εξαερωτήρας αποτελεί μία μέθοδο τροφοδοσίας καυσίμου μίγματος των βενζινοκινητήρων, κατά την οποία ο εισερχόμενος αέρας, και μόνο αυτός, καθορίζει την ποσότητα της βενζίνης που θα περιέχεται στο μίγμα, που θα οδηγηθεί στο θάλαμο καύσης. Αυτό συμβαίνει χάρη στην αρχή λειτουργίας Bernoulli.



Σχήμα 2.4.1 : Εξαερωτήρας σε τομή.

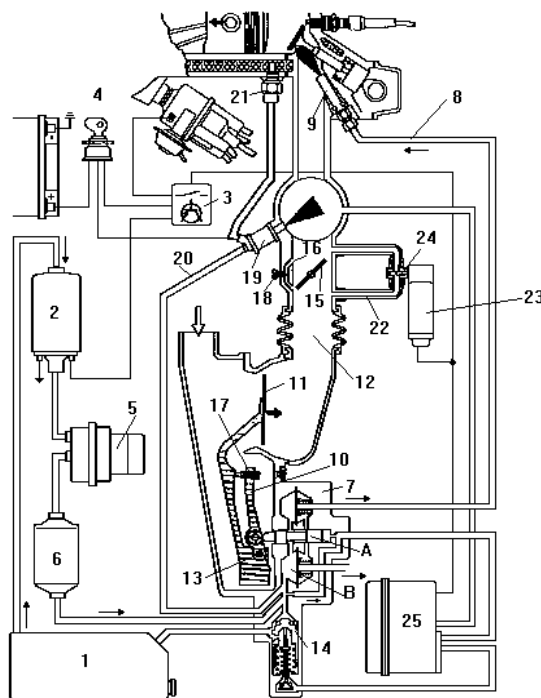
Όταν οι βαλβίδες εισαγωγής του εκάστοτε κυλίνδρου ανοίξουν αναρροφάτε ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος περνά με ορμή μέσω του καρμπυρατέρ, Σχ. 2.4.1 . Ο εισερχόμενος αέρας καθώς κυκλοφορεί δια μέσου

του καρμπυρατέρ αναρροφά βενζίνη μέσω του σωλήνα ροής-Venturi. Ο σωλήνας αυτός στενεύει σε ένα τμήμα του, «λαιμός», και έπειτα η διάμετρός του αυξάνεται πάλι. Στο στενότερο σημείο του σωλήνα προκαλείται αύξηση της ταχύτητας ροής του εισερχόμενου αέρα και, επομένως, πτώση της πίεσής του. Η βενζίνη εισάγεται στο ρεύμα αέρα μέσω μικρών οπών, στο λαιμό του σωλήνα. Η πίεση είναι αυτή που καθορίζει την ποσότητα του καυσίμου που εγχέεται στο ρεύμα αέρα, ενώ η ροή του καυσίμου ρυθμίζεται με την βοήθεια βαθμονομημένων στομίων, ονόματι jet, στην διαδρομή των καυσίμων, ανταποκρινόμενη στην συγκεκριμένη πτώση πίεσης Venturi.

Κάτω από τον σωλήνα ροής-Venturi βρίσκεται μία ρυθμιστική δικλείδα η οποία ελέγχει την ροή του αέρα μέσω του λαιμού του εξαερωτήρα και κατά συνέπεια και την ποσότητα του μίγματος αέρα-βενζίνης, που θα εφοδιαστεί στον κινητήρα. Η ρυθμιστική δικλείδα έχει την δυνατότητα να φράζει την ροή του αέρα ή να επιτρέπει την μέγιστη διέλευση της ροής του, ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται, ενώ, τέλος, είναι συνδεδεμένη με το πεντάλ του γκαζιού μέσω καλωδίου ή μέσω μηχανικού συνδέσμου ράβδων και ενώσεων ή, πιο σπάνια, μέσω πνευματικής σύνδεσης.

2.5 ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Στο μηχανικό σύστημα ψεκασμού, ο ψεκασμός πραγματοποιείται στην είσοδο του κυλίνδρου. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν μηχανισμό που ενεργοποιείται μηχανικά και υδραυλικά, με σκοπό τον έλεγχο της ροής των καυσίμων στον κινητήρα, Σχ. 2.5.1 .



Σχήμα 2.5.1 : Μηχανικό σύστημα ψεκασμού.

Μέρη :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. δεξαμενή καυσίμου | 2. ηλεκτρική αντλία καυσίμου |
| 3. ρυθμιστικό ρελέ | 4. κλειδί ανάφλεξης |
| 5. συσσωρευτής καυσίμου | 6. φίλτρο καυσίμου |
| 7. διανομέας καυσίμου | 8. σωλήνας καυσίμων προς τα μπεκ |
| 9. μπεκ ψεκασμού | 10. μοχλός διαφράγματος |
| 11. διάφραγμα | 12. πολλαπλή εισαγωγής |
| 13. σημείο στο οποίο ο μοχλός διαφράγματος ταλαντώνεται | |
| 14. ρυθμιστής πίεσης βενζίνης | 15. πεταλούδα γκαζιού |
| 16. σωλήνα διόδου για αργή λειτουργία | 17. ρυθμιστής στροφών ρελαντί |
| 18. ρυθμιστής εισερχόμενου αέρα ρελαντί | 19. μπεκ ψυχρής εκκίνησης |
| 20. σωλήνας βενζίνης για τα μπεκ | 21. θερμικός χρονοδιακόπτης |
| 22. σωλήνας διόδου πρόσθετου αέρα | 23. έμβολο φραγής πρόσθετου αέρα |
| 24. βαλβίδα πρόσθετου αέρα | 25. ρυθμιστής πίεσης και θερμότητας |
| A. βαλβίδα οδηγός | B. χαμηλότερος θάλαμος. |

Κανονική λειτουργία

Η λειτουργία ενός τυπικού μηχανικού συστήματος ψεκασμού βενζίνης είναι η εξής, λαμβάνοντας υπ' όψην μας και το παραπάνω διάγραμμα. Αρχικά, η βενζίνη αναρροφάτε από την δεξαμενή καυσίμου μέσω της ηλεκτρικής αντλίας, η οποία λειτουργεί από το ρυθμιστικό ρελέ, εφόσον βέβαια το κλειδί ανάφλεξης είναι στην σωστή θέση, έτσι ώστε να επιτραπεί στο ρεύμα της μπαταρίας να περάσει. Με τον τρόπο αυτό ο ηλεκτροκινητήρας της αντλίας βενζίνης περιστρέφει την φτερωτή της αντλίας εξαναγκάζοντας την βενζίνη να οδηγηθεί προς τον συσσωρευτή καυσίμων, όπου και σταθεροποιείται η πίεσή της, και στην συνέχεια προς το φίλτρο, το οποίο απαλλάσσει τη βενζίνη από τυχόν ακαθαρσίες, προτού αυτή φτάσει στον διανομέα καυσίμου.

Ο διανομέας καυσίμου είναι υπεύθυνος για την ποσότητα καυσίμου που παρέχει το σύστημα. Μία βαλβίδα οδηγός, δύο διαμέτρων, ανεβοκατεβαίνει σε έναν κύλινδρο και επιτρέπει την διέλευση των καυσίμων από τον χαμηλότερο θάλαμο στον υψηλότερο. Από εκεί, το καύσιμο οδηγείται στα μπεκ ψεκασμού μέσω ενός σωλήνα. Η θέση της βαλβίδας αυτής εξαρτάται από τη θέση του μοχλού διαφράγματος, ο οποίος συνδέεται με ένα διάφραγμα που μετράει την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στην πολλαπλή εισαγωγής. Η ροή του αέρα καθορίζεται από την πεταλούδα του γκαζιού, η οποία είναι συνδεδεμένη με το πεντάλ του γκαζιού. Τέλος, στο διανομέα καυσίμου υπάρχει ένας ρυθμιστής πίεσης της βενζίνης, ο οποίος προκαλεί την επιστροφή της επιπλέον βενζίνης στην δεξαμενή καυσίμου, όταν η πίεση υπερβεί τα 5 bar.

Αργή λειτουργία (ρελαντί)

Κατά την αργή λειτουργία ένας σωλήνας διόδου επιτρέπει σε μία μικρή ποσότητα αέρα να περάσει από την πολλαπλή εισαγωγής, ακόμα και αν η πεταλούδα παραμένει κλειστή. Από την άλλη μεριά ο ρυθμιστής στροφών ρελαντί και το διάφραγμα είναι υπεύθυνοι για την διέλευση μικρής ποσότητας

βενζίνης. Τέλος, ένας άλλος ρυθμιστής, εισερχόμενου αέρα, που βρίσκεται στον σωλήνα διόδου μεταβάλλει την ποσότητα του αέρα φράζοντας λιγότερο ή περισσότερο την δίοδο αυτή.

Ψυχρή εκκίνηση

Ένα χαρακτηριστικό της λειτουργίας του κινητήρα κατά την ψυχρή εκκίνηση είναι το πλούσιο, σε βενζίνη, μίγμα. Για να επιτευχθεί αυτό το πλούσιο μίγμα χρησιμοποιείται ένα επιπλέον μπεκ, το μπεκ ψυχρής εκκίνησης. Αυτό τροφοδοτείται από το διανομέα καυσίμου, μέσω ενός σωλήνα, χωρίς η ηλεκτρική αντλία βενζίνης να βρίσκεται σε λειτουργία, και αυτό λόγω της υψηλής πίεσης της βενζίνης.

Ένας αισθητήρας και ένας διακόπτης είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο του μπεκ ψυχρής εκκίνησης προκειμένου να αποφευχθεί η δίοδος υπερβολικής ποσότητας βενζίνης. Ο αισθητήρας αυτός είναι στην ουσία ένας θερμικός χρονοδιακόπτης που υπολογίζει την θερμοκρασία του νερού ψύξης της μηχανής, ενώ ο διακόπτης ενεργοποιείται από το κλειδί ανάφλεξης, το οποίο επιτρέπει, μόνο κατά την εκκίνηση του κινητήρα, τον ψεκασμό επιπλέον βενζίνης. Το μπεκ ψυχρής εκκίνησης σταματά να ψεκάζει μόνο όταν ο κινητήρας τεθεί σε λειτουργία και η μίζα έχει σταματήσει να περιστρέφεται.

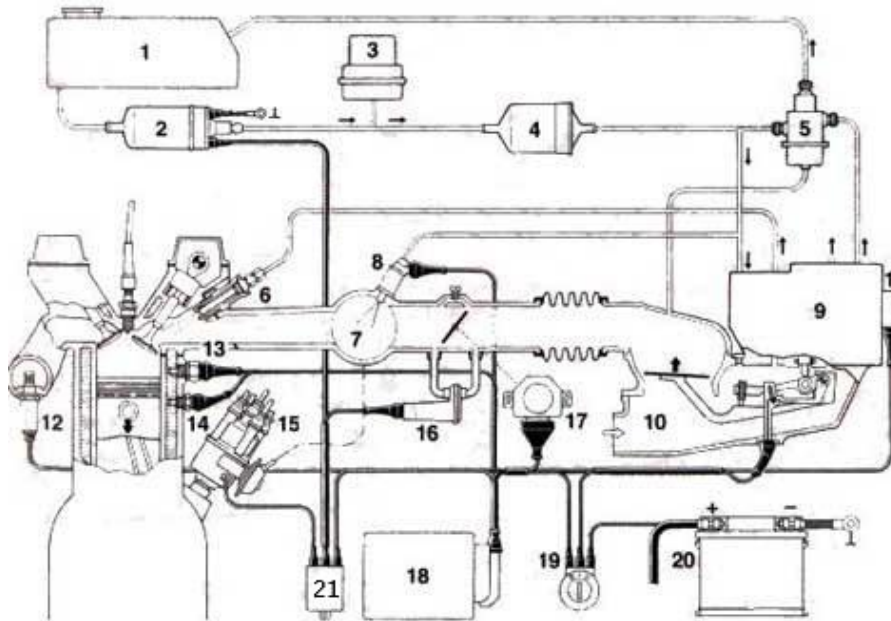
Ένας σωλήνας διόδου πρόσθετου αέρα επιτρέπει την ελεύθερη τροφοδοσία αέρα σε επιταχυνόμενη εκκίνηση, έτσι ώστε να συνεχίζεται ο ψεκασμός της επιπλέον βενζίνης, έως ότου ο κινητήρας έρθει στην σωστή θερμοκρασία. Σε διαφορετική περίπτωση, εάν δηλαδή σταματούσε ο ψεκασμός της επιπλέον βενζίνης ενώ ο κινητήρας ήταν ακόμα «κρύος», τότε ο κινητήρας θα σταματούσε. Όσο ο κινητήρας πλησιάζει την επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας, τόσο μειώνεται η ανάφλεξη μέσω της επιταχυνόμενης εκκίνησης. Για να συμβεί αυτό, ένα έμβολο φραγής του πρόσθετου αέρα, το οποίο παίρνει εντολή από τον ρυθμιστή πίεσης και θερμότητας, και μία βαλβίδα πρόσθετου αέρα σταματούν την δίοδο του αέρα μέσω του σωλήνα διόδου.

2.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Το σύστημα αυτό αποτελεί μία εξέλιξη του μηχανικού συστήματος ψεκασμού, αφού οι διαφορές τους είναι μικρές, αλλά παρ' όλα αυτά είναι ουσιώδεις. Όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.6.1, το σύστημα αυτό είναι επιπρόσθετα εξοπλισμένο, σε σχέση με το μηχανικό σύστημα ψεκασμού, με μία ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή, η οποία αποτελεί στην ουσία μία μονάδα ελέγχου της μηχανής (Engine Control Unit – E.C.U.), έναν αισθητήρα ροής του εισερχόμενου αέρα, έναν αισθητήρα θερμοκρασίας του κινητήρα και έναν αισθητήρα της θέσης και της κίνησης της ρυθμιστικής δικλείδας.

Οι αισθητήρες που εξοπλίζουν αυτό το σύστημα ψεκασμού παρέχουν σημαντικές πληροφορίες, για την λειτουργία του κινητήρα, οι οποίες

επεξεργάζονται από την E.C.U., με αποτέλεσμα στην συνέχεια η μονάδα ελέγχου της μηχανής να παρεμβαίνει στη ρύθμιση της παροχής του καυσίμου. Για τον λόγο αυτό, ο ρυθμιστής πίεσης και θερμότητας αντικαταστάθηκε από έναν ηλεκτρο-υδραυλικό διακόπτη πίεσης, ο οποίος ελέγχεται και αυτός από την μονάδα ελέγχου.



Σχήμα 2.6.1 : Σύστημα μηχανικού & ηλεκτρονικού ψεκασμού.

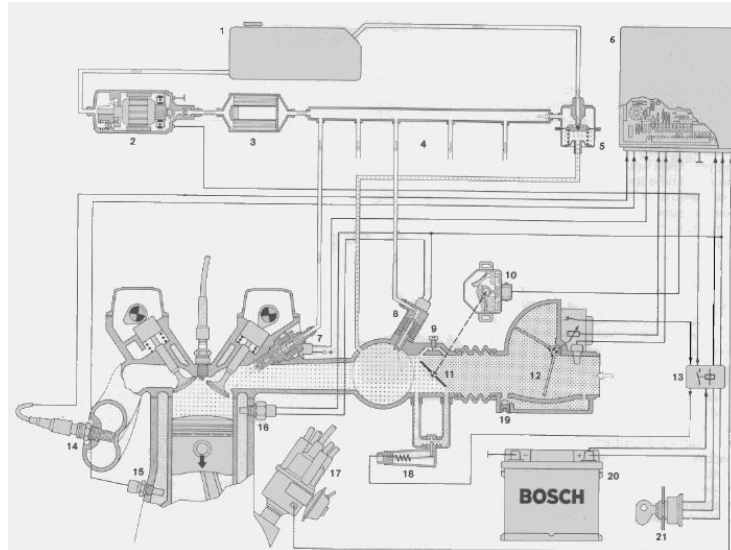
Μέρη:

- | | |
|---|--|
| 1. δεξαμενή καυσίμου | 2. ηλεκτρική αντλία καυσίμου |
| 3. συσσωρευτής καυσίμου | 4. φίλτρο καυσίμου |
| 5. ρυθμιστής πίεσης | 6. μπεκ ψεκασμού |
| 7. πολλαπλή εισαγωγής | 8. μπεκ ψυχρής εκκίνησης |
| 9. διανομέας καυσίμου | 10. αισθητήρας ροής αέρα |
| 11. ηλεκτρο-υδραυλικός διακόπτης πίεσης | 13. θερμικός χρονοδιακόπτης |
| 12. αισθητήρας λ | 14. αισθητήρας θερμοκρασίας του κινητήρα |
| 15. διανομέας ανάφλεξης | 16. βαλβίδα πρόσθετου αέρα |
| 17. διακόπτης δικλείδας | 18. ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή |
| 19. διακόπτης εκκίνησης | 20. Μπαταρία |
| 21. ρυθμιστικό ρελέ. | |

Η μονάδα ελέγχου της μηχανής είναι υπεύθυνη για τον εμπλουτισμό του μίγματος με καύσιμο καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, όπως κατά την κρύα εκκίνηση, την θερμή λειτουργία, την επιτάχυνση, την χρήση της πλήρους ισχύος και την διακοπή λειτουργίας ώθησης, ενώ έχει, επίσης, την δυνατότητα της προσαρμογής του σχηματισμού του μίγματος σε μεταβαλλόμενη πίεση αέρα.

2.7 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Το ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού αντικατέστησε το σύστημα μηχανικού και ηλεκτρονικού ψεκασμού, αφού η διαχείριση του συστήματος τροφοδοσίας γίνεται, αποκλειστικά και μόνο, ηλεκτρονικά από την μονάδα ελέγχου της μηχανής (E.C.U.), Σχ. 2.7.1 .



Σχήμα 2.7.1 : Ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού (πολλαπλός ψεκασμός).

Μέρη:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1. δεξαμενή καυσίμου | 2. αντλία καυσίμου |
| 3. φίλτρο καυσίμου | 4. διακλαδωτήρας |
| 5. ρυθμιστής πίεσης | 6. μονάδα ελέγχου μηχανής |
| 7. μπεκ ψεκασμού | 8. μπεκ ψυχρής εκκίνησης |
| 9. ρύθμιση της εν κενώ λειτουργίας | 10. διακόπτης δικλείδας |
| 11. ρυθμιστική δικλείδα | 12. μετρητής ροής αέρα |
| 13. ρυθμιστικό ρελέ | 14. αισθητήρας λ |
| 15. αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα | 16. θερμικός χρονοδιακόπτης |
| 17. διανομέας ανάφλεξης | 18. βαλβίδα πρόσθετου αέρα |
| 19. ρύθμιση της εν κενώ λειτουργίας | 20. Μπαταρία |
| 21. διακόπτης εκκίνησης. | |

Σε αυτό συνετέλεσε η προσθήκη περισσότερων αισθητήρων, οι οποίοι εποπτεύουν τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και πληροφορούν την μονάδα ελέγχου. Αυτή με την σειρά της επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες και καθορίζει την ποσότητα του καυσίμου που θα ψεκαστεί, καθώς επίσης και την διάρκεια του ψεκασμού.

Οι εγχυτήρες (μπεκ) παραμένουν κλειστοί από ελατήρια και ανοίγουν με ηλεκτρομαγνήτες. Η ποσότητα της βενζίνης που θα ψεκαστεί εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που το σωληνοειδές θα κρατήσει ανοιχτό τον εγχυτήρα. Το χρονικό, αυτό, διάστημα εξαρτάται από το σήμα που θα δεχτεί το σωληνοειδές

από την E.C.U., η οποία είναι συνδεδεμένη με έναν αριθμό ευαίσθητων μετρητών που της μεταβιβάζουν τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, όπως την πίεση και την θερμοκρασία του αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής, την τιμή της επιταχύνσεως και τη θέση της πεταλούδας. Οι μετρητές αυτοί δίνουν την δυνατότητα στην E.C.U. να προσδιορίσει αμέσως την ένταση του σήματος των εγχυτήρων.

Ο γνωστός διανομέας καυσίμου που χρησιμοποιούταν στα παλαιότερα συστήματα ψεκασμού αντικαταστάθηκε από τον διακλαδωτήρα, ο οποίος είναι απλούστερος από κατασκευαστικής άποψης αλλά στην ουσία λειτουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αφού διανέμει το καύσιμο στους εγχυτήρες μέσω ενός σωλήνα.

Ο ρυθμιστής πίεσης, που είναι υπεύθυνος για την διατήρηση της πίεσης του καυσίμου, συνδέεται με την πολλαπλή εισαγωγής ώστε να αντιλαμβάνεται κάθε πτώση πίεσης του εισερχόμενου αέρα. Όταν η ρυθμιστική δικλείδα κλείσει προκαλείται πτώση πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής, με αποτέλεσμα να δημιουργείται και πτώση πίεσης του καυσίμου στα μπεκ πετυχαίνοντας έτσι μείωση της κατανάλωσης της βενζίνης.

Τέλος, ο μετρητής ροής αέρα αποτελεί καινοτομία σε σχέση με τους αντίστοιχους προκατόχους του, αφού η φιλοσοφία του βασίζεται σε ένα κινούμενο πτερύγιο το οποίο ταλαντεύεται καθώς ο αέρας εισέρχεται στην πολλαπλή εισαγωγής και μέσω κατάλληλων επαφών στέλνονται πληροφορίες για την ροή του εισερχόμενου αέρα στην μονάδα ελέγχου.

Ανάλογα με τον τρόπο ενσωμάτωσής τους στο ηλεκτρικό σύστημα του αυτοκινήτου, τα συστήματα ηλεκτρονικού ψεκασμού, διακρίνονται σε :

- i. Απλά ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού, στα οποία υπάρχει μια ξεχωριστή ηλεκτρονική μονάδα για τον έλεγχο του ψεκασμού και μια άλλη για την ανάφλεξη.
- ii. Συνδυασμένα συστήματα ανάφλεξης-ψεκασμού, στα οποία υπάρχει μια ηλεκτρονική μονάδα που ελέγχει και την ανάφλεξη και τον ψεκασμό.

Επίσης, διαχωρίζουμε τα συστήματα ηλεκτρονικής έκχυσης και από τον τρόπο ψεκασμού. Οι δύο βασικές διατάξεις είναι :

- i. Ο ψεκασμός ενός σημείου ή μονός ψεκασμός (SPI: Single Point Injection).
- ii. Ο ψεκασμός πολλών σημείων ή πολλαπλός ψεκασμός (MPI: Multi Point Injection).

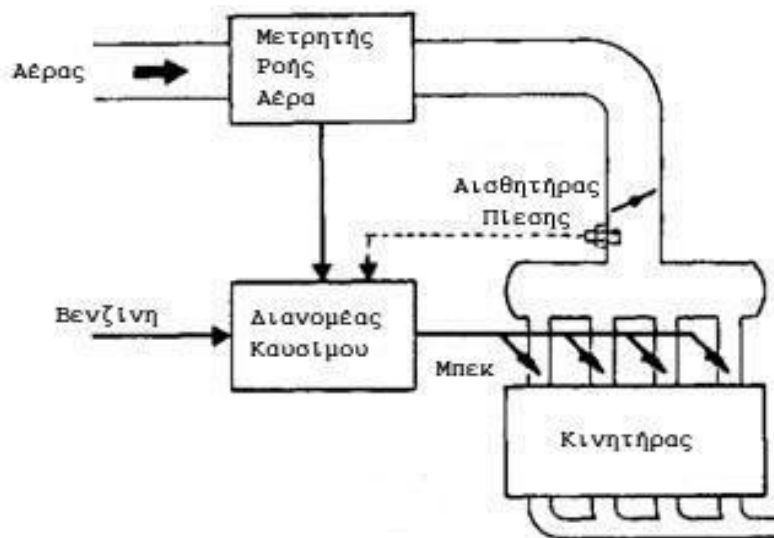
Οι διαφορές των δύο παραπάνω διατάξεων εντοπίζονται τόσο στον αριθμό των εγχυτήρων, όσο και στο σημείο στο οποίο πραγματοποιείται ο ψεκασμός.

Στο σύστημα μονού ψεκασμού, ο ψεκασμός της βενζίνης πραγματοποιείται πριν την πεταλούδα του γκαζιού. Εκεί δημιουργείται το μίγμα αέρα-βενζίνης και έπειτα διαχωρίζεται στους αυλούς των κυλίνδρων. Το βασικό μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι στους κεντρικούς κυλίνδρους εισέρχεται πλουσιότερο μίγμα απ' ότι στους ακριανούς, και αυτό λόγω της

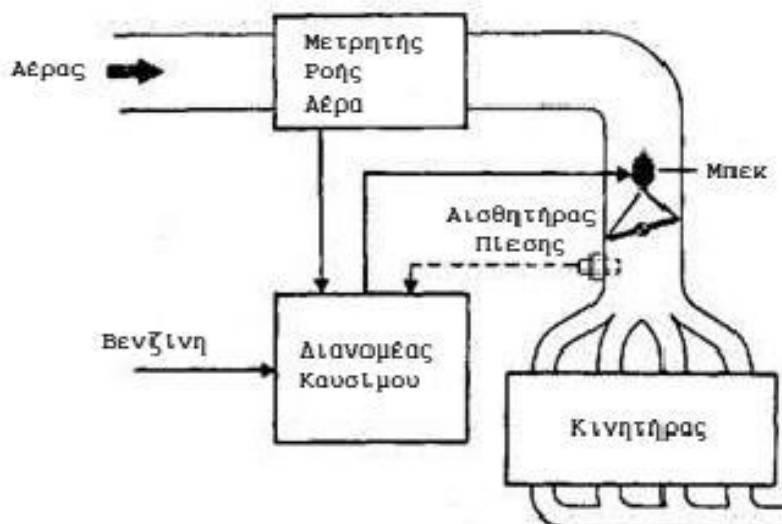
μεγαλύτερης απόστασης που υπάρχει μεταξύ του σημείου ψεκασμού και αυτών των κυλίνδρων.

Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με την εμφάνιση των συστημάτων ψεκασμού πολλών σημείων. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν ένα εγχυτήρα για κάθε κύλινδρο. Οι εγχυτήρες αυτοί είναι τοποθετημένοι κοντά στους κυλίνδρους και ψεκάζουν το καύσιμο στο πίσω μέρος των βαλβίδων εισαγωγής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη εξαέρωση και ανάμειξη του μίγματος, αφού η εισαγωγή σε αυτή την περιοχή είναι ιδιαίτερα θερμή, και την σωστή παροχή ποσότητας καυσίμου σε κάθε κύλινδρο, ανεξάρτητα από την θέση του κυλίνδρου.

Στο Σχ. 2.7.2 και στο Σχ. 2.7.3, που φαίνονται παρακάτω, παρουσιάζονται οι δύο διατάξεις, πολλαπλού και μονού ψεκασμού, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.7.2 : Πολλαπλός ψεκασμός.



Σχήμα 2.7.3 : Μονός ψεκασμός.

2.8 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

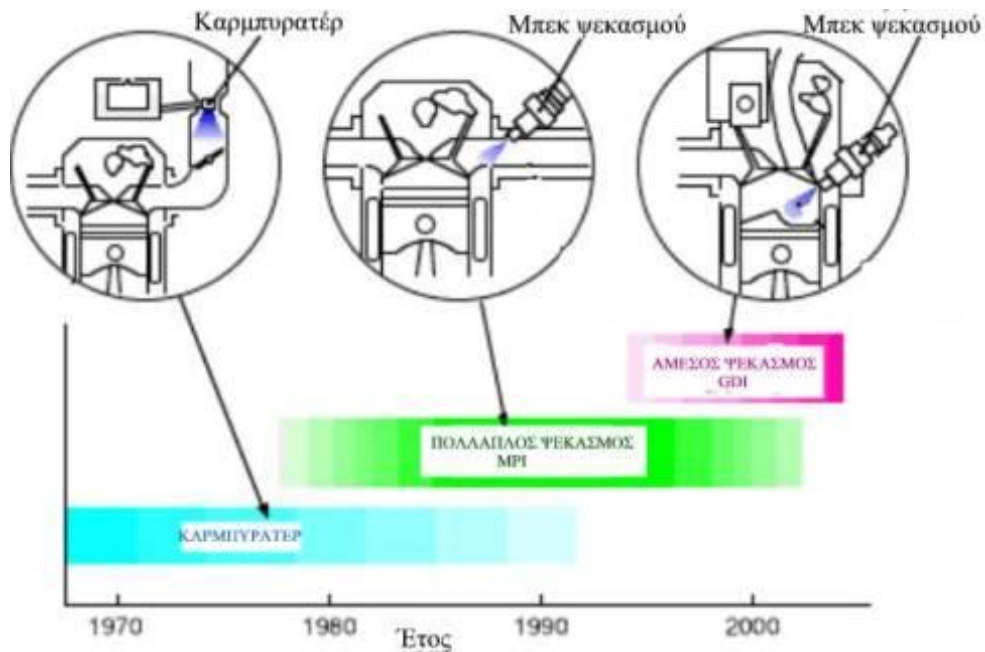
Τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρονικού συστήματος ψεκασμού έναντι των προκατόχων του οφείλονται τόσο στην προσθήκη αισθητήρων και μετρητών όσο και στην πλήρη ηλεκτρονική διαχείριση της τροφοδοσίας του καυσίμου, και είναι τα εξής :

- i. Ομοιόμορφο μίγμα αέρα-καυσίμου σε κάθε κύλινδρο,(πολλαπλός ψεκασμός)
- ii. Ακριβής έλεγχος της αναλογίας αέρα-καυσίμου, σε όλο το φάσμα των στροφών λειτουργίας του κινητήρα.
- iii. Συνεχείς διορθώσεις του μίγματος αέρα-καυσίμου.
- iv. Αποκοπή του καυσίμου για μειωμένες εκπομπές καυσαερίων, σε διάφορες καταστάσεις του κινητήρα (π.χ. κατά την επιβράδυνση).
- v. Μειωμένη ειδική κατανάλωση καυσίμου που έχει ως αποτέλεσμα την πρόσθετη οικονομία καυσίμου.
- vi. Μεγαλύτερη απόδοση ισχύος του κινητήρα.
- vii. Μεγαλύτερη ροπή στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα.
- viii. Βελτιωμένη ψυχρή εκκίνηση και προθέρμανση του κινητήρα με τον εγχυτήρα (μπεκ) ψυχρής εκκίνησης.
- ix. Χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων.

2.9 ΑΜΕΣΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΣ

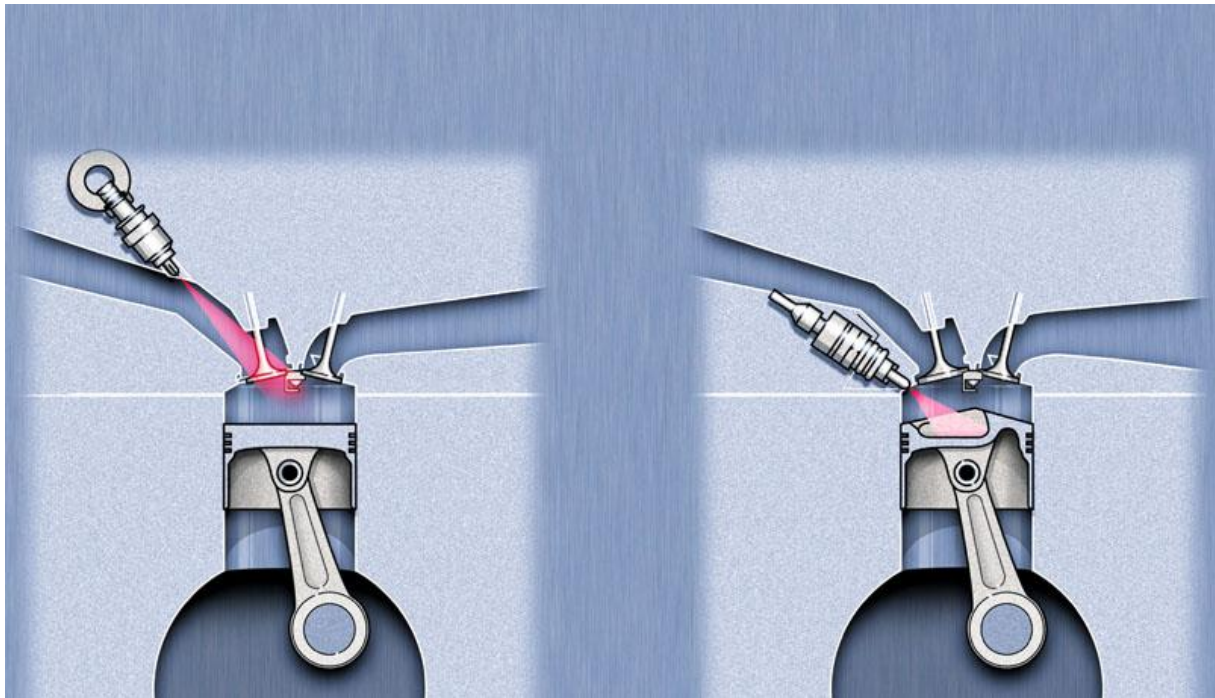
Τα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου που παρουσιάστηκαν παραπάνω χαρακτηρίζονται σαν συστήματα έμμεσου ψεκασμού, αφού ο ψεκασμός του καυσίμου από τα μπεκ γίνεται πριν την βαλβίδα εισαγωγής. Η τεχνολογία των συστημάτων ψεκασμού, όμως, δεν σταματάει εδώ. Η τελευταία εξέλιξη στον τομέα των συγκεκριμένων συστημάτων έχει να κάνει με τα συστήματα άμεσου ψεκασμού, τα οποία είναι και αυτά ηλεκτρονικά ελεγχόμενα. Ο ηλεκτρονικός έλεγχος των συστημάτων άμεσου ψεκασμού κρίνεται απαραίτητος, αφού η ποσότητα του καυσίμου που θα ψεκαστεί, το χρονικό διάστημα που θα διαρκέσει ο ψεκασμός, αλλά, και η χρονική στιγμή που θα πραγματοποιηθεί ο ψεκασμός πρέπει να ελέγχονται με πολύ μεγάλη ακρίβεια, χιλιοστών του δευτερολέπτου.

Στο Σχ. 2.9.1, που ακολουθεί, φαίνεται η χρήση των τριών συστημάτων ψεκασμού με το πέρασμα των χρόνων.



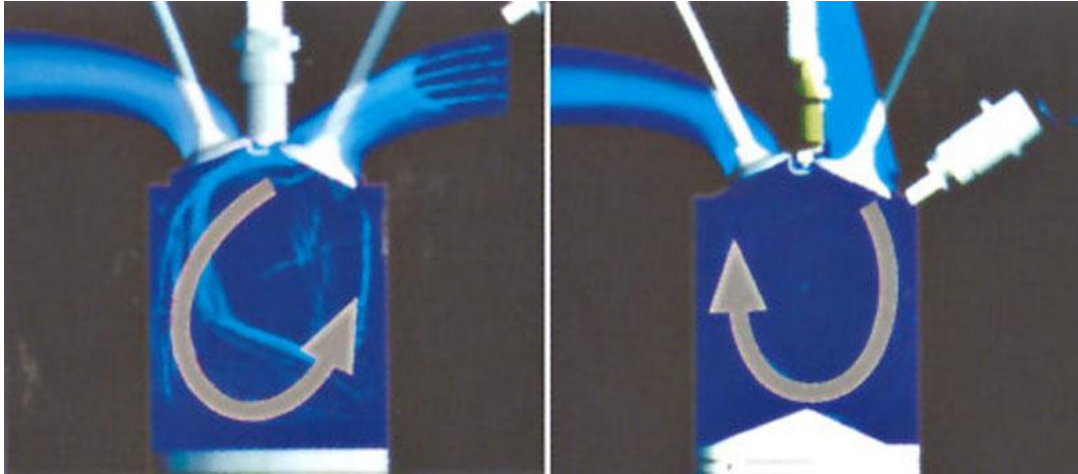
Σχήμα 2.9.1 : Εξέλιξη συστημάτων ψεκασμού.

Η ειδοποιός διαφορά των συστημάτων άμεσου ψεκασμού με αυτά του έμμεσου είναι ότι, πλέον, ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται απευθείας μέσα στους κυλίνδρους, μέσω των εγχυτήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μετά την βαλβίδα εισαγωγής, Σχ. 2.9.2 .



Σχήμα 2.9.2 : Έμμεσος ψεκασμός - Άμεσος ψεκασμός.

Επίσης, στα συστήματα άμεσου ψεκασμού, η κυκλοφορία του μίγματος πραγματοποιείται κατά την αντίθετη φορά από αυτή των συμβατικών συστημάτων, εξαιτίας της μη επίπεδης επιφάνειας του εμβόλου, Σχ. 2.9.3 .



Σχήμα 2.9.3 : Ροή μίγματος μέσα στον κύλινδρο, έμμεσου και άμεσου ψεκασμού, αντίστοιχα.

Στους κινητήρες με έμμεσο ψεκασμό πολλών σημείων δημιουργείται μια οριζόντια ελικοειδής κίνηση του μίγματος, που έχει όμως το μειονέκτημα να παρασύρει την βενζίνη προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα τη δυσκολία συγκέντρωσης του καυσίμου και την ημιτελή καύση του. Αντίθετα, στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, όπου ο αυλός εισαγωγής είναι κατακόρυφος, στις περισσότερες περιπτώσεις, η κίνηση του μίγματος είναι κατακόρυφη ελικοειδής, Σχ. 2.9.4 .



Σχήμα 2.9.4 : Ροή μίγματος - Ροή εισερχόμενου αέρα.

Έτσι, η ροή του μίγματος διασπάται σε μικρότερες δίνες, κατά τη φάση της συμπίεσης, εξυπηρετώντας την συγκέντρωση του μίγματος γύρω από τον αναφλεκτήρα.

Οι εγχυτήρες βρίσκονται στο πλάι της κυλινδροκεφαλής και ψεκάζουν το καύσιμο κατά διαστήματα των οποίων η διάρκεια είναι μικρότερη από χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η πίεση με την οποία ψεκάζεται το καύσιμο μέσα στον θάλαμο καύσης ξεπερνά, σε μερικές περιπτώσεις, τα 110 bar. Η τιμή, αυτή, της πίεσης είναι 32 φορές μεγαλύτερη από αυτή των συστημάτων πολλαπλού ψεκασμού.

Στην Εικ. 2.9.5 φαίνεται η κυλινδροκεφαλή ενός κινητήρα Mercedes-Benz με σύστημα άμεσου ψεκασμού.



Εικόνα 2.9.5 : Κυλινδροκεφαλή άμεσου ψεκασμού σε τομή.

Τα συστήματα άμεσου ψεκασμού πλεονεκτούν έναντι των συστημάτων έμμεσου ψεκασμού :

- i. στην αυξημένη ισχύ,
- ii. στην καλύτερη απόκριση του γκαζιού κατά την επιτάχυνση,
- iii. στην μειωμένη κατανάλωση, και
- iv. στους μειωμένους ρύπους.

Η πραγματοποίηση των παραπάνω πλεονεκτημάτων γίνεται εφικτή με την καλύτερη ανάμειξη του μίγματος αέρα-βενζίνης. Οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιούν όλη την ποσότητα της βενζίνης που ψεκάζεται, αφού ο ψεκασμός πραγματοποιείται μέσα στους κυλίνδρους. Στην καλύτερη ανάμειξη του μίγματος συντελούν ο ειδικός σχεδιασμός των αυλών εισαγωγής, της κεφαλής των εμβόλων και των μπεκ ψεκασμού.

Κάποιοι κινητήρες άμεσου ψεκασμού λειτουργούν σε δύο διαφορετικά προγράμματα ψεκασμού, ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης, το «Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος» και το «Πρόγραμμα Υψηλής Απόδοσης».

2.10 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΦΤΩΧΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

Όταν ένας βενζινοκινητήρας λειτουργεί με πλούσιο μίγμα αέρα-βενζίνης (π.χ. 12:1), τότε υπάρχει περίσσεια βενζίνης και η κατανάλωση του καυσίμου είναι πολύ υψηλή. Αντίθετα, όταν το μίγμα είναι φτωχό (π.χ. 16:1), τότε υπάρχει περίσσεια οξυγόνου και ο κινητήρας δεν λειτουργεί κανονικά εμφανίζοντας φαινόμενα προανάφλεξης, πειράκια, ή και να λειτουργήσει, έχει σημαντικά μειωμένη απόδοση.

Τα τελευταία, όμως, χρόνια τα πράγματα έχουν αλλάξει, αφού μερικές αυτοκινητοβιομηχανίες, με πρωτοπόρες τις ιαπωνικές Toyota και Mitsubishi, έχουν εξελίξει και παράγει κινητήρες φτωχού μίγματος. Οι κινητήρες αυτοί έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν με πολύ φτωχά μίγματα αέρα-βενζίνης, της τάξης του 25:1, χωρίς κανένα απολύτως πρόβλημα και χωρίς να επηρεαστεί η απόδοσή τους. Ταυτόχρονα, αυτοί οι κινητήρες καταναλώνουν μικρότερες ποσότητες καυσίμου και εκπέμπουν πολύ λιγότερους ρύπους.

Το «πρόγραμμα φτωχού μίγματος» χρησιμοποιείται όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί, υπό κανονικές συνθήκες οδήγησης, με σταθερή ταχύτητα και χωρίς ξαφνικές επιταχύνσεις. Η βενζίνη ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο, στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης πριν την ανάφλεξη και σε μικρή ποσότητα. Έτσι, πολύ κοντά στον αναφλεκτήρα (μπουζί) σχηματίζεται ένα ομοιογενές φτωχό μίγμα κατάλληλο για καύση.

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην επίτευξη της καλύτερης ανάμειξης των σωματιδίων της βενζίνης με τα μόρια του αέρα. Η καλύτερη, αυτή, ανάμειξη του αέρα με την βενζίνη οφείλεται σε κάποιες ειδικές τεχνικές.

Στους κινητήρες αυτούς, το άνω μέρος των εμβόλων είναι ειδικά διαμορφωμένο με κοιλότητες, έτσι ώστε να ελέγχεται η ροή του μίγματος αέρα-βενζίνης και να δημιουργούνται έντονοι στροβιλισμοί σε αυτό, ενώ επιτυγχάνεται ελεγχόμενη κατανομή πιέσεων κατά την καύση. Οι αυλοί εισαγωγής είναι σχεδόν κατακόρυφοι και ευθύγραμμοι, λόγω του ότι η ροή του αέρα είναι σημαντική για την σωστή καύση, ενισχύοντας το ρεύμα του αέρα εισαγωγής. Τέλος, η βενζίνη ψεκάζεται από ειδικούς εγχυτήρες υψηλής πίεσης και στροβιλισμού, μέσα στον κύλινδρο, και σε μεγάλη απόσταση από τον αναφλεκτήρα.

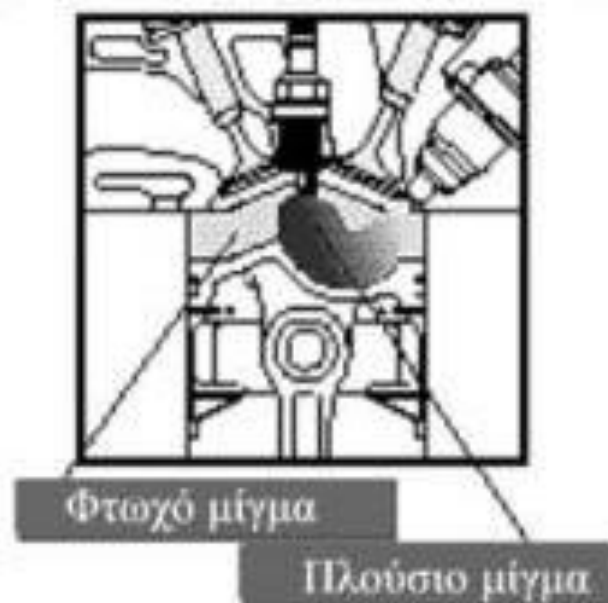
2.11 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Το «πρόγραμμα υψηλής απόδοσης», στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, χρησιμοποιείται όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε συνθήκες πλήρους φορτίου ή κατά τις απότομες επιταχύνσεις. Σε αυτή την περίπτωση, του προγράμματος υψηλής απόδοσης, η βενζίνη ψεκάζεται κατά τον χρόνο εισαγωγής, όταν το έμβολο κινείται προς τα κάτω, και εξατμίζεται ψύχοντας, έτσι, τον εισερχόμενο αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συστολή του εισερχόμενου αέρα και τη

δημιουργία χώρου για να εισέλθει επιπλέον αέρας στον κύλινδρο. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα. Επίσης, η ψύξη του αέρα εισαγωγής στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού περιορίζει το φαινόμενο της προανάφλεξης, κάτι που συμβαίνει στους συμβατικούς κινητήρες κατά την επιτάχυνση, κυρίως λόγω της συγκέντρωσης υγρού καυσίμου στα τοιχώματα των θυρίδων εισαγωγής. Αυτό, βέβαια, δεν συμβαίνει στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, αφού ο ψεκασμός της βενζίνης γίνεται μέσα στο θάλαμο καύσης. Η εξάλειψη του φαινομένου της προανάφλεξης επιτρέπει την αύξηση του λόγου συμπίεσης μέχρι και 12,5:1.

Ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται σε δύο στάδια, αυξάνοντας την απόδοση του κινητήρα σε συνθήκες λειτουργίας με πλήρες φορτίο. Κατά τον χρόνο εισαγωγής ψεκάζεται το 25% του καυσίμου, ενώ το υπόλοιπο καύσιμο ψεκάζεται στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης, όπως γίνεται και στο «πρόγραμμα φτωχού μίγματος».

Στο τελευταίο στάδιο της συμπίεσης, ο θάλαμος καύσης είναι χωρισμένος στα δύο, λόγω της ειδικής διαμόρφωσης που υπάρχει στο πάνω μέρος του εμβόλου. Στη μία πλευρά του θαλάμου καύσης βρίσκεται το πολύ φτωχό μίγμα, το οποίο δημιουργείται κατά τον χρόνο εισαγωγής του αέρα και δεν μπορεί να αναφλεγεί, ενώ στην άλλη πλευρά βρίσκεται το πλούσιο μίγμα το οποίο σχηματίζεται κατά το χρόνο συμπίεσης και δεν μπορεί να καεί πλήρως, λόγω της έλλειψης αέρα, Σχ. 2.11.1 .



Σχήμα 2.11.1 : Διαστρωμάτωση μίγματος αέρα-βενζίνης.

Λόγω της εξέλιξης της καύσης, το άκαυστο καύσιμο, της πλευράς με το πλούσιο μίγμα, εκτοπίζεται στην πλευρά του φτωχού μίγματος, εμπλουτίζοντάς το με βενζίνη, με αποτέλεσμα να αναφλέγεται και αυτό. Το αποτέλεσμα είναι η πλήρης καύση του μίγματος, η οποία σε συνδυασμό με την εξάλειψη της

προανάφλεξης, αποτελούν παράγοντες σημαντικής αύξησης της απόδοσης του κινητήρα, ακόμα και σε συνθήκες υψηλών απαιτήσεων.

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες που εξελίσσουν τα συστήματα άμεσου ψεκασμού σήμερα είναι η Audi, η Mercedes, η BMW, με πρωτοπόρες την Toyota, την Mitsubishi, την Nissan και την Renault.

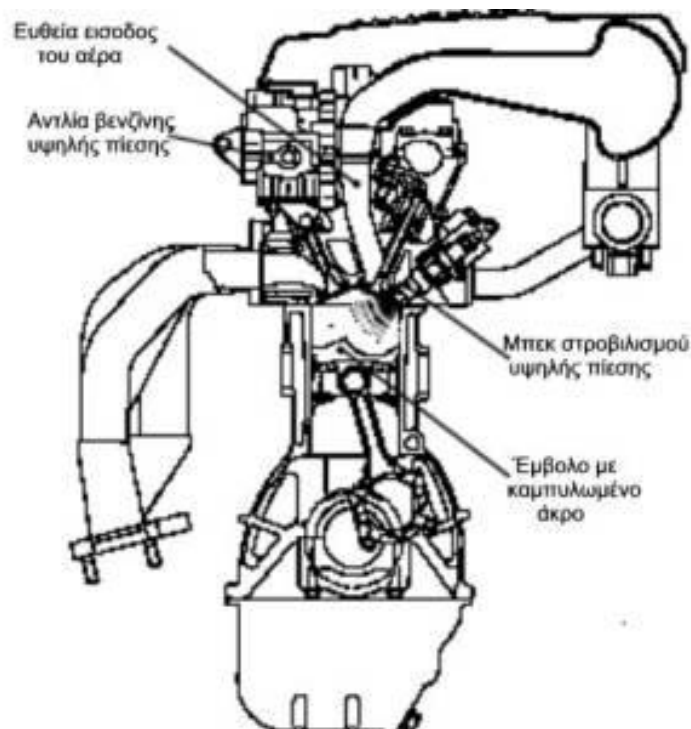
2.12 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ - MITSUBISHI GDI

Η Mitsubishi έχει εφαρμόσει το σύστημα GDI (Gasoline Direct Injection-Άμεσος ψεκασμός βενζίνης) σε πολλούς κινητήρες της, από τον τετρακύλινδρο σε σειρά των 1.500cc έως τον οκτακύλινδρο σε διάταξη V των 4.500cc. Σύμφωνα με την Mitsubishi, οι κινητήρες αυτοί αποδίδουν 10% περισσότερη ισχύ, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου κατά 20 - 30%, παράγοντας 20% λιγότερο CO₂, σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες ίδιας χωρητικότητας.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του κινητήρα GDI της Mitsubishi είναι:

- i. η κατακόρυφη είσοδος του αέρα για βέλτιστη ροή στον κύλινδρο,
- ii. οι κατάλληλα διαμορφωμένες κεφαλές των εμβόλων για καλύτερη καύση,
- iii. η αντλία βενζίνης υψηλής πίεσης, και
- iv. τα μπεκ στροβιλισμού υψηλής πίεσης.

Αυτά τα χαρακτηριστικά φαίνονται και στο Σχ. 2.12.1 .



Σχήμα 2.12.1 : Κινητήρας GDI της Mitsubishi.

Οι κινητήρες GDI της Mitsubishi είναι κινητήρες φτωχού μίγματος, στους οποίους έχει προστεθεί σύστημα άμεσου ψεκασμού. Το σύστημα άμεσου ψεκασμού επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο του καυσίμου που εισχωρεί στους κυλίνδρους, αφού το καύσιμο ψεκάζεται μέσα σε αυτούς. Οι εγχυτήρες ψεκάζουν το καύσιμο με υψηλή πίεση, προκαλώντας έτσι την πλήρη διασπορά του, επιτυγχάνοντας την σχεδόν τέλεια ανάμειξη του μίγματος, ενώ η ροή του αέρα στην εισαγωγή δεν διαταράσσεται, με αποτέλεσμα η ροή του εισερχόμενου αέρα να είναι στρωτή και ταχύτατη.

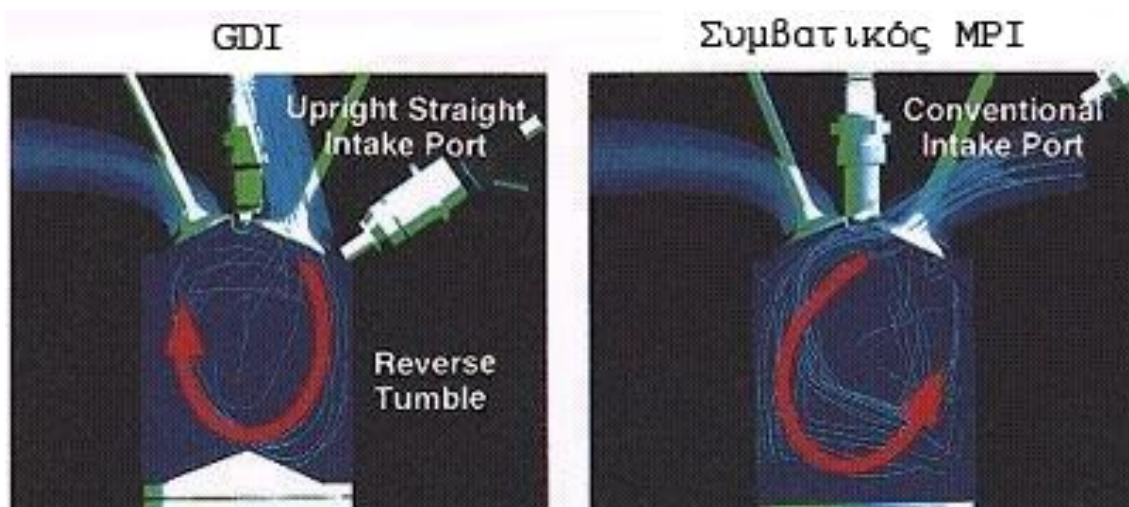
Το πρόβλημα στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού εμφανίζεται στο ότι η δέσμη του καυσίμου που ψεκάζεται από τα μπεκ συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα σημεία, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εξάπλωση του καυσίμου σε όλο τον κύλινδρο.

Αυτό το πρόβλημα εξαλείφθηκε από την Mitsubishi, αφού στους κινητήρες GDI χρησιμοποιούνται μπεκ στροβιλισμού υψηλής πίεσης και σε συνδυασμό με τις ειδικά διαμορφωμένες κεφαλές των εμβόλων δημιουργούνται κατάλληλοι στροβιλισμοί στο καύσιμο μίγμα.

Οι εγχυτήρες του είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να αντέχουν τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την ανάφλεξη, είναι μεγάλης ακρίβειας, επιτρέποντας τον πλήρη έλεγχο της ποσότητας της βενζίνης που εισέρχεται στους κυλίνδρους και λειτουργούν σε πολύ μεγάλες πιέσεις, ενώ είναι σχεδιασμένοι ώστε να στροβιλίζουν και το καύσιμο, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται καλύτερος διασκορπισμός και ανάμειξη της βενζίνης με τον αέρα.

Από την άλλη μεριά, οι κατακόρυφοι αυλοί εισαγωγής είναι διαμορφωμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται στροβιλισμός στον εισερχόμενο αέρα, ίδιας φοράς με τον στροβιλισμό του καυσίμου, συμβάλλοντας στην επίτευξη της πολύ καλής κατανομής του μίγματος αέρα-βενζίνης στον κύλινδρο και της πολύ καλής ανάμιξής του.

Στο Σχ. 2.12.2 φαίνεται η διάταξη των αυλών εισαγωγής και η σχεδίαση του εμβόλου σε έναν κινητήρα GDI και σε έναν συμβατικής διάταξης.

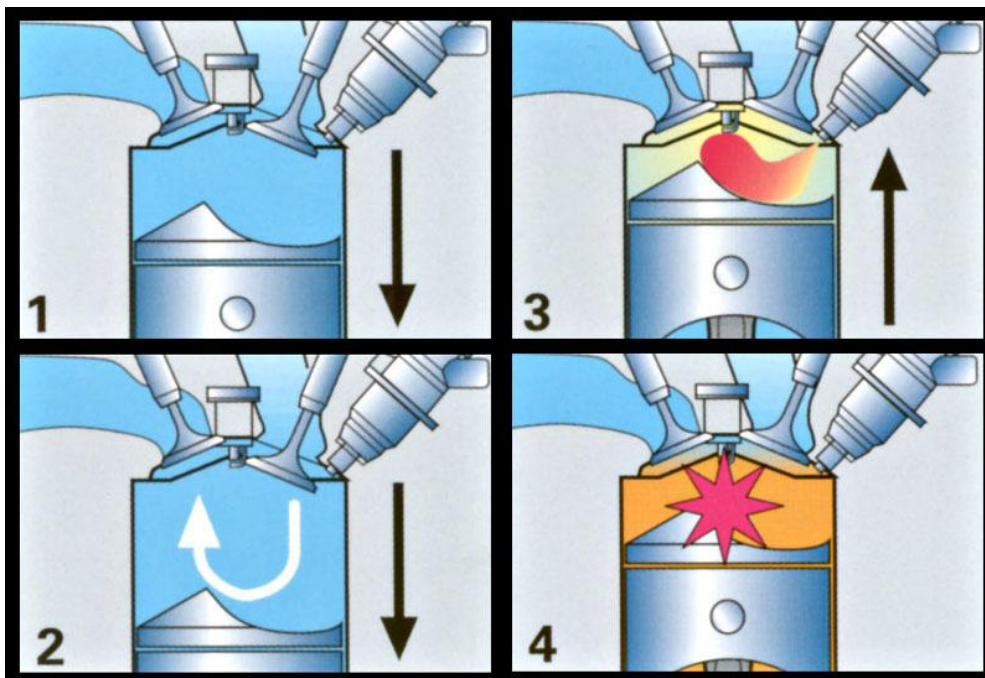


Σχήμα 2.12.2 : Κινητήρας άμεσου ψεκασμού GDI - Κινητήρας πολλαπλών σημείων έμμεσου ψεκασμού.

2.13 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ GDI

Ο κινητήρας GDI είναι σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις καύσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του οδηγού.

Όταν δεν υπάρχουν απαιτήσεις ισχύος και για σταθερές ταχύτητες έως και 120 km/h γίνεται καύση «πολύ φτωχού μίγματος», της τάξης του 40:1, για μέγιστη οικονομία καυσίμου. Για να συμβεί αυτό, ο εγχυτήρας ψεκάζει μια ελικοειδή περιστρεφόμενη ριπή καυσίμου, προς την κεφαλή του εμβόλου, και σε συνδυασμό με την κατακόρυφη κίνηση του εισερχόμενου αέρα, η ποσότητα του καυσίμου, που έχει ψεκάσει, συγκεντρώνεται κοντά στις ακίδες των αναφλεκτήρων, και όταν πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη του καυσίμου μίγματος, τότε το μέτωπο της φλόγας ελέγχεται από την διαμορφωμένη καμπύλη της κεφαλής του εμβόλου, πετυχαίνοντας μηδενική σπατάλη βενζίνης, αφού αξιοποιείται όλη η βενζίνη που υπάρχει μέσα στο θάλαμο καύσης. Στο Σχ. 2.13.1 φαίνεται η λειτουργία του κινητήρα GDI με το πρόγραμμα φτωχού μίγματος και στο Σχ. 2.13.2 φαίνεται ο ψεκασμός του καυσίμου πριν το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ).



Σχήμα 2.13.1 : Κατάσταση «πολύ φτωχού μίγματος».



Σχήμα 2.13.2 : Ψεκασμός καυσίμου λίγο πριν το ΑΝΣ.

Στο Σχ. 2.13.3 φαίνεται η οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνει ο κινητήρας GDI, σε σχέση με έναν ίδιο κινητήρα πολλαπλών σημείων ψεκασμού.

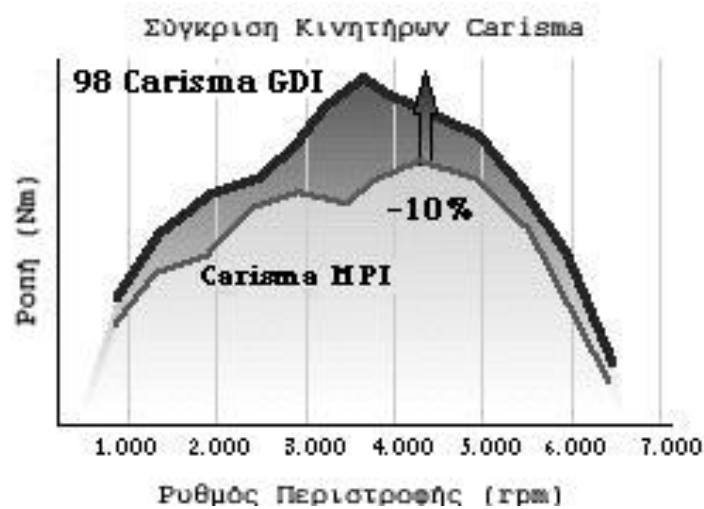


Σχήμα 2.13.3 : Σύγκριση κινητήρα GDI με συμβατικό MPI στην οικονομία καυσίμου.

Σε υψηλές ταχύτητες και για μεγάλα φορτία, η κατάσταση καύσης αλλάζει σε κατάσταση «ανώτερης ισχύος». Ο ψεκασμός, σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας, πραγματοποιείται κατά την διάρκεια του χρόνου εισαγωγής. Οι εγχυτήρες ψεκάζουν μία μεγάλης διάρκειας κωνοειδή ριπή βενζίνης.

Το αποτέλεσμα της λειτουργίας του κινητήρα GDI σε κατάσταση «ανώτερης ισχύος» είναι η σημαντική αύξηση της ροπής και της ιπποδύναμης.

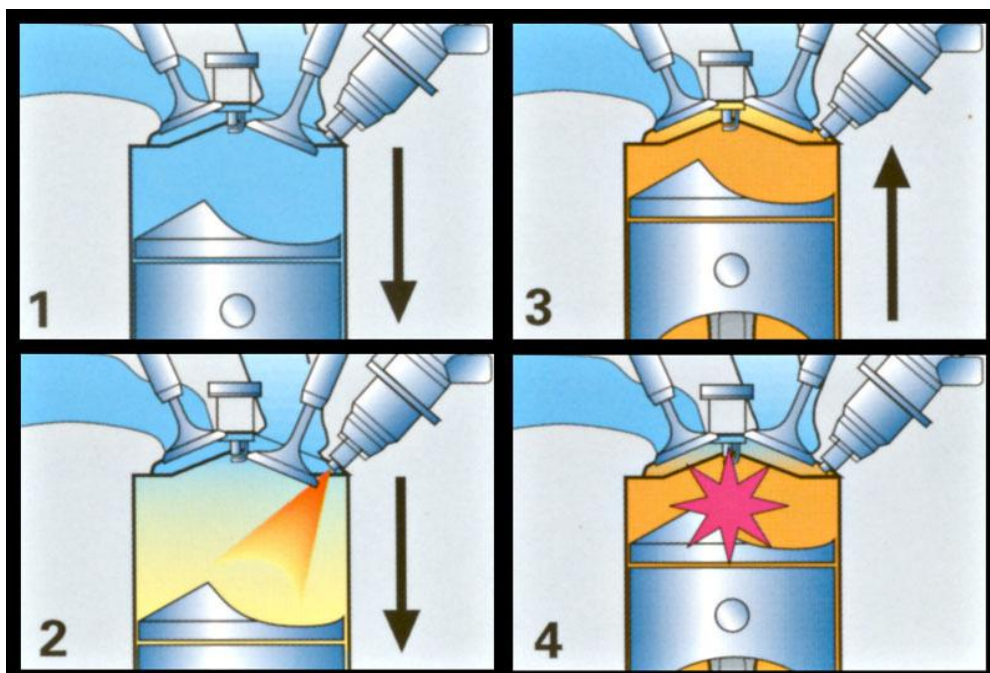
Αυτό φαίνεται και στο Σχ. 2.13.4, όπου γίνεται σύγκριση δύο ίδιων κινητήρων της Mitsubishi εκ' των οποίων, ο ένας είναι πολλαπλών σημείων ψεκασμού και ο άλλος είναι ο GDI.



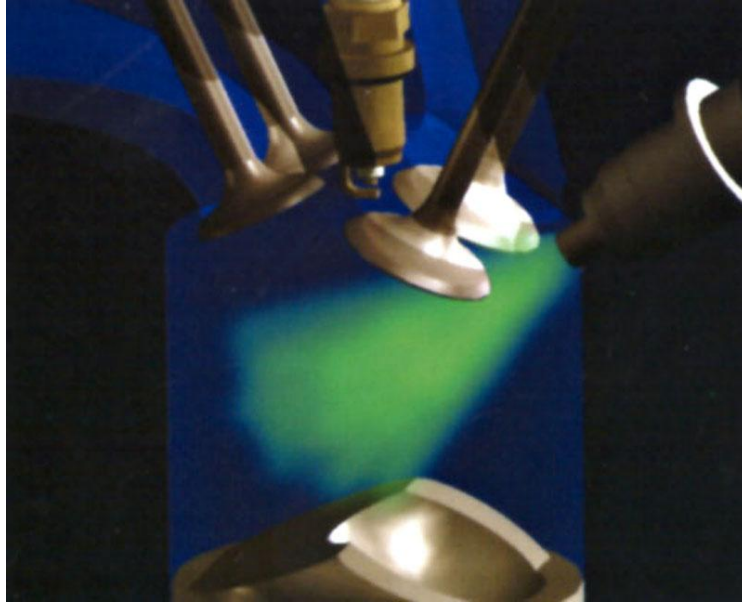
Σχήμα 2.13.4 : Σύγκριση ροπής σε κινητήρα GDI με συμβατικό MPI.

Το αποτέλεσμα αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην ψύξη του κυλίνδρου, από την εξάτμιση κάποιου μέρους της βενζίνης που έχει ψεκαστεί. Η ψύξη αυτή αποτρέπει το φαινόμενο της κρουστικής καύσης, επιτρέποντας την αύξηση του λόγου συμπίεσης στο 12,5:1.

Στο Σχ. 2.13.5 φαίνεται η λειτουργία του κινητήρα GDI σε κατάσταση «ανώτερης ισχύος» και στο Σχ. 2.13.6 φαίνεται ο ψεκασμός του καυσίμου κατά τον χρόνο της εισαγωγής.

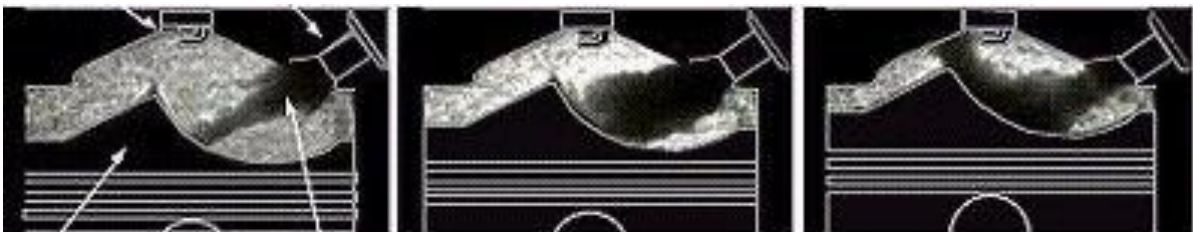


Σχήμα 2.13.5 : Κατάσταση «ανώτερης ισχύος».



Σχήμα 2.13.6 : Ψεκασμός καυσίμου κατά τον χρόνο της εισαγωγής.

Τέλος, ο κινητήρας αυτός διαθέτει και μία τρίτη κατάσταση λειτουργίας, την «μίγματος δύο βαθμίδων». Αυτή η κατάσταση λειτουργίας ενεργοποιείται σε απότομες επιταχύνσεις από στάση ή από χαμηλές ταχύτητες. Ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται σε δύο στάδια, όπως ακριβώς περιγράψαμε παραπάνω, στο «Πρόγραμμα Υψηλής Απόδοσης». Στο Σχ. 2.13.7 φαίνονται τα δύο στάδια ψεκασμού. Στα αριστερά ψεκάζεται μία μικρή ποσότητα βενζίνης κατά το χρόνο εισαγωγής, πρώτο στάδιο ψεκασμού, με λόγο αέρα-καυσίμου 60:1 χωρίς να υπάρχει κίνδυνος αυτανάφλεξης. Στην μέση πραγματοποιείται ο κυρίως ψεκασμός κατά το χρόνο συμπίεσης, δεύτερο στάδιο ψεκασμού, με λόγο αέρα-καυσίμου 12:1, καθώς το έμβολο πλησιάζει στο άνω νεκρό σημείο. Τέλος, στα δεξιά φαίνεται πώς το, πλούσιο πλέον, καύσιμο μίγμα οδηγείται συγκεντρωμένο μπροστά στον αναφλεκτήρα, μπουζί, χάρη στην κατάλληλα διαμορφωμένη κεφαλή του εμβόλου, εξασφαλίζοντας την ανάφλεξη του μίγματος.

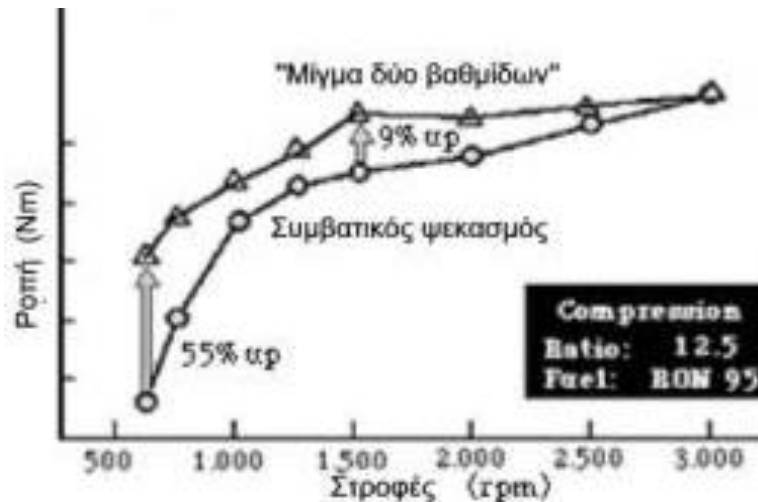


Σχήμα 2.13.7 : Κατάσταση «μίγματος δύο βαθμίδων».

Ο προ-ψεκασμός καυσίμου στον κύλινδρο, πολύ πριν φτάσει το έμβολο στο άνω νεκρό σημείο, ψύχει τον αέρα που συμπιέζεται στον κύλινδρο. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η αντοχή του μίγματος στη συμπίεση σε τέτοιο βαθμό ώστε οι κινητήρες GDI να λειτουργούν με τον υπερβολικό, για κινητήρες

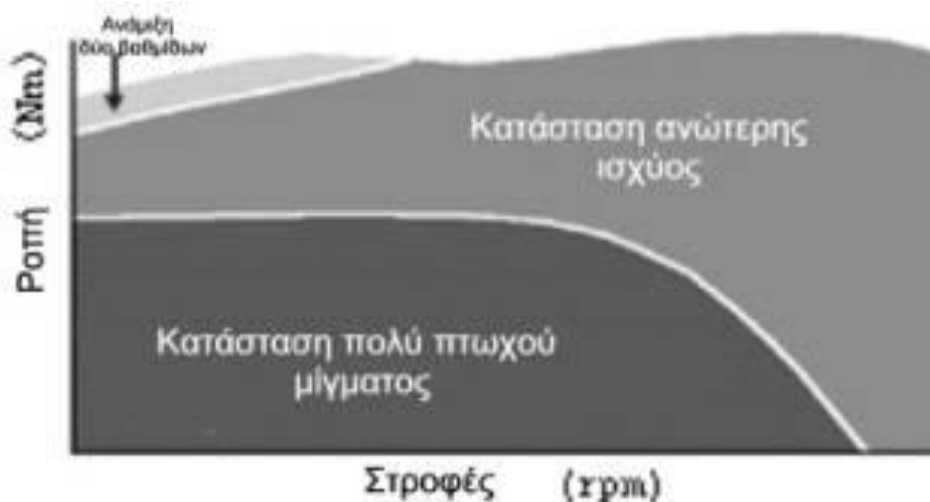
παραγωγής, λόγο συμπίεσης 12,5:1, τη στιγμή που οι συμβατικοί κινητήρες λειτουργούν με λόγο συμπίεσης 11:1.

Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης λειτουργίας είναι η αυξημένη ροπή για γρήγορες επιταχύνσεις σε χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας GDI, που λειτουργεί σε κατάσταση «μίγματος δύο βαθμίδων», αποδίδει περισσότερη ροπή κατά 55% στις 650 rpm, σε σχέση με κινητήρα συμβατικού συστήματος ψεκασμού. Αυτό το παράδειγμα φαίνεται και στο Σχ. 2.13.8 .



Σχήμα 2.13.8 : Σύγκριση ροπής ανάμεσα σε συμβατικό και GDI κινητήρα.

Συνοψίζοντας τις τρεις καταστάσεις λειτουργίας στον κινητήρα GDI προκύπτει το Σχ. 2.13.9 .



Σχήμα 2.13.9 : Καταστάσεις λειτουργίας κινητήρων GDI.

Οι διαφορετικές στιγμές που πραγματοποιείται ο ψεκασμός, στις καταστάσεις λειτουργίας που περιγράψαμε, οφείλεται σε μία ιδιότητα της ανάφλεξης του μίγματος. Η ανάφλεξη του μίγματος δεν είναι μία έκρηξη αλλά μία στρωτή καύση η οποία χρειάζεται κάποιο χρόνο για να ολοκληρωθεί. Όσο

υψηλότερος, λοιπόν, είναι ο ρυθμός περιστροφής του κινητήρα, τόσο νωρίτερα ο αναφλεκτήρας δίνει τον σπινθήρα για την πραγματοποίηση της καύσης, αφού ο διαθέσιμος χρόνος για σωστή καύση μειώνεται, τη στιγμή που η ταχύτητα της καύσης είναι σταθερή. Έτσι εξηγείται ο πρόωρος ψεκασμός καυσίμου σε καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα υπό υψηλά φορτία.

2.14 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ GDI

Οι κινητήρες GDI σχεδιάστηκαν και εξελίχθηκαν από ιαπωνικές αυτοκινητοβιομηχανίες οι οποίες πραγματοποιούσαν τις δοκιμές και τις μελέτες τους με καύσιμα της ιαπωνικής αγοράς. Τα καύσιμα, όμως, της ευρωπαϊκής και της αμερικανικής αγοράς διαφέρουν, από αυτά της Ιαπωνικής, αφού δεν ήταν τόσο καλής ποιότητας, ενώ είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα θείου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, οι κινητήρες GDI να λειτουργούν σαν συμβατικοί ως προς την απόδοση, η οποία ήταν μέτρια λόγω της μη καλής ποιότητας των καυσίμων, την κατανάλωση και την εκπομπή ρύπων, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε θείο.

Όλα αυτά συνέβαιναν λόγω του ότι οι ηλεκτρονικές μονάδες διαχείρισης των κινητήρων GDI αντιλαμβάνονταν τα ευρωπαϊκά και τα αμερικανικά καύσιμα σαν καύσιμα χαμηλότερης ποιότητας και άλλαζαν το λόγο αέρα-βενζίνης σε 20:1, από 40:1 που μπορεί να επιτύχει ο κινητήρας σε ιδανικές συνθήκες. Αυτή η αναλογία αέρα-βενζίνης μπορεί να χαρακτηρίσει το μίγμα σαν φτωχό, αφού είναι μεγαλύτερη από τη στοιχειομετρική αναλογία 14,7:1, αλλά δεν είναι αντάξια της τεχνολογίας των κινητήρων GDI.

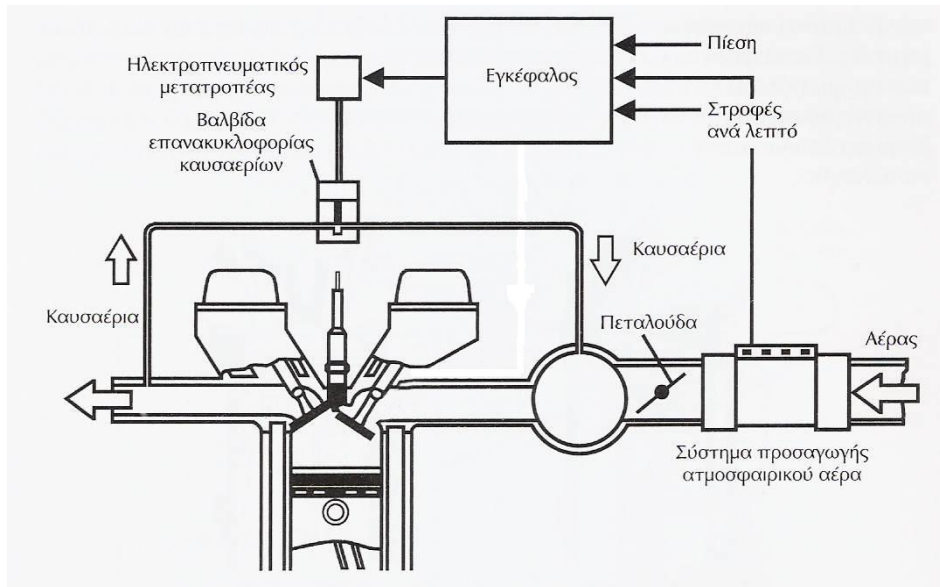
Η χρήση, όμως, βενζινών υψηλών οκτανίων, οι οποίες έχουν επεξεργαστεί κατάλληλα και είναι απαλλαγμένες και από την ύπαρξη θείου, αφήνουν τους κινητήρες GDI να επιτύχουν μέγιστη δυνατή απόδοση, ελάχιστη δυνατή κατανάλωση και μικρότερες εκπομπές ρύπων. Τέτοιες βενζίνες είναι η BP Ultimate και η Shell V-Power Racing.

2.15 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ - RENAULT IDE

Η Renault είναι πρώτη ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία που παρουσίασε κινητήρα άμεσου ψεκασμό. Η Renault βλέποντας το πρόβλημα των κινητήρων GDI, ανέπτυξε έναν κινητήρα άμεσου ψεκασμού με διαφορετική αρχή λειτουργίας, παρακάμπτοντας τα προβλήματα αυτά, ώστε να μπορεί να λειτουργεί απροβλημάτιστα με τα ευρωπαϊκά καύσιμα.

2.16 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΙΔΕ

Οι κινητήρες ΙΔΕ (Injection Direct Essence - Άμεσος Ψεκασμός Ουσίας) δεν λειτουργούν με πρόγραμμα φτωχού μίγματος, αλλά χρησιμοποιούν την αρχή ανακύκλωσης των καυσαερίων, EGR (Exhaust Gas Recirculation), Σχ. 2.16.1 .



Σχ. 2.16.1 : Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων.

Με το σύστημα ανακύκλωσης των καυσαερίων μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου, αφού η επανακυκλοφορία των καυσαερίων μέσα στους κυλίνδρους μειώνει τον ωφέλιμο χώρο των κυλίνδρων. Η ανακύκλωση των καυσαερίων πραγματοποιείται με την τοποθέτηση ενός μικρού σωλήνα, μετά την βαλβίδα εξαγωγής, ο οποίος καταλήγει στην εισαγωγή του κινητήρα. Στον σωλήνα, αυτόν, είναι τοποθετημένη μία βαλβίδα η οποία ελέγχει την ποσότητα των καυσαερίων που θα ανακυκλωθεί. Το άνοιγμα της βαλβίδας εξαρτάται από το σήμα που θα δεχτεί από τον εγκέφαλο του αυτοκινήτου.

Το ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης έχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται το φορτίο του κινητήρα μέσω κάποιων αισθητήρων. Το σύστημα της ανακύκλωσης των καυσαερίων του κινητήρα τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν οι απαιτήσεις απόδοσης του κινητήρα είναι μικρές, αφού σε πλήρες φορτίο προκαλεί ανεπιθύμητη μείωση ισχύος και το σύστημα EGR απενεργοποιείται με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργεί συμβατικά. Η ποσότητα των καυσαερίων που μπορεί να ανακυκλωθεί φτάνει έως και το 25% της χωρητικότητας των κυλίνδρων, ανάλογα με τις απαιτήσεις της απόδοσης του κινητήρα, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργεί με το 75% της χωρητικότητάς του.

Οι κινητήρες με το σύστημα EGR δεν θα λειτουργούσαν και τόσο ικανοποιητικά αν δεν ήταν εφοδιασμένοι με το σύστημα άμεσου ψεκασμού, και

αυτό γιατί θα ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθεί ανάφλεξη του μίγματος με τόσο μεγάλη ποσότητα καυσαερίων μέσα στον κύλινδρο. Η μόνη λύση για την επίτευξη της ανάφλεξης του μίγματος κάτω από τέτοιες συνθήκες είναι η συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας καυσίμου σε αέρια κατάσταση πολύ κοντά στον αναφλεκτήρα (μπουζί).

Η Renault τοποθέτησε, στον κινητήρα αυτόν, το μπεκ ψεκασμού της βενζίνης στο κέντρο του θαλάμου καύσεως, στην θέση του αναφλεκτήρα, ο οποίος αναφλεκτήρας είναι πλέον τοποθετημένος στο πλάι του μπεκ και σε πολύ κοντινή απόσταση από το σημείο ψεκασμού. Ο ψεκασμός της βενζίνης μέσα στον κύλινδρο γίνεται υπό υψηλή πίεση της τάξης των 100 bar, περίπου. Η υψηλή πίεση ψεκασμού αναγκάζει τα σωματίδια της βενζίνης να εξαερωθούν και να αναμειχθούν πλήρως με όλη την ποσότητα του αέρα που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται τέλεια καύση του μίγματος. Η δέσμη του καυσίμου που εκχέεται περνά μπροστά από τον αναφλεκτήρα με μεγάλη ταχύτητα και προσκρούει στην ημισφαιρική κεφαλή του εμβόλου, όπου και στροβιλίζεται. Από την άλλη μεριά, ο αναφλεκτήρας δημιουργεί ηλεκτρική εκκένωση και αναφλέγει το καύσιμο που βρίσκεται κοντά του, δημιουργώντας μέτωπο φλόγας το οποίο εξαπλώνεται προς όλες τις διευθύνσεις.

Μπορεί η αρχή λειτουργίας των κινητήρων της Renault να είναι διαφορετική από αυτήν των κινητήρων GDI, που αναλύσαμε νωρίτερα, αλλά και σε αυτούς τους κινητήρες οι κεφαλές των εμβόλων δεν είναι επίπεδες. Έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα για τον πλήρη έλεγχο της κίνησης του μίγματος αέρα-βενζίνης μέσα στον κύλινδρο, καθώς και για τον έλεγχο της εξέλιξης της καύσης του μίγματος. Από την άλλη μεριά, οι διαφορές των δύο αυτών τύπων κινητήρα άμεσου ψεκασμού εστιάζονται τόσο στις θέσεις του αναφλεκτήρα και των εγχυτήρων, όσο και στον αυλό εισαγωγής ο οποίος πλέον δεν είναι κατακόρυφος, όπως συνέβαινε στους κινητήρες GDI.

Στο Σχ. 2.16.2 και στο Σχ. 2.16.3 παρουσιάζεται η λειτουργία του κινητήρα άμεσου ψεκασμού της Renault, όπου φαίνεται ο ψεκασμός και ο στροβιλισμός του καυσίμου στο ημισφαιρικό έμβολο, καθώς επίσης και η ανάμειξη του μίγματος αέρα-βενζίνης.



Σχήμα 2.16.2 : Ψεκασμός βενζίνης.



Σχήμα 2.16.3 : Στροβιλισμός και ανάμειξη του μίγματος.

Στους κινητήρες IDE, όπως και στους GDI, ο λόγος συμπίεσης αυξήθηκε στο 11,5:1, χάρη στο σύστημα άμεσου ψεκασμού που λειτουργεί σαν ψυκτικό συστατικό του μίγματος, αποφεύγοντας έτσι την κρουστική καύση. Τα αποτελέσματα αυτού του κινητήρα είναι, από την μία, η μείωση της κατανάλωσης βενζίνης μέχρι και 25%, που αντιστοιχεί στο μέγιστο ποσοστό χωρητικότητας του κυλίνδρου σε καυσαέρια και, από την άλλη η μικρή αλλά αξιοσημείωτη αύξηση της ισχύς, σε σχέση με τους αντίστοιχους συμβατικούς κινητήρες.

2.17 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΕΜΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ - NISSAN DIS

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στραφεί προς την εξέλιξη και παραγωγή κινητήρων άμεσου ψεκασμού, ανάμεσα σε αυτές και η Nissan. Η Nissan, όμως, δεν συμβιβάστηκε με τους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, αλλά σχεδίασε έναν κινητήρα έμμεσου ψεκασμού, ο οποίος είναι άξιος αναφοράς.

Το νέο σύστημα έμμεσου ψεκασμού της Nissan ονομάζεται DIS (Dual Injector System – Σύστημα Δύο Εγχυτήρων) και βασίζεται στην παρουσία δύο εγχυτήρων ψεκασμού καυσίμου ανά κύλινδρο, για την καλύτερη διαχείριση της βενζίνης. Η ιαπωνική εταιρεία είναι η πρώτη που θα εφοδιάσει διάφορα μοντέλα παραγωγής με το σύστημα τροφοδοσίας δύο εγχυτήρων σε κάθε κύλινδρο, αντί για έναν όπως συμβαίνει στους συμβατικούς κινητήρες. Το σύστημα αυτό θα τοποθετηθεί, κυρίως, σε κινητήρες μικρού κυβισμού από το 2010.

Τα συστήματα άμεσου ψεκασμού έχουν υψηλό κόστος κατασκευής, λόγω της λειτουργίας της αντλίας βενζίνης και των μπεκ ψεκασμού σε πολύ υψηλές πιέσεις, με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιούνται αρκετά σε κινητήρες μικρού κυβισμού. Το σύστημα DIS είναι απλούστερο, ελαφρύτερο και 60% φθηνότερο κατασκευαστικά, από ένα σύστημα άμεσου ψεκασμού, αφού δεν χρειάζεται αντλία και μπεκ ψεκασμού τόσο υψηλών πιέσεων. Τέλος, οι εγχυτήρες θα

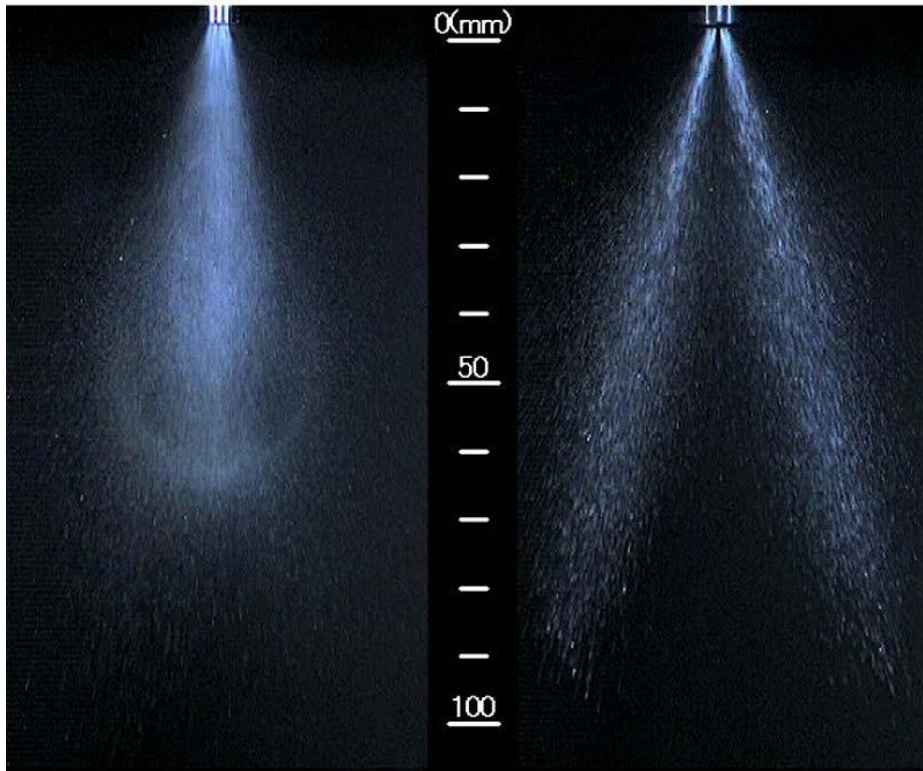
ψεκάζουν την βενζίνη σε δύο ανεξάρτητους αυλούς πριν από κάθε βαλβίδα εισαγωγής, όπως φαίνεται και στην Εικ. 2.17.1 .



Εικόνα 2.17.1 : Κυλινδροκεφαλή κινητήρα DIS.

Αποτέλεσμα της λειτουργίας αυτού του κινητήρα αποτελεί η σημαντική μείωση της εκπομπής υδρογονανθράκων, αφού μειώνεται η ποσότητα άκαυστης βενζίνης, και η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου πάνω από 4%, σε σχέση με κινητήρες της Nissan αντίστοιχης ισχύος. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται, κυρίως, στην μείωση του μεγέθους των σταγονιδίων της βενζίνης που ψεκάζεται, των οποίων η διάμετρος περιορίζεται κατά 60%, σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα ψεκασμού, γεγονός που εξασφαλίζει ομαλότερη και σταθερότερη καύση λόγω της ευκολότερης εξαέρωσης των σταγονιδίων. Σε αυτό το αποτέλεσμα συντελεί, βέβαια, και η χρήση συστήματος μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.

Στην Εικ. 2.17.2 υψηλής ακρίβειας, που φαίνεται στη συνέχεια, παρουσιάζεται η στιγμή ψεκασμού ενός συστήματος DIS, στα αριστερά, και ενός συμβατικού συστήματος, στα δεξιά. Η διαφορά στα δύο συστήματα ψεκασμού είναι εμφανής, αφού ο ψεκασμός του DIS είναι πυκνότερος, σε αντίθεση με τον συμβατικό ψεκασμό όπου η διασπορά του καυσίμου είναι φτωχότερη.



Εικόνα 2.17.2 : Ψεκασμός βενζίνης με σύστημα DIS, στα αριστερά - Συμβατικό σύστημα ψεκασμού, στα δεξιά.

3. ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

3.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

Σε υψηλούς ρυθμούς περιστροφής ο χρόνος εισαγωγής και εξαγωγής, σε έναν εμβολοφόρο τετράχρονο κινητήρα εσωτερικής καύσης, μειώνεται και όσο αυξάνεται ο ρυθμός περιστροφής του κινητήρα, τόσο μειώνονται και αυτά τα χρονικά διαστήματα. Αυτή η κατάσταση έχει σαν αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική πλήρωση του κυλίνδρου, κατά την εισαγωγή, και την ανεπαρκή εκκένωση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια, κατά την εξαγωγή. Μία λύση θα ήταν το πρόωρο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και το αργοπορημένο κλείσιμο των βαλβίδων εξαγωγής. Η απόδοση και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας στις υψηλές στροφές θα βελτιώνονταν, με μία τέτοια ρύθμιση στο χρονισμό των βαλβίδων, αλλά από την άλλη δεν θα ήταν ομαλή η λειτουργία του κινητήρα στις χαμηλές στροφές. Επίσης, λόγω της σταθερής υπερκάλυψης του χρονισμού των βαλβίδων (overlap), δηλαδή το χρονικό διάστημα που μένουν ανοιχτές, ταυτόχρονα, και οι βαλβίδες εισαγωγής αλλά και οι βαλβίδες εξαγωγής, σε όλο το φάσμα των στροφών του κινητήρα, θα υπήρχε ο κίνδυνος της διαφυγής του καύσιμου μίγματος από τις βαλβίδες εξαγωγής ή της εισροής των καυσαερίων στην πολλαπλή εισαγωγής. Το ιδανικό θα ήταν η υπερκάλυψη του χρονισμού των βαλβίδων να μην ήταν σταθερή και δεδομένη, αλλά να μεταβάλλεται ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων (Variable Valve Timing – VVT).

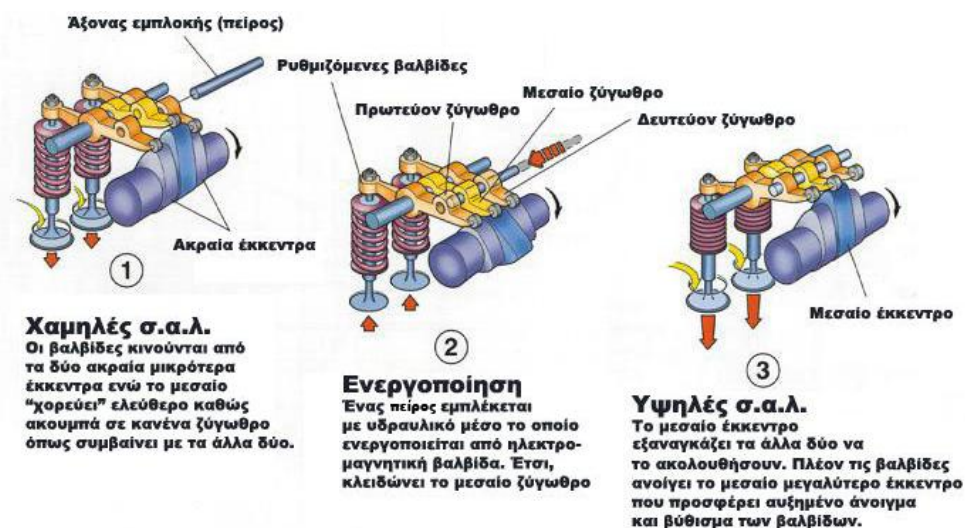
Τα συστήματα αυτά ενεργούν είτε στις βαλβίδες εισαγωγής, είτε και στις βαλβίδες εξαγωγής. Η μεταβολή του χρονισμού επιτυγχάνεται με την αλλαγή της φάσης (γωνία) των εκκεντροφόρων, μέσω κάποιου μηχανισμού. Συνήθως, ο μηχανισμός αυτός είναι κάποιο υδραυλικό κύκλωμα και ελέγχεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα. Τα πρώτα συστήματα VVT επέτρεπαν μόνο τον πρόωρο ή το αργοπορημένο άνοιγμα των βαλβίδων, χωρίς να μπορούν να επέμβουν ούτε στην χρονική διάρκεια που θα μείνουν ανοιχτές οι βαλβίδες, ούτε και στο βύθισμά τους, πράγμα που επιτυγχάνουν πιο εξελιγμένοι μηχανισμοί τέτοιων συστημάτων, όπως τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού και ανύψωσης των βαλβίδων. Τέλος, τα νέα συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν συνεχώς τη φάση των εκκεντροφόρων, μεταξύ των 0° και της μέγιστης προβλεπόμενης τιμής, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας και τον ρυθμό περιστροφής του κινητήρα, παρέχοντας ακριβή χρονισμό των βαλβίδων σε όλο το φάσμα των

στροφών και συντελώντας στην γραμμική και ομοιόμορφη λειτουργία του κινητήρα, σε αντίθεση με τα παλαιότερα συστήματα χρονισμού των βαλβίδων όπου υπήρχαν μόνο δύο ή τρεις προεπιλεγμένες και σταθερές γωνίες λειτουργίας. Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με μηχανικό σύστημα VVT ήταν η Alfa Romeo Spider του 1980.

3.2 HONDA VTEC

Η Honda είναι μία από τις πρώτες αυτοκινητοβιομηχανίες η οποία χρησιμοποίησε ένα είδος μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων. Στην ουσία πρόκειται για άμεση μεταβολή του χρονισμού των βαλβίδων μέσω ενός μηχανισμού, και όχι μέσω της μεταβολής της φάσης του εκκεντροφόρου, όπως αναφέραμε παραπάνω.

Το σύστημα της Honda ονομάζεται VTEC (Variable Timing Electronic Control) και αποτελείται από δύο διαφορετικών διαστάσεων έκκεντρα σε κάθε εκκεντροφόρο. Τα έκκεντρα αυτά κινούν τα ζύγωθρα και αυτά με την σειρά τους μεταβάλλουν τον χρονισμό των βαλβίδων. Οι δύο διαφορετικές μορφές λοβών αναφέρονται σαν έκκεντρα «οικονομίας καυσίμου» και σαν έκκεντρα «υψηλής απόδοσης». Αυτό σημαίνει ότι οι κινητήρες με το σύστημα VTEC είναι αποδοτικοί αλλά, ταυτόχρονα, και οικονομικοί. Η λειτουργία του συστήματος VTEC φαίνεται στο Σχ. 3.2.1 .



Σχήμα 3.2.1 : Μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων από την Honda.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλό ρυθμό περιστροφής οι βαλβίδες κινούνται μέσω των ζύγωθρων από τα έκκεντρα μικρότερης διάστασης και μένουν ανοιχτές για μικρό χρονικό διάστημα, προσφέροντας οικονομία καυσίμου και μειωμένες εκπομπές ρύπων. Καθώς ο ρυθμός περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται ένας άξονας εμπλοκής (πείρος) ενεργοποιείται με υδραυλικό μέσο από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, η οποία παίρνει την

εντολή ενεργοποίησης/απενεργοποίησης από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα βασιζόμενη στις απαιτήσεις της μηχανής. Μέσω του άξονα εμπλοκής, τα έκκεντρα διαφορετικών διαστάσεων «κλειδώνουν» μεταξύ τους με αποτέλεσμα το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων να πραγματοποιείται από τα μεγαλύτερα έκκεντρα, αυξάνοντας έτσι το βύθισμα και την χρονική διάρκεια κατά την οποία θα μείνουν ανοιχτές οι βαλβίδες, και προσφέροντας περισσότερη ισχύ.

Σύστημα μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων με την ίδια φιλοσοφία και αρχή λειτουργίας έχει υιοθετήσει και η Mitsubishi. Το σύστημα αυτό ονομάζεται MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve and Lift Electronic Control System).

3.3 TOYOTA VVT-i, DUAL VVT-i, VVTL-i

Το σύστημα VVT-i (Variable Valve Timing-intelligent), Εικ. 3.3.1, της Toyota είναι γνωστό εδώ και χρόνια στον κόσμο των μηχανών εσωτερικής καύσης και έχει εφαρμοστεί σε πάρα πολλά μοντέλα της εταιρίας. Από κατασκευαστικής άποψης είναι το φτηνότερο αλλά δεν παύει να είναι ένα αξιόπιστο σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων.

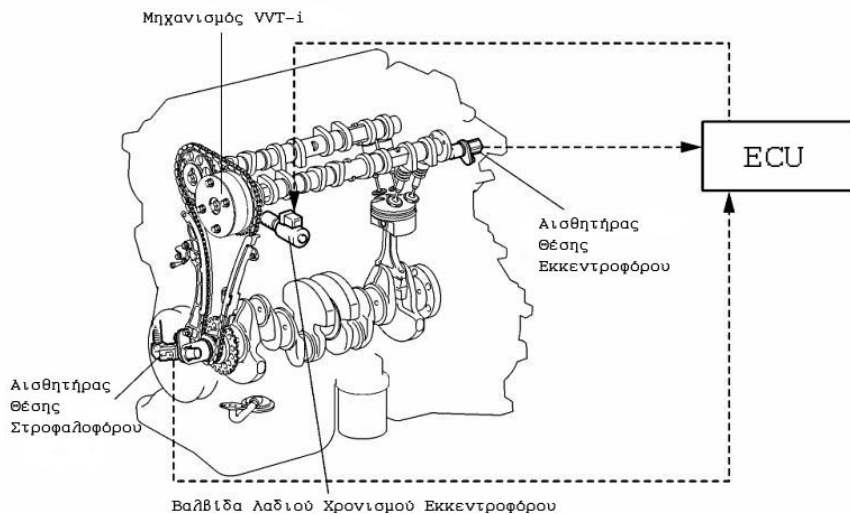


Εικόνα 3.3.1 : Κινητήρας με σύστημα VVT-i.

Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε ο εκκεντροφόρος εισαγωγής να ελέγχεται μέσα σε μία περιοχή 43° (γωνίας στροφάλου), με σκοπό την επίτευξη του ιδανικού χρονισμού των βαλβίδων που αρμόζει σε οποιαδήποτε συνθήκη λειτουργίας του κινητήρα βελτιώνοντας την ροπή σε όλο το φάσμα των στροφών, την οικονομία καυσίμου και την μείωση της εκπομπής των καυσαερίων. Η λέξη «intelligent-έξυπνο» δίνει έμφαση στο εξελιγμένο πρόγραμμα διαχείρισης το οποίο μεταβάλλει τον χρονισμό των βαλβίδων ανάλογα με τον ρυθμό περιστροφής του κινητήρα και συνυπολογίζοντας τα

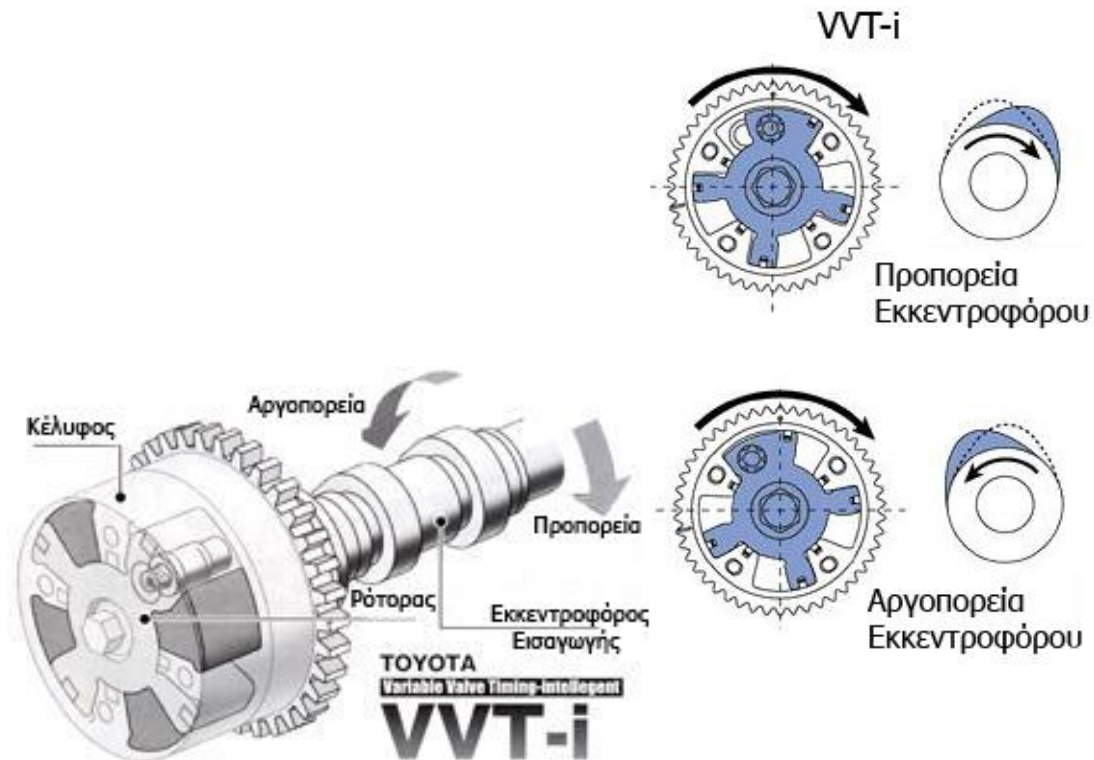
δεδομένα που στέλνονται από τους διάφορους αισθητήρες στην μονάδα ελέγχου του κινητήρα.

Πιο συγκεκριμένα, η E.C.U. του κινητήρα λαμβάνει δεδομένα από τον αισθητήρα της θέσης στροφάλου, τον μετρητή της ροής του εισερχόμενου αέρα, τον αισθητήρα της θέσης της πεταλούδας, τον αισθητήρα της θερμοκρασίας του νερού, τον αισθητήρα της θέσης του εκκεντροφόρου και τον μετρητή ταχύτητας του οχήματος, Σχ. 3.3.2 . Τα δεδομένα αυτά αξιολογούνται και με βάση την απαιτούμενη στιγμιαία απόδοση, η E.C.U. καθορίζει το βέλτιστο χρονισμό των βαλβίδων περιστρέφοντας υδραυλικά τον εκκεντροφόρο εισαγωγής για προπορεία ή καθυστέρηση του ανοίγματος των βαλβίδων. Η υδραυλική πίεση που χρησιμοποιείται καθορίζεται από μία βαλβίδα ελέγχου λαδιού του χρονισμού του εκκεντροφόρου, η οποία δέχεται την κατάλληλη εντολή από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα.



Σχήμα 3.3.2 : Διάταξη αισθητήρων και συστήματος VVT-i.

Ο μηχανισμός VVT-i, Σχ. 3.3.3, αποτελείται από το κέλυφος το οποίο περιστρέφεται από την αλυσίδα ή τον ιμάντα, και έναν εσωτερικό, στο κέλυφος, ρότορα που είναι συνδεδεμένος με τον εκκεντροφόρο εισαγωγής. Η περιστροφή αυτού του ρότορα προκαλείται από το λάδι που στέλνεται από την μεριά της αργοπορείας ή της προπορείας στον εκκεντροφόρο εισαγωγής, έτσι ώστε να μεταβάλλεται συνεχώς ο χρονισμός των βαλβίδων εισαγωγής. Ο μηχανισμός VVT-i περιστρέφει τον εκκεντροφόρο εισαγωγής ανάλογα με την θέση που εφαρμόζεται η πίεση του λαδιού. Όπως προείπαμε η βαλβίδα λαδιού του χρονισμού του εκκεντροφόρου ανοίγει το πέρασμα του λαδιού προς τον μηχανισμό VVT-i ανάλογα με το σήμα αργοπορείας, προπορείας ή διατήρησης που θα λάβει από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα και κατανέμει την υδραυλική πίεση στην πλευρά της αργοπορείας ή της προπορείας.



Σχήμα 3.3.3 : Μηχανισμός VVT-i.

Όταν ο κινητήρας είναι σβηστός ο εκκεντροφόρος εισαγωγής λαμβάνει την μέγιστη αργοπορεία και η βαλβίδα λαδιού του χρονισμού του εκκεντροφόρου βρίσκεται στην μεριά της μέγιστης αργοπορείας, για να βελτιωθεί η ικανότητα εκκίνησης. Την ίδια στιγμή ασφαρίζει το κέλυφος και τα πτερύγια μέσα στο μηχανισμό VVT-i, και όταν τεθεί σε λειτουργία ο κινητήρας, ο πείρος ασφάλισης απελευθερώνεται από την υδραυλική πίεση.

Στον Πιν. 3.3.4 φαίνεται ο χρονισμός των βαλβίδων, η λειτουργία του συστήματος VVT-i, καθώς και το αποτέλεσμα για κάθε κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα.

Πίνακας 3.3.4

Κατάσταση λειτουργίας	Χρονισμός βαλβίδων	Λειτουργία του συστήματος VVT-i	Αποτέλεσμα
Στο ρελαντί	Διατήρηση	Δεν δημιουργεί overlap (επικάλυψη) για να μειωθεί η επιστροφή καυσαερίων στην εισαγωγή.	Σταθερό ρελαντί και οικονομία καυσίμου.
Σε ελαφρύ φορτίο	Αργοπορεία	Μειώνει το overlap για να μειωθεί η επιστροφή των καυσαερίων στην εισαγωγή.	Σταθερή λειτουργία κινητήρα.
Σε μέτριο φορτίο	Προπορεία	Αυξάνει το overlap για να αυξηθεί το εσωτερικό EGR (Exhaust Gas Recirculation) και να μειωθούν οι απώλειες εισαγωγής.	Οικονομία καυσίμου και μειωμένες εκπομές καυσαερίων.

Σε χαμηλές-μεσαίες στροφές και με υψηλό φορτίο	Προπορεία	Κλείνει τις βαλβίδες εισαγωγής νωρίτερα για να βελτιωθεί η ογκομετρική απόδοση.	Βελτιωμένη ροπή στις χαμηλές και μεσαίες στροφές του κινητήρα.
Σε υψηλές στροφές και με υψηλό φορτίο	Αργοπορεία	Καθυστερεί το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής για να βελτιωθεί η ογκομετρική απόδοση.	Αυξημένη ισχύς.
Σε χαμηλές θερμοκρασίες	Διατήρηση	Δεν δημιουργεί overlap για να μειωθεί η επιστροφή καυσαερίων στην εισαγωγή, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου στις χαμηλές στροφές, ενώ επιτυγχάνεται σταθερό ρελαντί σε χαμηλές στροφές.	Σταθερό ρελαντί σε χαμηλές στροφές και οικονομία καυσίμου.
Κατά την εκκίνηση/σταμάτημα του κινητήρα	Διατήρηση	Δεν δημιουργεί overlap για να μειωθεί η επιστροφή καυσαερίων στην εισαγωγή.	Σταθερή λειτουργία κινητήρα.

Οι πρώτοι μηχανισμοί VVT-i της Toyota αναλάμβαναν μόνο τον χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής. Η συνέχεια, όπως ήταν φυσικό, είναι ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων εισαγωγής και των βαλβίδων εξαγωγής. Η αλλαγή της γωνίας φάσης του εκκεντροφόρου εξαγωγής γίνεται με, ακριβώς, τον ίδιο τρόπο, όπως περιγράψαμε παραπάνω. Το σύστημα αυτό λέγεται Dual VVT-i και η χρήση του αυξάνει, επιπλέον, και την ισχύ του κινητήρα αλλά ταυτόχρονα μειώνει κι' άλλο την κατανάλωση.

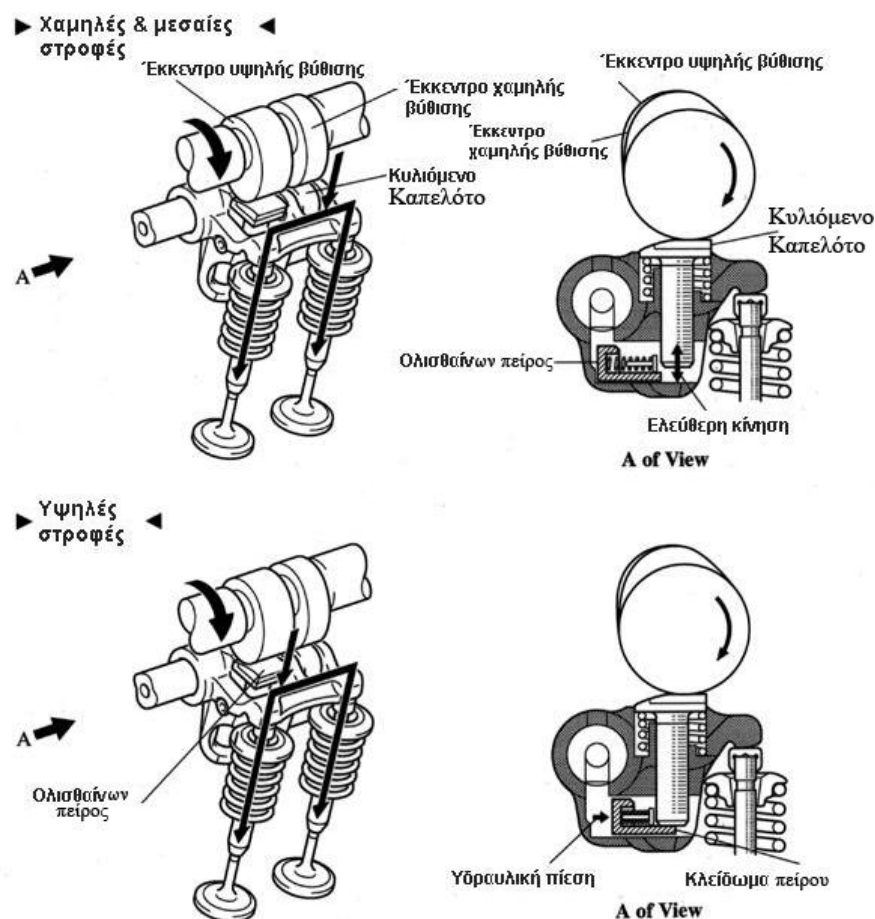
Συγκρίνοντας δύο ίδιους κινητήρες 1.600cc, οι οποίοι τοποθετούνται στο ίδιο ακριβώς αμάξωμα, με μονό VVT-i και με Dual VVT-i διαπιστώνουμε ότι η ισχύς αυξάνεται κατά 14 ίππους, η ροπή κατά 7 Nm ενώ, ταυτόχρονα, η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0,3 lt/100km.

Οι δυνατότητες των συστημάτων VVT-i και Dual VVT-i περιορίζονται μόνο στον χρονισμό των βαλβίδων προκαλώντας πρόωρο ή αργοπορημένο άνοιγμα των βαλβίδων. Η χρονική διάρκεια, όμως, κατά την οποία παραμένουν ανοιχτές οι βαλβίδες, καθώς και το βύθισμα των βαλβίδων δεν μεταβάλλονται. Ακριβώς αυτό κάνει το καινούργιο σύστημα της Toyota με την ονομασία VVTL-i.

Το VVTL-i (Variable Valve Timing Lift-intelligent) αποτελεί ένα από τα πιο εξελιγμένα συστήματα μεταβλητού χρονισμού και βύθισης των βαλβίδων. Το γράμμα "L" (Lift) που προστέθηκε υποδηλώνει την μεταβλητή βύθιση των βαλβίδων και είναι αυτό που κάνει την διαφορά σε σχέση με τον προκάτοχό του, το σύστημα VVT-i. Στην ουσία το σύστημα αυτό συνδυάζει τις δυνατότητες του VVT-i της Toyota και του VTEC της Honda, αφού η λειτουργία του περιλαμβάνει συνεχόμενο μεταβλητό χρονισμό, μεταβλητή βύθιση σε δύο στάδια και μεταβλητή διάρκεια βύθισης των βαλβίδων. Επίσης, το σύστημα αυτό εφαρμόζεται και στους εκκεντροφόρους εισαγωγής και σε αυτούς της εξαγωγής.

Ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων επιτυγχάνεται με τον ίδιο, ακριβώς, τρόπο που συνέβαινε και στο σύστημα VVT-i, αλλάζοντας την γωνία φάσης του εκκεντροφόρου μέσω υδραυλικού μηχανισμού. Η μόνη διαφορά έγκειται στο μεγαλύτερο, πλέον, φάσμα μεταβολής της φάσης του εκκεντροφόρου το οποίο φτάνει τις 60° (γωνίας στροφάλου), έναντι 43° που ήταν στα πρώτα VVT-i. Από την άλλη μεριά, το σύστημα για τη βύθιση των βαλβίδων και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μένουν, αυτές, ανοιχτές μοιάζει με αυτό της Honda, αλλά δεν είναι, απόλυτα, ίδιο.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα της Toyota χρησιμοποιεί ένα μονό ζύγωθρο για την κίνηση των δύο βαλβίδων. Δύο έκκεντρα με διαφορετική διατομή βρίσκονται σε κάθε θέση του εκκεντροφόρου. Κάτω, ακριβώς, από τα δύο αυτά έκκεντρα βρίσκονται δύο καπελότα, με τα οποία έρχονται σε επαφή τα έκκεντρα και τα καπελότα με τη σειρά τους θέτουν σε κίνηση τις βαλβίδες. Το καπελότο που βρίσκεται κάτω από το έκκεντρο μικρής βύθισης ονομάζεται κυλιόμενο καπελότο, ενώ το καπελότο που βρίσκεται κάτω από το έκκεντρο υψηλής βύθισης ονομάζεται ολισθαίνων καπελότο. Όλα αυτά φαίνονται στο Σχ. 3.3.5, καθώς επίσης και η λειτουργία του συστήματος VVTL-i.



Σχήμα 3.3.5 : Λειτουργία συστήματος VVTL-i.

Το έκκεντρο με την μικρότερη διατομή ενεργεί σε χαμηλότερες στροφές λειτουργίας, ενώ το έκκεντρο με την μεγαλύτερη διατομή δεν έχει καμία

επίδραση, αφού κάτω από το καπελότο στο οποίο ενεργεί υπάρχει κενό. Όταν, όμως, οι στροφές λειτουργίας του κινητήρα ξεπεράσουν κάποιο όριο ένας πείρος που ολισθαίνει μετακινείται με υδραυλική πίεση και καλύπτει το κενό αυτό, θέτοντας σε λειτουργία το έκκεντρο με την μεγαλύτερη διατομή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται η βύθιση και η χρονική διάρκεια κατά την οποία παραμένουν ανοιχτές οι βαλβίδες, έτσι ώστε η ποσότητα του εισερχόμενου μίγματος αέρα-βενζίνης να είναι μεγαλύτερη και παράλληλα να πραγματοποιείται μεγαλύτερη εξαγωγή ποσότητας καυσαερίων.

3.4 BMW VANOS, VALVETRONIC

Η BMW χρησιμοποιεί εδώ και αρκετά χρόνια κινητήρες με σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων στα μοντέλα της. Το πρώτο τέτοιο σύστημα ονομάζεται Vanos και ήταν υπεύθυνο, μόνο, για τον χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής.

Το εν λόγω σύστημα της BMW μεταβάλλει τη γωνία φάσης του εκκεντροφόρου, όπως συμβαίνει και με το σύστημα VVT-i της Toyota. Η μεταβολή του χρονισμού επιτυγχάνεται με την μετατόπιση μίας συναρμογής γραναζιών, που βρίσκεται στην πλευρά που παίρνει κίνηση ο εκκεντροφόρος εισαγωγής, και εμπλέκονται υδραυλικά μεταξύ τους, ενώ ελέγχονται ηλεκτρονικά.

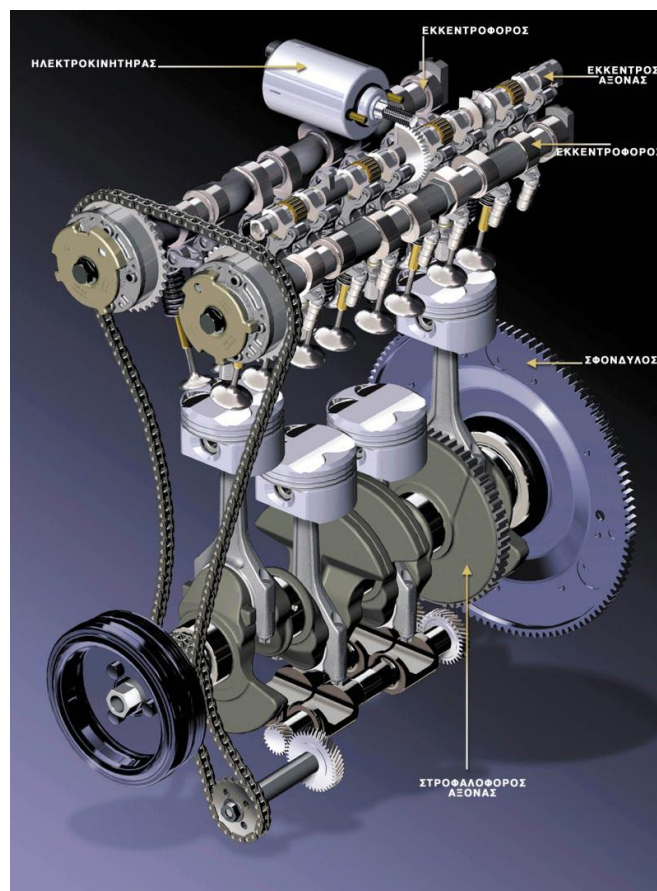
Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλό ρυθμό περιστροφής η θέση του εκκεντροφόρου εισαγωγής αλλάζει προκαλώντας, με αυτόν τον τρόπο, το αργοπορημένο άνοιγμα των βαλβίδων, καθώς έτσι βελτιώνεται η ποιότητα του ρελαντί, η λειτουργία του κινητήρα είναι σταθερή και επιτυγχάνεται ομαλότερη ανάπτυξη δύναμης. Καθώς αυξάνεται ο ρυθμός περιστροφής του κινητήρα, ο εκκεντροφόρος εισαγωγής κινείται γρηγορότερα, μέσω του συστήματος Vanos, έτσι ώστε οι βαλβίδες να ανοίξουν νωρίτερα. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης φάσης λειτουργίας είναι η βελτίωση της ροπής, η μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου και η μείωση των ρύπων που εκπέμπονται. Σε υψηλούς ρυθμούς λειτουργίας του κινητήρα, τέλος, το σύστημα Vanos προκαλεί την καθυστέρηση της περιστροφής του εκκεντροφόρου εισαγωγής, έτσι ώστε οι βαλβίδες να κλείσουν αργότερα για την επίτευξη της μέγιστης ισχύος, αφού η ογκομετρική απόδοση βελτιώνεται.

Η τοποθέτηση συστήματος μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων και στον εκκεντροφόρο εξαγωγής αποτελεί το σύστημα Double Vanos, Σχ. 3.4.1 . Η χρήση αυτού του συστήματος μειώνει, επιπλέον, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων, λόγω του καλύτερου ελέγχου των καυσαερίων.



Σχήμα 3.4.1 : Double Vanos από την BMW.

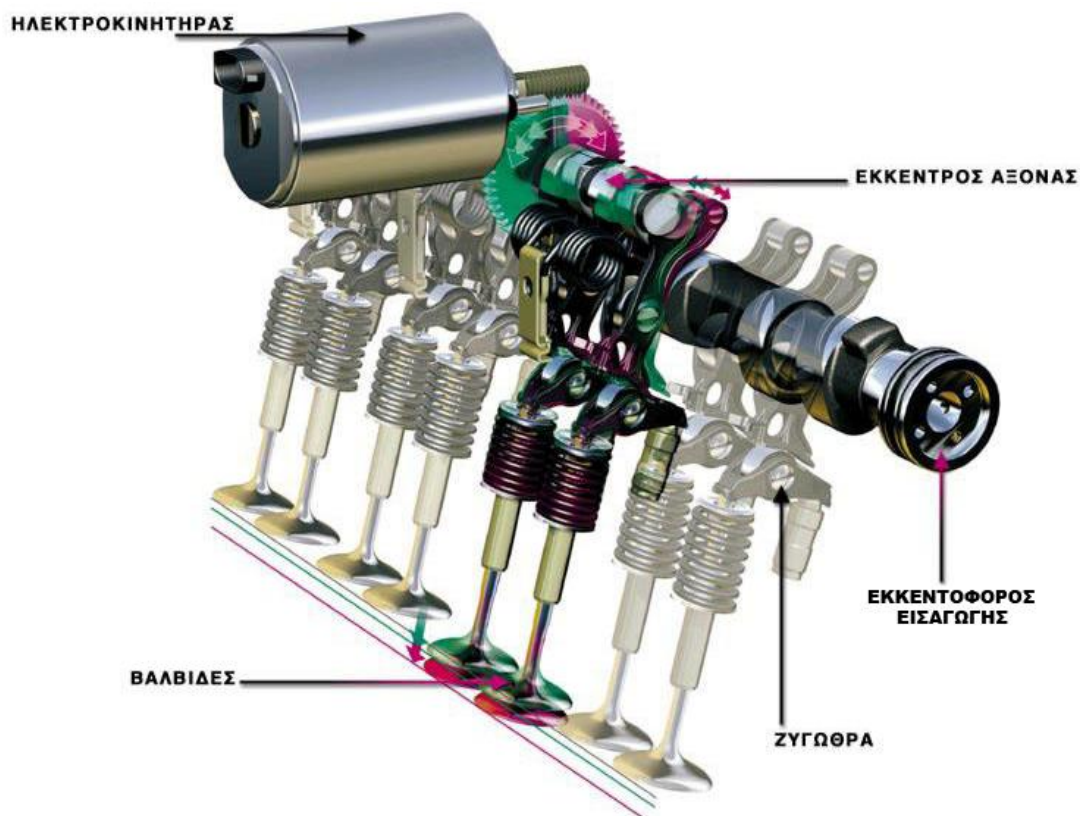
Τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων της BMW δεν έχουν την δυνατότητα μεταβολής της βύθισης των βαλβίδων, και κατά συνέπεια, και της διάρκειας κατά την οποία θα παραμείνουν ανοιχτές. Η BMW δημιούργησε ένα τέτοιο σύστημα το οποίο σε συνεργασία με το Double Vanos προσφέρει μικρή αύξηση της ισχύος στις υψηλές στροφές λειτουργίας, αλλά σημαντική μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου. Ένας τέτοιος κινητήρας φαίνεται στο Σχ. 3.4.2 . Το σύστημα αυτό ονομάζεται Valvetronic και είναι από τα πιο πολύπλοκα συστήματα μεταβλητής βύθισης των βαλβίδων.



Σχήμα 3.4.2 : Κινητήρας με σύστημα Valvetronic και Double Vanos.

Το Valvetronic έχει την δυνατότητα της συνεχόμενης μεταβολής της βύθισης, μόνο, των βαλβίδων εισαγωγής σε όλο το φάσμα των στροφών λειτουργίας του κινητήρα, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα συστήματα που ήδη αναφέραμε τα οποία μπορούν να μεταβάλλουν την βύθιση των βαλβίδων πάνω από κάποιο όριο υψηλών στροφών.

Στο σύστημα αυτό ο εκκεντροφόρος εισαγωγής δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τα ζύγωθρα των βαλβίδων, αλλά μεταξύ τους παρεμβαίνει ένας μοχλός, του οποίου το κάτω μέρος του ακουμπά πάνω στα ζύγωθρα, ενώ το άνω άκρο του οδηγείται από έναν έκκεντρο άξονα. Ο έκκεντρος, αυτός, άξονας λειτουργεί σαν τρίτος εκκεντροφόρος και παίρνει κίνηση από έναν ηλεκτροκινητήρα μέσω ενός γραναζιού μεταβάλλοντας την γωνία της συνολικής συναρμογής του μοχλού, Σχ. 3.4.3 . Ο μοχλός κινείται σαν εκκρεμές όταν ο εκκεντροφόρος εισαγωγής έρχεται σε επαφή μαζί του. Η μικρή, όμως, γωνία κίνησης του εκκρεμούς επιτρέπει στην κίνηση να θεωρηθεί οριζόντια. Η οριζόντια, λοιπόν, κίνηση που δημιουργείται μεταξύ μοχλού και εκκεντροφόρου άξονα εισαγωγής μετατρέπεται σε κάθετη λόγω της γεωμετρίας της βάσης του μοχλού που ολισθαίνει πάνω στο ζύγωθρο.

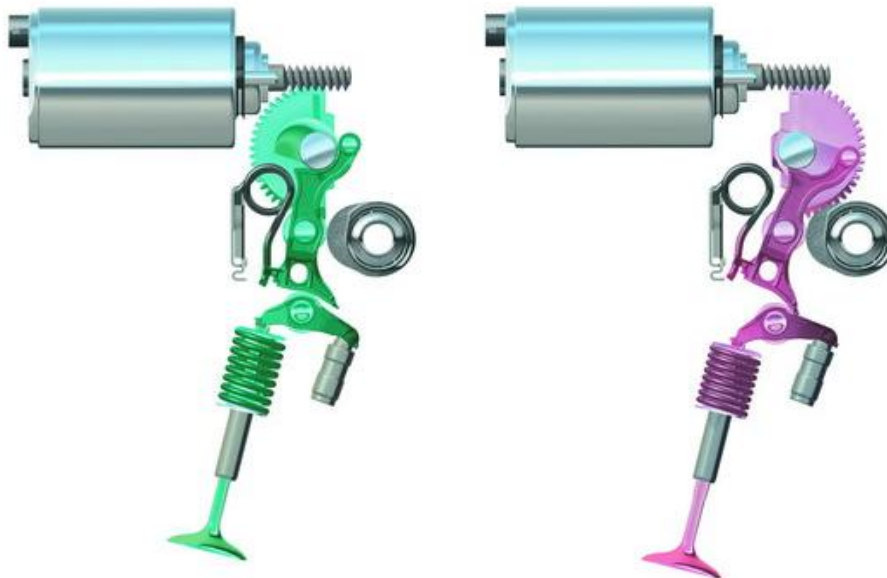


Σχήμα 3.4.3 : Σύστημα Valvetronic.

Η μεταβολή της γωνίας της συνολικής συναρμογής του μοχλού, με την βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα και του έκκεντρου άξονα, είναι αυτή που επιτρέπει την μεταβολή της βύθισης των βαλβίδων εισαγωγής. Η βύθιση των βαλβίδων κυμαίνεται μεταξύ 0 και 9,7 mm. Η κίνηση των βαλβίδων μεταξύ των

δύο ακραίων θέσεων πραγματοποιείται σε μόλις 300 χιλιοστά του δευτερολέπτου χάρη στην ύπαρξη ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία κρίνονται απαραίτητα λόγω του ότι το όλο σύστημα βασίζεται στην ακρίβεια και την ταχύτητα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας επεξεργαστής ξεχωριστός από την μονάδα ελέγχου.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό μερικό φορτίο η βύθιση των βαλβίδων κυμαίνεται μεταξύ 0,5 - 2 mm έτσι ώστε το καύσιμο μίγμα να εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα, λόγω της μικρής διατομής του ανοίγματος, και να συντελεί στην ομαλή απόδοση του κινητήρα, ακόμα και όταν αυτός είναι «κρύος», αφού έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη ομοιομορφία του μίγματος. Όταν, όμως, ο κινητήρας λειτουργεί με πλήρες φορτίο τότε η βύθιση των βαλβίδων γίνεται μέγιστη, 9,7 mm, για την επίτευξη μέγιστης εισροής ποσότητας καύσιμου μίγματος για την απόδοση αυξημένης ισχύος, Σχ. 3.4.4 .



Σχήμα 3.4.4 : Ελάχιστη βύθιση βαλβίδας, στα αριστερά - Μέγιστη βύθιση βαλβίδας, στα δεξιά.

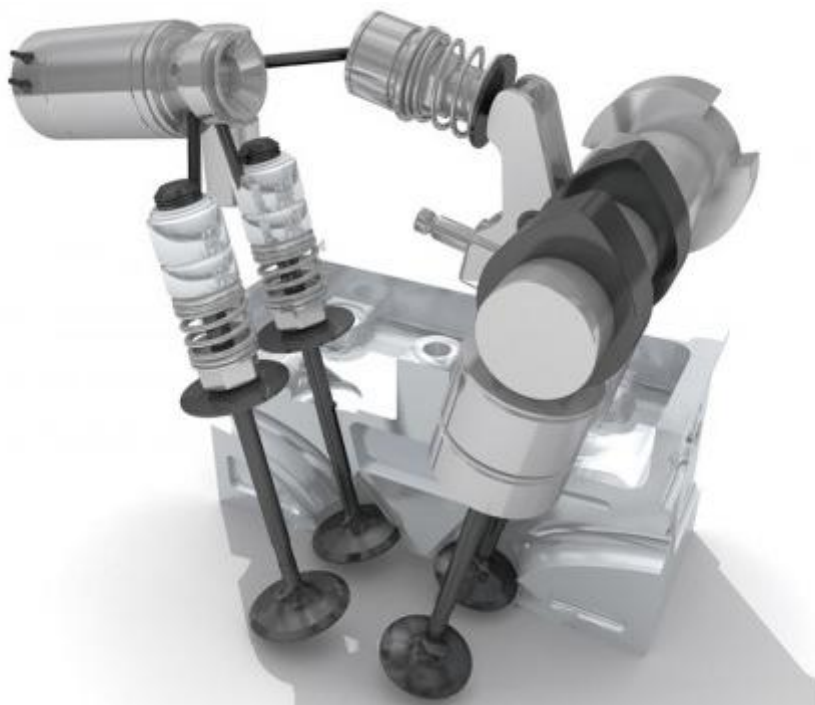
Η εμφάνιση του συστήματος Valvetronic κατήργησε τον μηχανισμό της ρυθμιστικής δικλείδας (πεταλούδα) από την πολλαπλή εισαγωγής και πλέον η ποσότητα του εισερχόμενου, στους κυλίνδρους, αέρα εξαρτάται από αυτό το σύστημα, χάρη της δυνατότητάς του να μεταβάλλει συνεχώς το βύθισμα και τη χρονική διάρκεια του ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής ανά πάσα στιγμή και σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα. Η αιτία που οδήγησε τους μηχανικούς της BMW στην δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος είναι γιατί ο μηχανισμός της πεταλούδας προκαλεί αρκετή απώλεια ισχύος κατά την λειτουργία του.

3.5 FIAT MULTIAIR

Καθώς πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες εξελίσσουν συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων, άλλα πιο απλά και άλλα πιο πολύπλοκα με την προσθήκη διάφορων εξαρτημάτων και ηλεκτρονικών συστημάτων, έρχεται η απάντηση από την Fiat με την τεχνολογική καινοτομία Multiair, η οποία καταργεί τον εκκεντροφόρο εισαγωγής.

Η τεχνολογία Multiair εξελίχθηκε από την Fiat Powertrain Technologies (FPT) με στόχο την επίτευξη του καλύτερου δυνατού ελέγχου του ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής, ώστε να εξασφαλίζεται, σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα, ο απόλυτος έλεγχος της ποσότητας του εισερχόμενου μίγματος, αέρα-βενζίνης, ανεξάρτητα για κάθε κύλινδρο. Η μεταβλητή ενεργοποίηση των βαλβίδων εισαγωγής, με την τεχνολογία Multiair, πραγματοποιείται με ηλεκτροϋδραυλικό τρόπο, επιτυγχάνοντας ανεξάρτητη ρύθμιση σε κάθε κύλινδρο, τόσο για την βύθιση όσο και για τη διάρκεια του ανοίγματος των βαλβίδων.

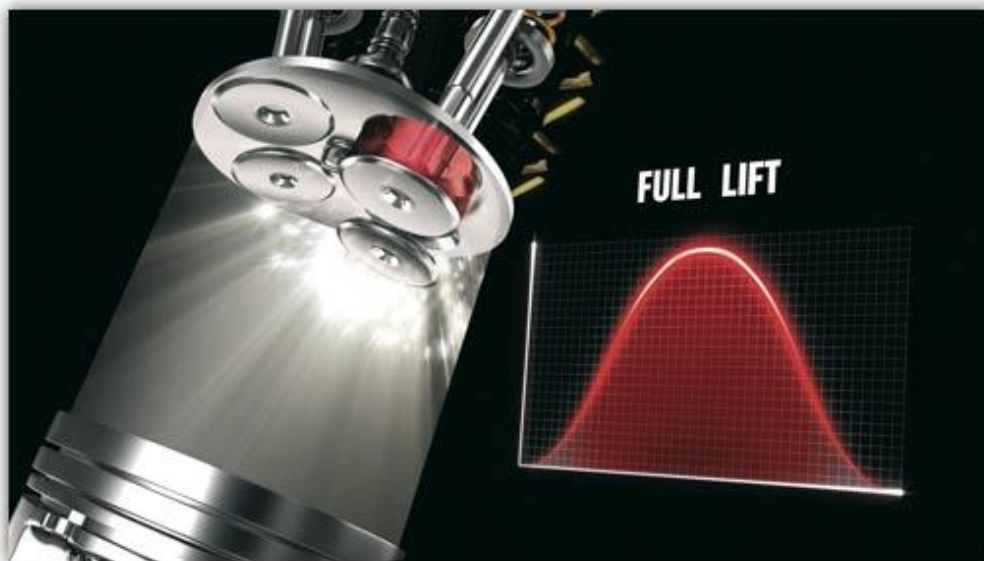
Η αρχή λειτουργίας του νέου αυτού συστήματος βασίζεται σε μία συναρμογή η οποία αποτελείται από ένα μικρό έμβολο ανά κύλινδρο που ενεργοποιείται από ένα μηχανικό έκκεντρο το οποίο βρίσκεται στον εκκεντροφόρο εξαγωγής. Αυτό το μικρό έμβολο φέρει ελατήριο επαναφοράς και συνδέεται με τις βαλβίδες εισαγωγής, ανά δύο, μέσω υδραυλικών θαλάμων με λάδι του οποίου η πίεση ρυθμίζεται από ηλεκτρομαγνητικές σωληνοειδείς βαλβίδες τύπου on/off, Σχ. 3.5.1 . Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα είναι αυτή που ελέγχει την όλη συναρμογή.



Σχήμα 3.5.1 : Διάταξη συστήματος Multiair.

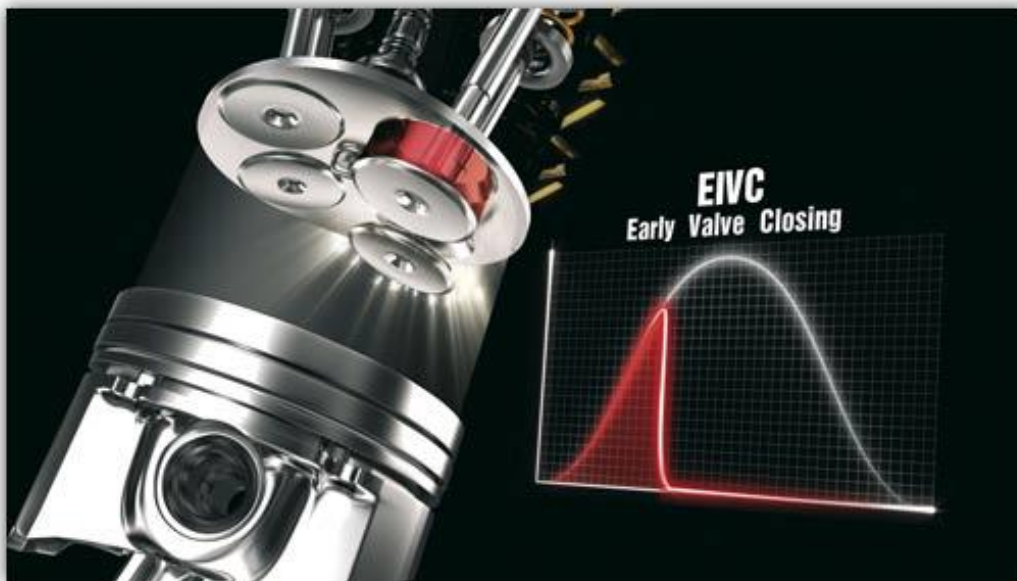
Όταν οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες είναι κλειστές, οι κινήσεις των έγκεντρων του εκκεντροφόρου μεταφέρονται στις βαλβίδες εισαγωγής μέσω του λαδιού που υπάρχει μέσα στους υδραυλικούς θαλάμους, αφού το λάδι συμπεριφέρεται σαν ένα συμπαγές σώμα. Όταν, όμως, οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ανοίξουν τότε η κίνηση των βαλβίδων εισαγωγής παύει να καθορίζεται από το έγκεντρο του εκκεντροφόρου εξαγωγής και οι βαλβίδες εισαγωγής κλείνουν από το ελατήριο επαναφοράς που υπάρχει στο μικρό έμβολο. Στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο ανοιγοκλείνει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μεταβάλλεται και η βύθιση των βαλβίδων εισαγωγής.

Για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης ισχύος, θα πρέπει να έχουμε το μέγιστο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής, για την εισαγωγή μεγαλύτερης ποσότητας καύσιμου μίγματος. Αυτό επιτυγχάνεται όταν οι ηλεκτρομαγνητικές σωληνοειδείς βαλβίδες παραμείνουν κλειστές, έτσι ώστε να ακολουθείται πλήρως το «πρόγραμμα» του εκκεντροφόρου εξαγωγής που είναι ειδικά σχεδιασμένο για την μεγιστοποίηση της ισχύος στις υψηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα, αφού το χρονικό διάστημα του ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής είναι μεγάλο, Σχ. 3.5.2 .



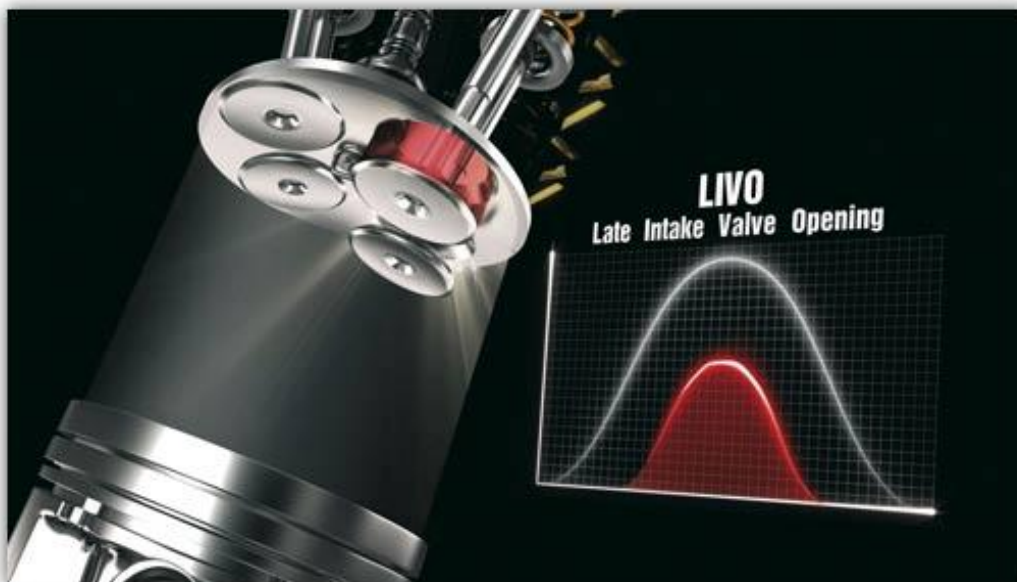
Σχήμα 3.5.2 : Πλήρες άνοιγμα των βαλβίδων.

Από την άλλη μεριά, η επίτευξη ροπής στις χαμηλές στροφές, υπό πλήρες φορτίο (π.χ. κατά την επιτάχυνση), πραγματοποιείται με το άνοιγμα των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων σε τέτοια χρονική στιγμή ώστε να επιτρέπεται το πρόωρο κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής, εμποδίζοντας την ανεπιθύμητη αναστροφή του καύσιμου μίγματος μέσα στην πολλαπλή εισαγωγής και παγιδεύοντας τη μέγιστη δυνατή ποσότητα μίγματος στο θάλαμο καύσης, Σχ. 3.5.3 .



Σχήμα 3.5.3 : Πρόωρο κλείσιμο των βαλβίδων.

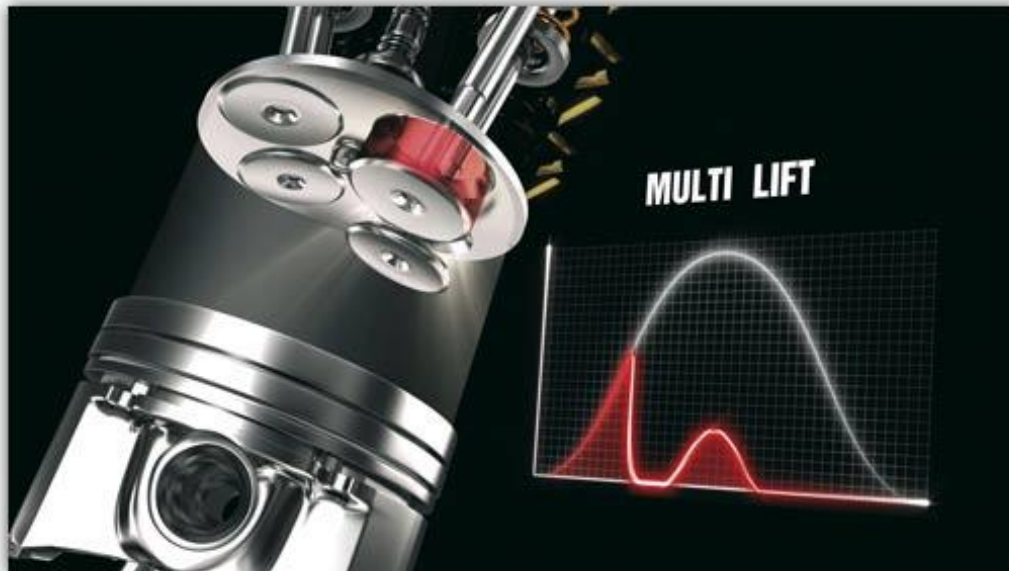
Τέλος, όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό μερικό φορτίο (π.χ. κατά την εκκίνηση του κινητήρα ή στο ρελαντί), οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ανοίγουν νωρίτερα προκαλώντας αργοπορημένο και μερικό άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής, ελέγχοντας με αυτό τον τρόπο την ποσότητα του εισερχόμενου μίγματος μέσα στους κυλίνδρους, Σχ. 3.5.4 .



Σχήμα 3.5.4 : Αργοπορημένο άνοιγμα βαλβίδων.

Επιπροσθέτως, εάν οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες κλείσουν μόλις ξεκινήσει η επίδραση των έκκεντρων, του εκκεντροφόρου εξαγωγής, στις βαλβίδες εισαγωγής, η ροή του εισερχόμενου μίγματος επιταχύνεται, με αποτέλεσμα τον εντονότερο στροβιλισμό μέσα στον κύλινδρο. Ο συνδυασμός αυτής της περίπτωσης λειτουργίας με την, ακριβώς, προηγούμενη στην ίδια

φάση της εισαγωγής δημιουργεί έναν τρόπο λειτουργίας που ονομάζεται «πολλαπλού ανοίγματος» και βελτιώνει το εύρος του στροβιλισμού του εισερχόμενου μίγματος, καθώς επίσης και την καύση σε πολύ χαμηλά φορτία (π.χ. κατά την οδήγηση μέσα στην πόλη), Σχ. 3.5.5 .



Σχήμα 3.5.5 : Πολλαπλό άνοιγμα κατά την ίδια φάση εισαγωγής.

- Τα οφέλη από την χρήση της τεχνολογίας Multiair εστιάζονται στα εξής :
- i. Αύξηση της ισχύος μέχρι και 10%.
 - ii. Βελτίωση της ροπής στις χαμηλές στροφές μέχρι και 15%, χωρίς την αύξηση της χωρητικότητας του κινητήρα.
 - iii. Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου λόγω μείωσης των μηχανικών τριβών, η οποία μπορεί να φτάσει έως και 20% σε υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες μικρού κυβισμού.
 - iv. Μείωση των εκπομπών CO₂ έως και 10%, των HC και CO έως και 40% και των NO_x έως και 60%.
 - v. Ομαλότερος συντονισμός των βαλβίδων κατά την κρύα εκκίνηση και μέχρις ότου ζεσταθεί ο κινητήρας.
 - vi. Καλύτερη δυναμική απόκριση του κινητήρα, λόγω σταθερής πίεσης του εισερχόμενου αέρα και καλύτερου ελέγχου της μάζας του, ανεξάρτητα για κάθε κύλινδρο και για κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα.

Το πρώτο μοντέλο παραγωγής με την τεχνολογία Multiair έχει ήδη κυκλοφορήσει στην αγορά. Ο λόγος για την Alfa Romeo Mito με κινητήρες 1.4lt, με ιπποδυνάμεις της τάξης των 105 - 135 - 170 ίππων, με την μέση κατανάλωση καυσίμου να μην ξεπερνάει τα 6 lt/100km και τις εκπομπές CO₂ να είναι κάτω από 140 gr/km. Οι δύο ισχυρότεροι κινητήρες είναι υπερτροφοδοτούμενοι, ενώ ο κινητήρας των 105 ps είναι ατμοσφαιρικός. Στην Εικ. 3.5.6 φαίνεται ένας κινητήρας με τεχνολογία Multiair.



Εικόνα 3.5.6 : Κινητήρας Multiair σε τομή.

Προοπτικές, όμως, για παραγωγή βενζινοκινητήρα με την τεχνολογία Multiair και στις βαλβίδες εξαγωγής δεν υπάρχουν, αφού το όφελος είναι πάρα πολύ μικρό σε σχέση με το κόστος παραγωγής.

4. ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ

4.1 ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ

Μέχρι πριν λίγες δεκαετίες οι συνηθέστεροι τρόποι για την αύξηση της ιπποδύναμης στους κινητήρες εσωτερικής καύσης ήταν με την αύξηση :

- i. του κυβισμού,
- ii. των στροφών του κινητήρα, και
- iii. της σχέσης συμπίεσης.

Μία από τις καλύτερες λύσεις για την βελτίωση της απόδοσης των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι η υπερτροφοδότηση.

Η βασική ιδέα είναι η εισαγωγή πρόσθετου υπερσυμπιεσμένου αέρα στον θάλαμο καύσης, κατά τη διάρκεια της εισαγωγής, ώστε να βελτιωθεί ο βαθμός πλήρωσης με αποτέλεσμα την αύξηση της ιπποδύναμης. Η τοποθέτηση υπερσυμπιεστή σε ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης έχει σαν αποτέλεσμα :

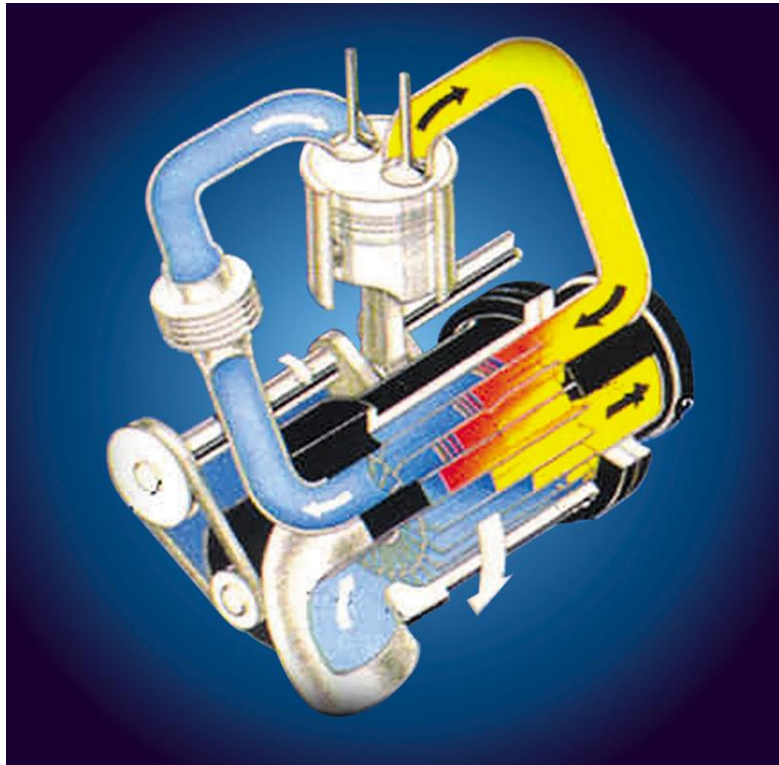
- i. την τοποθέτηση κινητήρα μικρότερου κυβισμού στο αυτοκίνητο,
- ii. την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, και
- iii. τα καλύτερα χαρακτηριστικά ροπής.

Οι πρώτοι μηχανικοί υπερσυμπιεστές τοποθετήθηκαν στα αγωνιστικά αυτοκίνητα στις αρχές της δεκαετίας του 1920.

4.2 ΤΥΠΟΙ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

Ανάλογα με τον τρόπο που παίρνουν κίνηση οι υπερσυμπιεστές χωρίζονται σε τρεις τύπους, στους :

- i. Ογκομετρικούς ή μηχανικούς υπερσυμπιεστές (superchargers ή compressors), που παίρνουν κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα,
- ii. Φυγοκεντρικούς υπερσυμπιεστές ή υπερσυμπιεστές εξάτμισης (turbochargers), που παίρνουν κίνηση από τα καυσαέρια, και
- iii. Τύπου COMPREX, που παίρνουν κίνηση από τα καυσαέρια και τον στροφαλοφόρο άξονα ταυτόχρονα, Σχ. 4.2.1 . Ο συγκεκριμένος ήταν ο πιο σύνθετος και δεν βγήκε ποτέ στην παραγωγή, αλλά χρησιμοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από τις Mazda και Opel σε κινητήρες diesel και από την Ferrari στην Formula 1.



Σχήμα 4.2.1 : Υπερσυμπιεστής τύπου COMPREX.

Περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο φυγοκεντρικός υπερσυμπιεστής ή τούρμπο, όπως έχει καθιερωθεί, ο οποίος για την κίνησή του εκμεταλλεύεται την κίνηση και την ενέργεια των καυσαερίων προσφέροντας αύξηση της ιπποδύναμης χωρίς απώλειες (θεωρητικά τουλάχιστον). Η πρώτη τοποθέτηση τούρμπο σε αυτοκίνητο παραγωγής έγινε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στην BMW 2002.

4.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Για να αποδώσει ένας βενζινοκινητήρας εσωτερικής καύσης θα πρέπει να κάβουμε μίγμα αέρα-βενζίνης στο θάλαμο καύσης. Η παραγόμενη ιπποδύναμη από έναν τέτοιο κινητήρα εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα του μίγματος που θα καεί μέσα στον κύλινδρο. Είναι προφανές ότι όσο περισσότερο είναι το μίγμα αέρα-καυσίμου που θα εισέλθει στο θάλαμο καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ισχύς που θα αποδώσει ο κινητήρας. Ο ψεκάσμος περισσότερης βενζίνης μέσα στον κύλινδρο είναι, πλέον, εύκολη υπόθεση, αφού με τα σύγχρονα συστήματα ψεκάσμου που υπάρχουν στα σημερινά αυτοκίνητα μπορούμε να ψεκάσουμε όσο καύσιμο επιθυμούμε. Όμως η ποσότητα καυσίμου που μπορεί να καεί είναι δεδομένη, αφού από ένα σημείο και μετά δεν θα υπάρχει η κατάλληλη ποσότητα αέρα, με αποτέλεσμα η πλεονάζουσα βενζίνη να φύγει στην εξάτμιση άκαυστη. Σαν συνέπεια αυτού είναι η λανθασμένη καύση, η μη αύξηση της ιπποδύναμης και η μόλυνση του περιβάλλοντος.

Σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα ο αέρας εισαγωγής αναρροφάται από τον κύλινδρο με πίεση (θεωρητικά τουλάχιστον) ατμοσφαιρική. Στην πράξη αυτή η πίεση βρίσκεται περίπου στη μισή ατμόσφαιρα. Το έμβολο κατεβαίνοντας μέσα στον κύλινδρο, κατά τον χρόνο της εισαγωγής, σχηματίζει κενό (υποπίεση) που αναρροφά τον αέρα και γεμίζει τον κύλινδρο.

Σε έναν κινητήρα με υπερσυμπιεστή η αύξηση της ποσότητας του μίγματος που συμμετέχει στην καύση εξαρτάται από την πίεση με την οποία εισέρχεται ο αέρας στον κύλινδρο. Σε κινητήρες με υπερτροφοδότηση η πίεση εισαγωγής μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Έτσι, η ποσότητα του αέρα που μπαίνει στον κύλινδρο είναι αρκετά μεγαλύτερη.

Ο βασικός σκοπός ενός συμπιεστή είναι να αυξήσει την μάζα του αναρροφούμενου αέρα και όχι την πίεσή του. Ο αέρας γίνεται πιο πυκνός, είτε χαμηλώνοντας την θερμοκρασία του, είτε αυξάνοντας την πίεση του, είτε με συνδυασμό των δύο. Αυξάνοντας όμως την πίεση του αέρα αυξάνει και η θερμοκρασία του, όταν χρησιμοποιούμε έναν συμπιεστή, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πυκνότητά του.

Αδιαβατική απόδοση (adiabatic efficiency %) είναι το μέτρο του πόσο θερμαίνεται ο συμπιεσμένος αέρας.

Ο ψυχρός αέρας έχει λιγότερη τάση να προκαλέσει προανάφλεξη (πειράκια) στο θάλαμο καύσης από τον θερμό, εφόσον όλες οι υπόλοιπες παράμετροι μένουν σταθερές. Τα πειράκια, ιδιαίτερα σε μία υπερσυμπιεσμένη μηχανή, έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στα έμβολα, τα χιτώνια και τον μηχανισμό του στροφάλου συνολικά. Εύκολα μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρή ζημιά του κινητήρα.

Είναι προφανές ότι υπάρχει κάποιο όριο και η έκφραση «όσο περισσότερη πίεση, τόσο το καλύτερο» δεν ισχύει. Αυξάνοντας την πίεση έχουμε και αύξηση της θερμοκρασίας που αντισταθμίζει τα πλεονεκτήματα από την αύξηση της πίεσης. Εάν η πίεση υπερσυμπιέσης αυξηθεί πάνω από κάποιο σημείο χάνουμε ιπποδύναμη, αντί να κερδίζουμε. Σε αυτό συμβάλει και το γεγονός ότι αυξάνει και η ενέργεια για την περιστροφή του συμπιεστή.

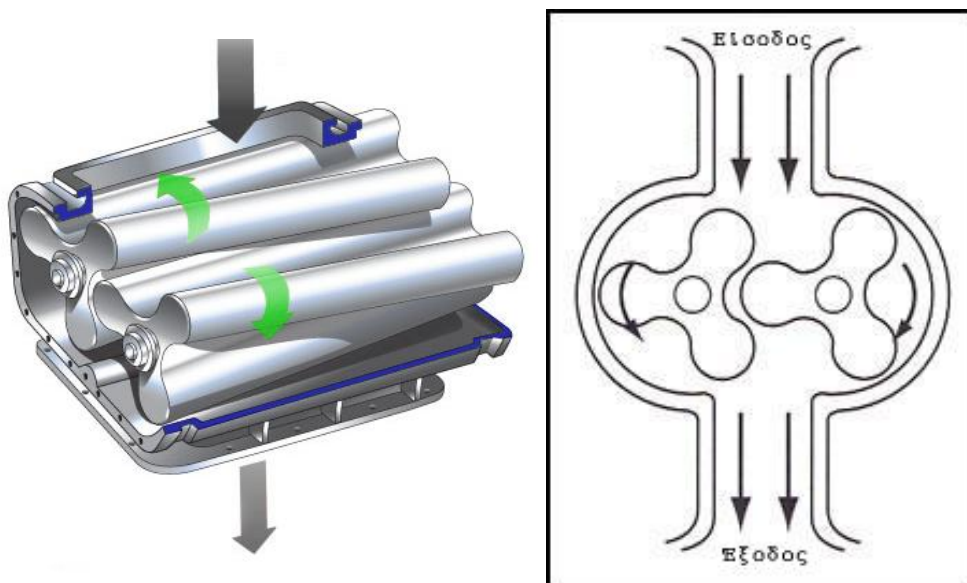
4.4 ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

Οι μηχανικοί υπερσυμπιεστές παίρνουν κίνηση από την τροχαλία του στροφάλου μέσω ιμάντων. Όσο γρηγορότερα περιστρέφεται ο στροφαλοφόρος άξονας, τόσο περισσότερο περιστρέφεται ο συμπιεστής, συμπιέζοντας έτσι περισσότερο αέρα.

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, οι μηχανικοί υπερσυμπιεστές, χωρίζονται σε :

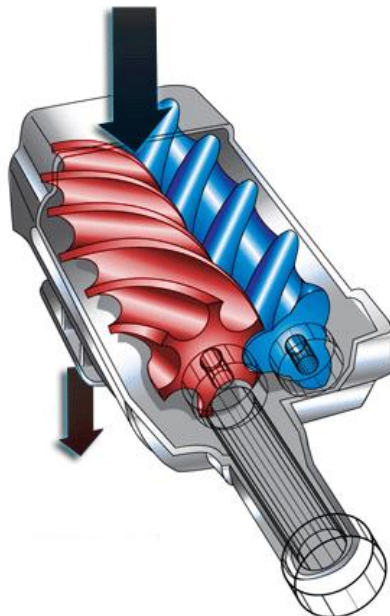
- i. θετικού εκτοπίσματος, οι οποίοι δεν πιέζουν τον αέρα, απλά στέλνουν περισσότερο αέρα και αυτός μετά μόνος του πιέζεται μέσα στην πολλαπλή εισαγωγής, και
 - ii. δυναμικούς, οι οποίοι επιταχύνουν τον αέρα και έπειτα μόλις ο αέρας συναντήσει εμπόδιο στην κίνησή του, μειώνεται η ταχύτητά του και αυξάνεται η πίεσή του.
- Οι τρεις γνωστότεροι και πλέον πολυχρησιμοποιημένοι είναι οι :
- i. Roots (θετικού εκτοπίσματος),
 - ii. Κοχλιωτοί (Lysholm, θετικού εκτοπίσματος), και
 - iii. Φυγοκεντρικός (δυναμικός).

Οι μηχανικοί υπερσυμπιεστές, θετικού εκτοπίσματος, Roots αποτελούνται από ένα ζεύγος τρίλοβων στροφείων μέσα σε ένα ακίνητο αλουμινένιο κέλυφος. Τα στροφεία περιστρέφονται σε πάρα πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους χωρίς όμως να έρχονται σε επαφή. Στο αλουμινένιο κέλυφος υπάρχουν δύο ανοίγματα, οπότε από το ένα εισέρχεται ο αέρας (θυρίδα εισαγωγής) και πλέον παγιδευμένος ανάμεσα στους ρότορες και τα τοιχώματα του κελύφους εξέρχεται μαζικά από το άλλο άνοιγμα (θυρίδα εξαγωγής) οδηγώντας τον αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής σε ποσότητα μεγαλύτερη από όσο μπορεί να αναρροφήσει ο κινητήρας από μόνος του.. Έτσι στην πολλαπλή εισαγωγής σχηματίζεται υπερπίεση. Οι εσωτερικές απώλειες και οι διαρροές περιορίζουν σημαντικά την απόδοση στους Roots. Η αδιαβατική απόδοσή τους βρίσκεται στο 50 με 60%. Δεν είναι οι πιο αποδοτικοί και χρησιμοποιούνται σπάνια για ανάπτυξη υψηλών πιέσεων και ανάπτυξη μεγάλης ισχύος, ενώ κάνουν έναν ιδιαίτερο θόρυβο. Από την άλλη μεριά, είναι οι οικονομικότεροι, σε σχέση με τους άλλους, δουλεύουν από πολύ χαμηλές στροφές και είναι πολύ ομαλοί στην απόδοση της δύναμης. Τέτοιους υπερσυμπιεστές, Σχ. 4.4.1, χρησιμοποιούν οι Mercedes Kompressor, Mini Cooper S 1^{ης} γενιάς κ.α.



Σχήμα 4.4.1 : Μηχανικός υπερσυμπιεστής Roots.

Οι κοχλιωτοί συμπιεστές, οι οποίοι είναι θετικού εκτοπίσματος, αποτελούνται από δύο κοχλίες. Οι δύο αυτοί κοχλίες βρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλον και όπως περιστρέφονται, το σπείρωμα της μίας μπαίνει μέσα στο σπείρωμα της άλλης, αλλά χωρίς ποτέ να έρχονται σε επαφή. Με τον τρόπο αυτό ο αέρας παγιδεύεται στο κενό που δημιουργούν τα σπειρώματα και συμπιέζοντάς τον οδηγείται προς την εισαγωγή του κινητήρα. Οι κοχλιωτοί συμπιεστές απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην κατασκευή τους, ώστε να έχουν μικρές ανοχές, ενώ είναι περισσότερο αποδοτικοί από τους Roots, αλλά και το κόστος τους είναι αρκετά μεγαλύτερο. Τέλος, η αδιαβατική τους απόδοση βρίσκεται στο 70 με 80%, και ο εξωτερικός τους όγκος είναι σχετικά μικρός. Αυτού του είδους μηχανικών υπερσυμπιεστών φαίνονται στο Σχ. 4.4.2 και στην Εικ. 4.4.3.



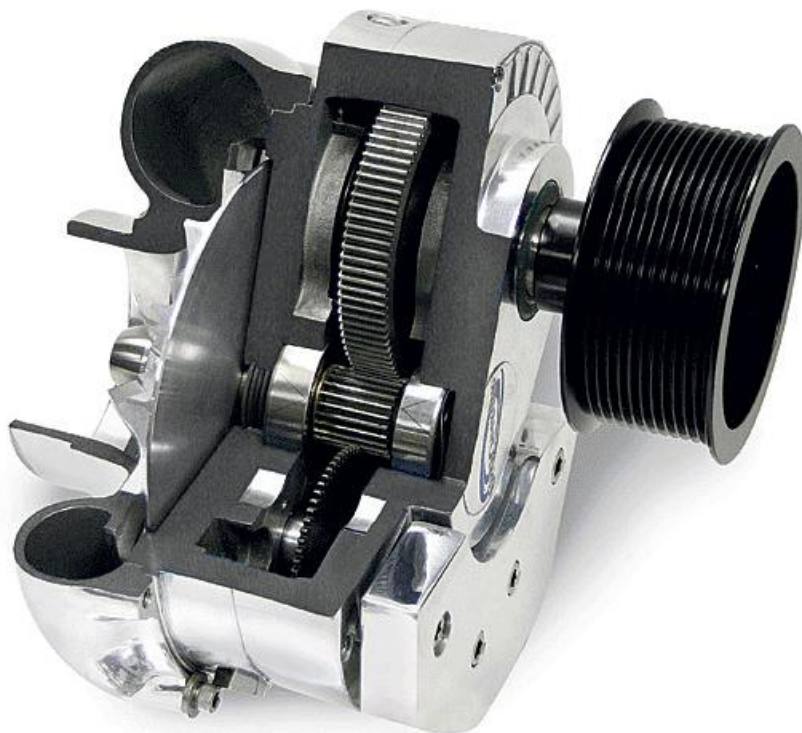
Σχήμα 4.4.2 : Κοχλιωτός υπερσυμπιεστής.



Εικόνα 4.4.3 : Μηχανικός κοχλιωτός συμπιεστής.

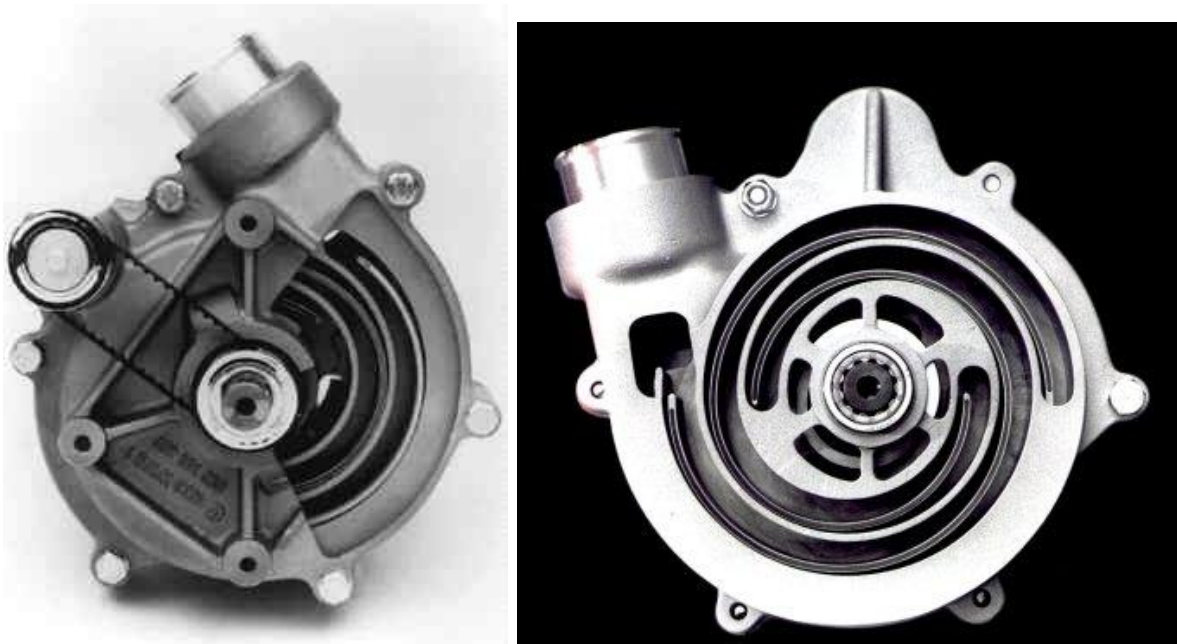
Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές ανήκουν στους δυναμικού εκτοπίσματος. Ένας τέτοιος συμπιεστής είναι στην πραγματικότητα ένας υπερσυμπιεστής εξάτμισης, αφού έχει και αυτός συμπιεστή, δηλαδή μία φτερωτή που ωθεί επιπλέον αέρα στον κινητήρα. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι παίρνει κίνηση από τον στρόφαλο και όχι από τα καυσαέρια. Για να μπορέσει η φτερωτή να περιστραφεί συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα και ανάλογα με τις στροφές του, η φτερωτή ωθεί και την ανάλογη ποσότητα αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής. Με τον τρόπο αυτό η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται και μόλις αυτός απομακρυνθεί από τα όρια της φτερωτής, χάνει την ταχύτητα του αλλά αυξάνει πολύ την πίεσή του. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η ποσότητα του επιπρόσθετου αέρα που εισέρχεται στον αυλού εισαγωγής αυξάνεται συνεχώς, και ως εκ τούτου ο αέρας συμπιέζεται.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές περιστρέφονται με λιγότερες στροφές από τους υπερσυμπιεστές εξάτμισης, αλλά παρ' όλα αυτά οι στροφές αυτές είναι πολλαπλάσιες του αριθμού περιστροφής του κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται εύκολα με την κατάλληλη επιλογή γραναζιών, ώστε να περιστρέφεται η φτερωτή με πολλές στροφές ακόμα και όταν ο κινητήρας έχει χαμηλό ρυθμό περιστροφής, με αποτέλεσμα να υπάρχει κατάλληλη πίεση από τις χαμηλές στροφές. Η υπερπίεση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή που δημιουργούν οι Roots στην πολλαπλή εισαγωγής, ενώ η αδιαβατική απόδοσή του είναι στο 70%. Για να υπάρχει η σωστή παροχή αέρα, η φτερωτή είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή ενός υπερσυμπιεστή καυσαερίων για την ίδια περίπου εφαρμογή. Αυτό το είδος συμπιεστή έχει λίγες απώλειες τριβών και είναι σχετικά μικρός σε διαστάσεις, Εικ. 4.4.4 .



Εικόνα 4.4.4 : Μηχανικός φυγοκεντρικός συμπιεστής.

Τέλος, ο G-Lader είναι ένα είδος σπάνιου αλλά και έξυπνα σχεδιασμένου συμπιεστή ο οποίος ανήκει στους θετικού εκτοπίσματος. Αποτελείται από δύο μέρη, ένα κινούμενο-περιστρεφόμενο μέρος, τον ρότορα, και ένα σταθερό. Ο ρότορας παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα με ιμάντα και έχει το σχήμα του αγγλικού γράμματος G, απ' όπου πήρε και το όνομα του ο συμπιεστής. Ο ρότορας κινείται μέσα στο ακίνητο μέρος του συμπιεστή, το οποίο έχει και αυτό το ίδιο σχήμα, G. Έτσι, καθώς η κινούμενη σπείρα 'G' κινείται μέσα στην σταθερή, εγκλωβίζεται ο εισερχόμενος αέρας και οδηγείται συμπιεσμένος στην πολλαπλή εισαγωγής. Μπορεί το συγκεκριμένο είδος συμπιεστή, Εικ. 4.4.5, να έφερε το ίδιο αποτέλεσμα με τα υπόλοιπα είδη συμπιεστών, δηλαδή την αύξηση της υποδύναμης, αλλά είχε μικρή διάρκεια ζωής. Αυτούς τους υπερσυμπιεστές τους χρησιμοποιούσαν τα VW Corrado, VW Golf G60 και VW Polo G40.



Εικόνα 4.4.5 : Μηχανικός υπερσυμπιεστής G-Lader, σε τομή.

4.5 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Ο φυγοκεντρικός υπερσυμπιεστής ονομάζεται και αλλιώς στροβιλοσυμπιεστής ή υπερσυμπιεστής εξάτμισης ή τούρμπο (turbo) από τον αντίστοιχο αγγλικό όρο. Το τούρμπο εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των καυσαερίων, που σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα πάει χαμένη, για την κίνηση του συμπιεστή. Αποτελείται από έναν κοινό άξονα που στο ένα άκρο του φέρει μία φτερωτή που κινείται από την ροή των καυσαερίων, στρόβιλος, και στο άλλο άκρο του υπάρχει άλλη μία φτερωτή που συμπιέζει τον αέρα της εισαγωγής, συμπιεστής.

Τα κύρια μέρη του τούρμπο είναι :

- i. το περίβλημα του στροβίλου
- ii. το ενδιάμεσο περίβλημα
- iii. το περίβλημα του συμπιεστή
- iv. το συγκρότημα του ρότορα, και
- v. η βαλβίδα ανακούφισης.

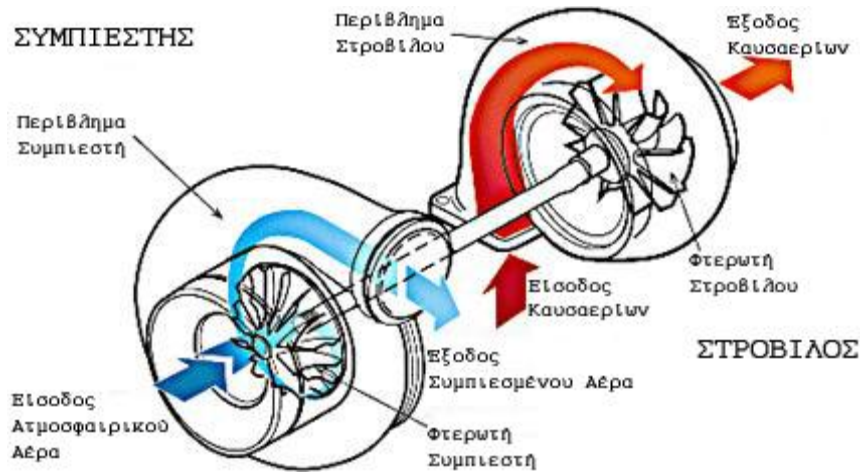
Τα καυσαέρια χτυπούν με πίεση και ταχύτητα τα πτερύγια της φτερωτής του στροβίλου και θέτουν τον άξονα σε περιστροφή. Η ταχύτητα του στροβίλου συνήθως ξεπερνά τις 100.000 στροφές ανά λεπτό. Ο συμπιεστής, η δεύτερη φτερωτή που είναι συνδεδεμένη με τον άξονα, περιστρέφεται και αυτός με την ίδια ταχύτητα περιστροφής. Πατώντας ο οδηγός το πεντάλ του γκαζιού αυξάνουν οι στροφές του κινητήρα, όπως επίσης και ο όγκος και η ταχύτητα των καυσαερίων. Ο στροβίλος επιταχύνεται και μέσω του άξονα περιστρέφεται ο συμπιεστής επιταχύνοντας έτσι τον αέρα εισαγωγής που συμπιέζεται.

Η αποτελεσματικότητα του στροβιλοσυμπιεστή εξαρτάται από τις στροφές που λειτουργεί ο κινητήρας. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλές στροφές ανά λεπτό τα καυσαέρια που παράγονται είναι λίγα με αποτέλεσμα το τούρμπο να μην φτάνει σε επαρκή ταχύτητα και ο κινητήρας να λειτουργεί σαν ατμοσφαιρικός. Από την στιγμή όμως που το τούρμπο επιτύχει την απαιτούμενη ταχύτητα, λόγω αύξησης των στροφών λειτουργίας του κινητήρα, τότε περνά σε φάση υπερσυμπίεσης.

Στην Εικ. 4.5.1 φαίνεται ένας στροβιλοσυμπιεστής, ενώ στο Σχ. 4.5.2 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του.



Εικόνα 4.5.1 : Φυγοκεντρικός υπερσυμπιεστής - Turbo.



Σχήμα 4.5.2 : Λειτουργία στροβιλοσυμπιεστή.

Ο άξονας του τούρμπο, που στις δύο του άκρες έχει τις φτερωτές, συνήθως στηρίζεται πάνω σε κουζινέτα (τριβείς ολίσθησης), όπως αυτά που υπάρχουν στα κομβία βάσης και μπιελών στον στροφαλοφόρο άξονα. Ανάμεσα στα κουζινέτα και στον άξονα υπάρχει ένα μικρό στρώμα λαδιού ή αλλιώς φιλμ λαδιού, το οποίο προστατεύει τα δύο εξαρτήματα να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους. Το λάδι αυτό ανακυκλώνεται συνεχώς ψύχοντας αυτές τις περιοχές.

Υπάρχουν, βέβαια, και τούρμπο στα οποία την θέση των κουζινέτων παίρνουν πολύ καλής ποιότητας ρουλεμάν αυξάνοντας, με αυτόν τον τρόπο, την αντοχή του τούρμπο και μειώνοντας τις τριβές. Οι μειωμένες τριβές έχουν σαν αποτέλεσμα την ευκολότερη επιτάχυνση του άξονα, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση του τούρμπο στο να αυξήσει τις στροφές του (lag).

Το εξωτερικό τμήμα του τούρμπο είναι κατασκευασμένο, συνήθως, από χυτοσίδηρο στην μεριά του στροβίλου για να αντέχει τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων, ενώ στην μεριά του συμπιεστή είναι συνήθως από αλουμίνιο, αφού εκεί ο εξωτερικός αέρας είναι ψυχρότερος.

4.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

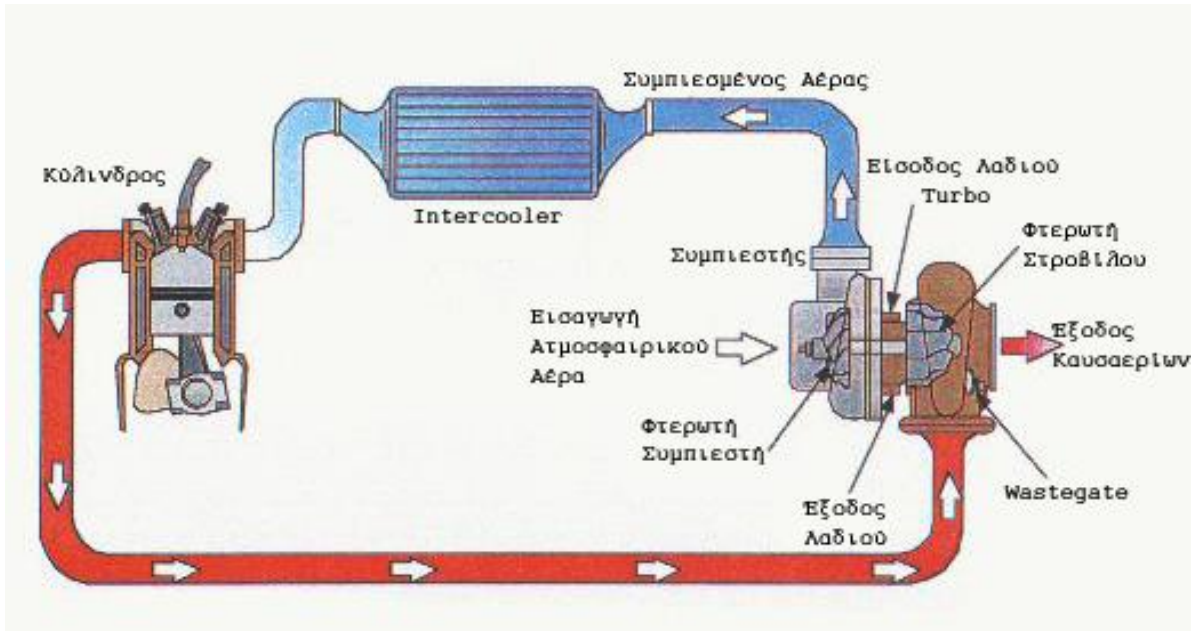
Όταν αρχίζει να πιέζεται ο αέρας, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Αυτό είναι απόλυτα λογικό, αφού σύμφωνα με την καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων η θερμοκρασία είναι ανάλογη της πίεσης :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow T = P \cdot V / (n \cdot R).$$

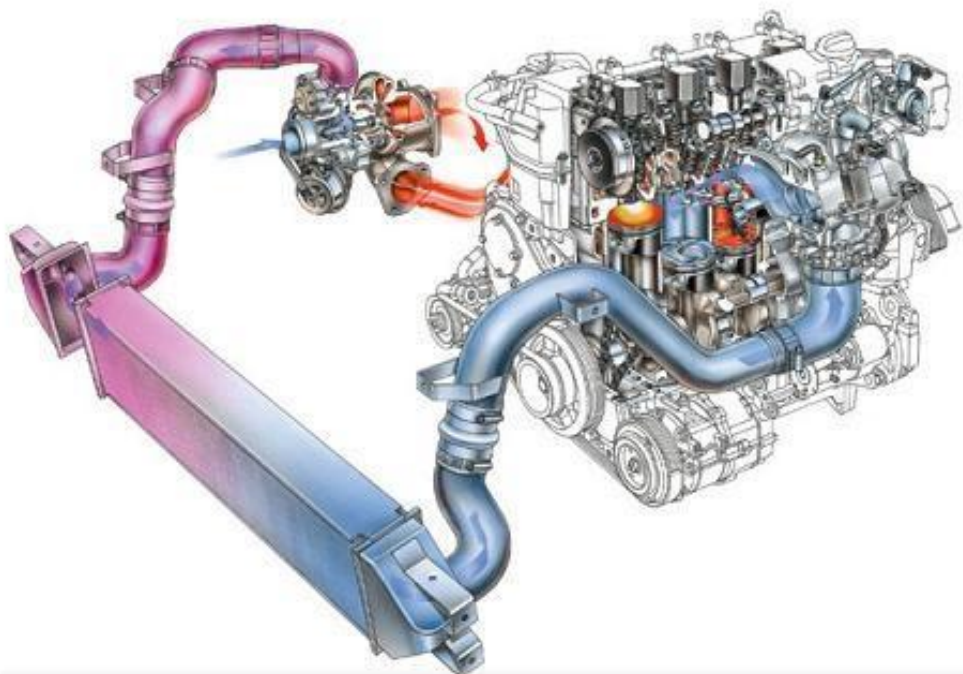
Η θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής αυξάνει υπερβολικά καθώς διέρχεται από το τούρμπο, αφού το τούρμπο θερμαίνεται αρκετά από τα καυσαέρια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο αέρας να γίνεται περισσότερο αραιός, δημιουργώντας προβλήματα στον σχηματισμό του μίγματος αέρα-βενζίνης.

Γι' αυτό επιβάλλεται να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να ψύχει τον αέρα εισαγωγής, ειδικά όταν η υπερπίεση είναι μεγάλη, πριν αυτός εισέλθει

στον θάλαμο καύσης. Πρόκειται για έναν εναλλάκτη θερμότητας, ένα ψυγείο. Ο ρόλος του είναι να ανταλλάσει ποσά θερμότητας του ζεστού, από το τούρμπο, αέρα που κατευθύνεται στον κινητήρα, με τον ψυχρό αέρα που περιβάλλει το αυτοκίνητο. Τοποθετείται πάντα μετά την τουρμπίνα και πριν την πεταλούδα. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο Σχ. 4.6.1 και στο Σχ. 4.6.2 .



Σχήμα 4.6.1 : Διάταξη turbo κινητήρα.



Σχήμα 4.6.2 : Διάταξη του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τον υπόλοιπο κινητήρα.

Ανάλογα με την θέση που έχουν οι εναλλάκτες θερμότητας σε σχέση με τον κινητήρα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- i. front mounted,
- ii. side mounted και
- iii. top mounted.

Από την ονομασία τους είναι προφανή η θέση τους. Ο πρώτος εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται μπροστά από τον κινητήρα, στο κέντρο της πρόσοψης του αυτοκινήτου, όπως στα Mitsubishi Evo, Εικ. 4.6.3 .



Εικόνα 4.6.3 : Front mounted εναλλάκτης θερμότητας.

Ο δεύτερος τοποθετείται και πάλι στην πρόσοψη του αυτοκινήτου, όχι όμως στο κέντρο της αλλά είτε αριστερά, είτε δεξιά, Εικ. 4.6.4 .



Εικόνα 4.6.4 : Side mounted εναλλάκτης θερμότητας.

Τέλος, οι top mounted εναλλάκτες τοποθετούνται στο πάνω μέρος του κινητήρα, όπως στα Subaru Impreza WRX STi, Εικ. 4.6.5 .



Εικόνα 4.6.5 : Top mounted εναλλάκτης θερμότητας.

Ο εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να είναι είτε ψυγείο αέρα-αέρα (intercooler), είτε αέρα-νερού (chargecooler). Το intercooler ανταλλάσσει ποσά θερμότητας με τον αέρα του περιβάλλοντος, ενώ το chargecooler ανταλλάσσει ποσά θερμότητας με νερό. Στο τελευταίο, η σωλήνωση που μεταφέρει τον συμπιεσμένο αέρα, από το τούρμπο στο θάλαμο καύσης, βρίσκεται μέσα σε έναν άλλο σωλήνα που περιέχει νερό και διάφορα αντιψυκτικά. Με τον τρόπο αυτό, η θερμότητα του αέρα απορροφάτε από το νερό, το οποίο μετά οδηγείται στο κανονικό ψυγείο του αυτοκινήτου όπου ψύχεται και επιστρέφει πάλι πίσω. Οι εναλλάκτες θερμότητας, συνήθως, κατασκευάζονται από αλουμίνιο, αφού το συγκεκριμένο υλικό παρουσιάζει καλά θερμικά χαρακτηριστικά.

4.7 ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΗΣ

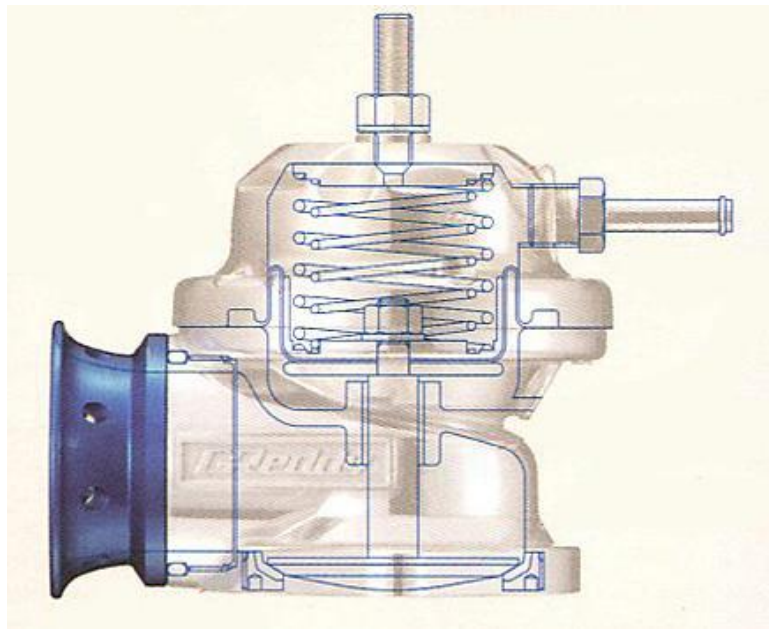
Όταν ένας υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας δουλεύει σε πολύ υψηλές στροφές ανά λεπτό, τότε η πεταλούδα είναι πλήρως ανοιχτή και το τούρμπο πιέζει πολύ αέρα μέσα στους αυλούς εισαγωγής και στο θάλαμο καύσης. Εάν αυτή τη συγκεκριμένη στιγμή, η πεταλούδα κλείσει ακαριαία, κατά την αλλαγή ταχύτητας, για παράδειγμα, όπου ο οδηγός αφήνει το γκάζι, τότε στον θάλαμο καύσης δεν εισέρχεται αέρας, αλλά το τούρμπο συνεχίζει να συμπιέζει αέρα λόγω αδράνειας, με αποτέλεσμα ο αέρας να αρχίζει να πιέζεται επικίνδυνα μέσα στις σωληνώσεις και τον εναλλάκτη θερμότητας αυξάνοντας πολύ την πίεσή του, η οποία μπορεί να προκαλέσει ζημιά τόσο σε αυτά τα εξαρτήματα, όσο και στο τούρμπο.

Για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων χρησιμοποιείται η βαλβίδα ανακούφισης (blow-off valve), Εικ. 4.7.1 . Η βαλβίδα ανακούφισης φροντίζει να μην αυξηθεί υπερβολικά η πίεση του αέρα εισαγωγής, ώστε να μην γίνει επικίνδυνη για τον κινητήρα.



Εικόνα 4.7.1 : Βαλβίδα ανακούφισης.

Στην πραγματικότητα, είναι μία βαλβίδα η οποία έχει ένα ελατήριο που την κρατάει κλειστή. Το ελατήριο ασκεί μία σταθερή δύναμη, όταν, όμως, η πίεση αρχίζει να αυξάνεται από κάποιο σημείο και μετά θα υπερνικήσει την δύναμη του ελατηρίου και η βαλβίδα θα ανοίξει, με αποτέλεσμα ο αέρας να διαφύγει στην ατμόσφαιρα και η πίεση να μείνει σταθερή σε χαμηλά επίπεδα. Στο Σχ. 4.7.2 φαίνεται το εσωτερικό της βαλβίδας ανακούφισης.



Σχήμα 4.7.2 : Εσωτερικό βαλβίδας ανακούφισης.

Η βαλβίδα ανακούφισης εκτονώνοντας την επιπλέον πίεση δεν επιβραδύνει τον ρυθμό περιστροφής του τούρμπο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει καθυστέρηση του τούρμπο στο να αυξήσει τις στροφές του (μικρό lag).

Τέλος, τοποθετείται στην σωλήνωση που ενώνει τον εναλλάκτη θερμότητας με την πεταλούδα.

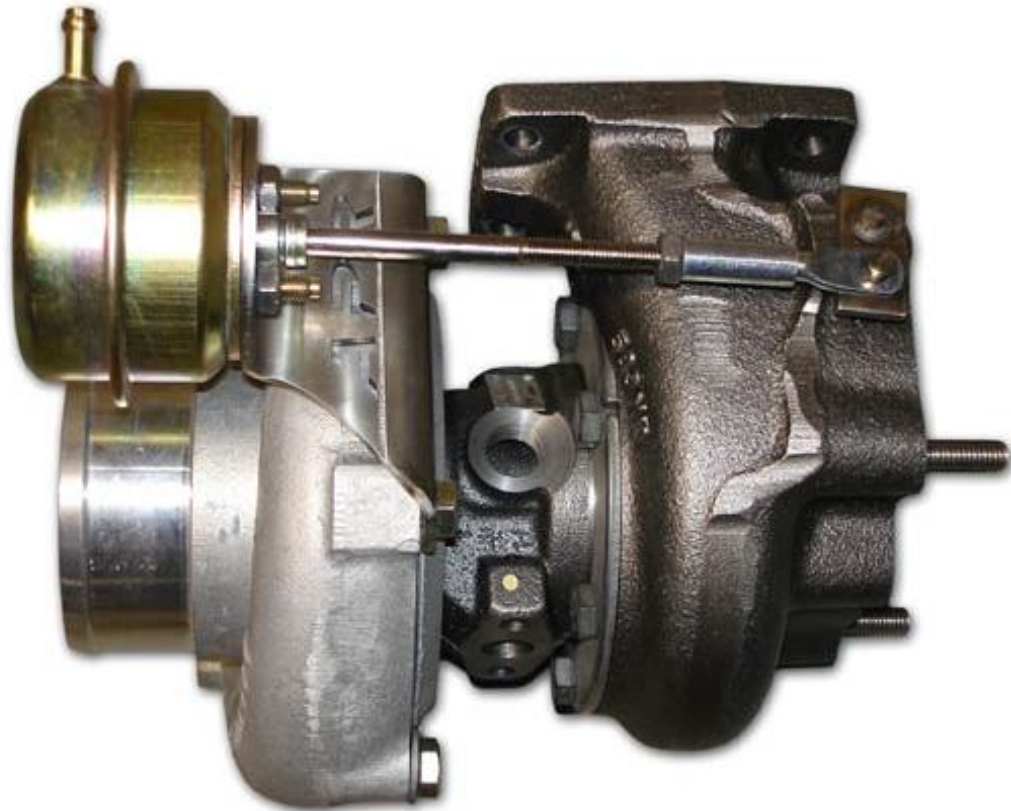
4.8 WASTEGATE

Τα καυσαέρια χτυπώντας την φτερωτή του στροβίλου περιστρέφουν τον άξονα σύνδεσης στροβίλου και συμπιεστή και αυτός με την σειρά του περιστρέφει τον συμπιεστή συμπιέζοντας έτσι περισσότερο αέρα στο θάλαμο καύσης. Η μεγαλύτερη, όμως, ποσότητα μίγματος αέρα-βενζίνης θα έχει σαν αποτέλεσμα περισσότερα καυσαέρια, τα οποία θα χτυπήσουν δυνατότερα τον στρόβιλο αναγκάζοντάς τον να περιστραφεί ακόμα γρηγορότερα και έτσι ο συμπιεστής θα συμπιέσει ακόμα μεγαλύτερη ποσότητα αέρα στο θάλαμο καύσης. Όλο αυτό θα οδηγήσει σε συνεχόμενη αύξηση της πίεσης του τούρμπο μέχρις ότου να αστοχήσει ο κινητήρας.

Το wastegate είναι ένα εξάρτημα που σταθεροποιεί την ροή των καυσαερίων και δεν επιτρέπει την αύξηση της πίεσης της τουρμπίνας πάνω από το επιθυμητό όριο. Στην ουσία, είναι μια θύρα η οποία βρίσκεται στον στρόβιλο και είναι κλειστή μέχρις ότου η πίεση φτάσει στην ανώτερη επιτρεπτή τιμή της. Εκείνη την στιγμή η θύρα αυτή ανοίγει και τα επιπλέον καυσαέρια, που θα γυρνούσαν ακόμα περισσότερο τον στρόβιλο ανεβάζοντας την πίεση, απομακρύνονται χωρίς να περάσουν από την φτερωτή του στροβίλου διατηρώντας έτσι την πίεση σταθερή χωρίς να κινδυνεύει ούτε το τούρμπο, ούτε ο κινητήρας. Τα καυσαέρια που απομακρύνονται από το wastegate οδηγούνται μέσω ενός σωλήνα στην εξάτμιση μετά τον στρόβιλο, έτσι ώστε να μην τον επηρεάζουν.

Ένα σωληνάκι που έχει την πίεση του στροβίλου τοποθετείται πάνω στον ρυθμιστή πίεσης του τούρμπο. Ο ρυθμιστής πίεσης έχει μέσα ένα ελατήριο που κλείνει την θύρα, η οποία βρίσκεται στον στρόβιλο. Όταν η πίεση από το τούρμπο φτάσει στην ανώτερη επιτρεπτή τιμή της, το ελατήριο δεν μπορεί να κρατήσει την θύρα κλειστή. Έτσι, η θύρα ανοίγει διώχνοντας τα καυσαέρια μακριά από το τούρμπο. Αν η πίεση μειωθεί, τότε το ελατήριο θα υπερνικήσει την πίεση του τούρμπο και έτσι η θύρα θα ξανακλείσει στέλνοντας τα καυσαέρια και πάλι στον στρόβιλο.

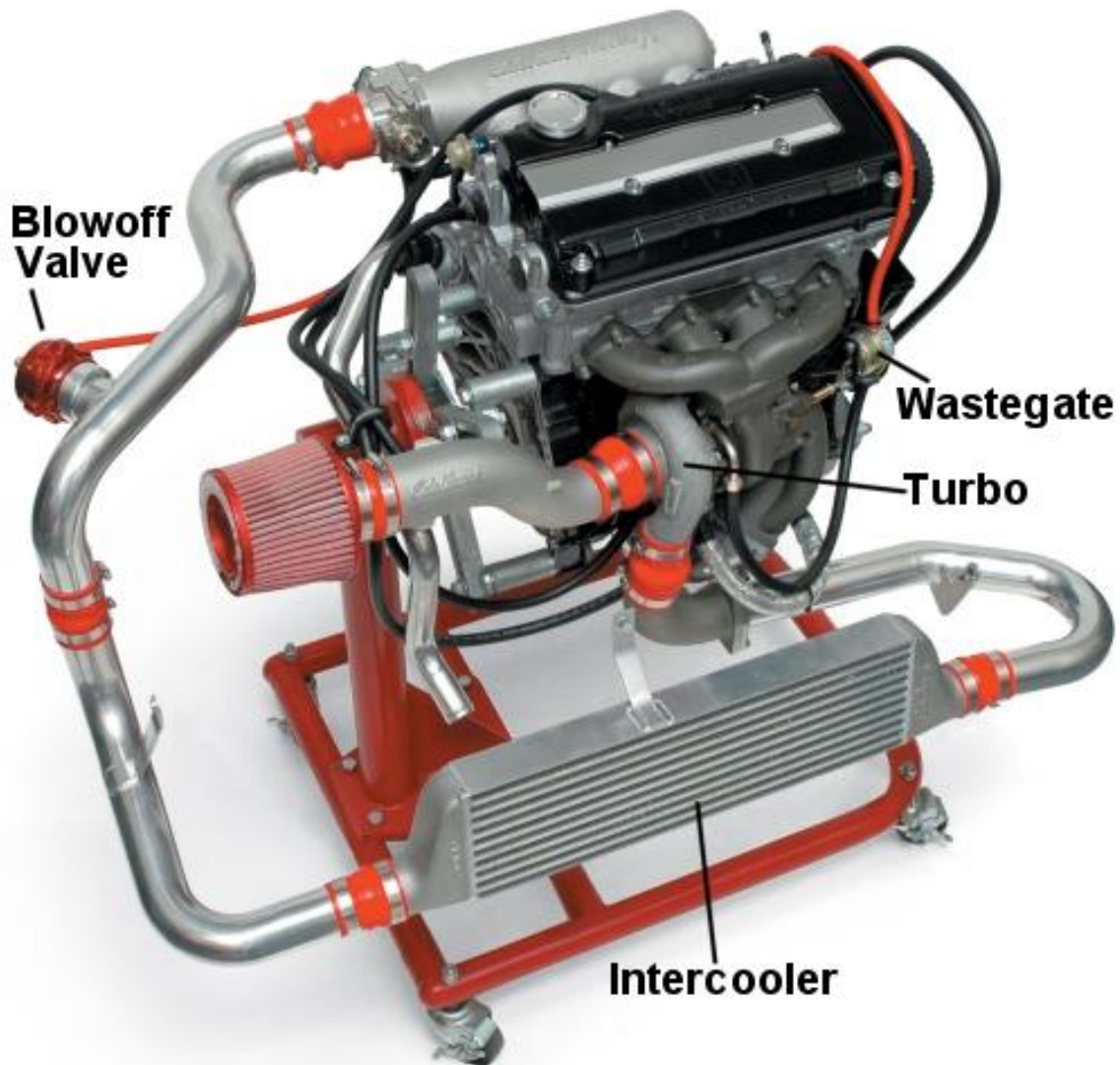
Στην Εικ. 4.8.1 φαίνεται ένας υπερσυμπιεστής εξάτμισης με wastegate.



Εικόνα 4.8.1 : Τούρμπο με wastegate.

4.9 ΠΛΗΡΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΗ & ΛΟΙΠΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Στην Εικ. 4.9.1, που ακολουθεί, φαίνεται ένας υπερτροφοδοτούμενος, με υπερσυμπιεστή εξάτμισης, κινητήρας της Honda. Επίσης, διακρίνεται η βαλβίδα ανακούφισης (blow-off valve), ο εναλλάκτης θερμότητας (intercooler) και το wastegate του turbo.



Εικόνα 4.9.1 : Κινητήρας turbo της Honda.

4.10 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

Τα πλεονεκτήματα ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή αποτελούν μειονεκτήματα για έναν φυγοκεντρικό υπερσυμπιεστή, και το αντίστροφο.

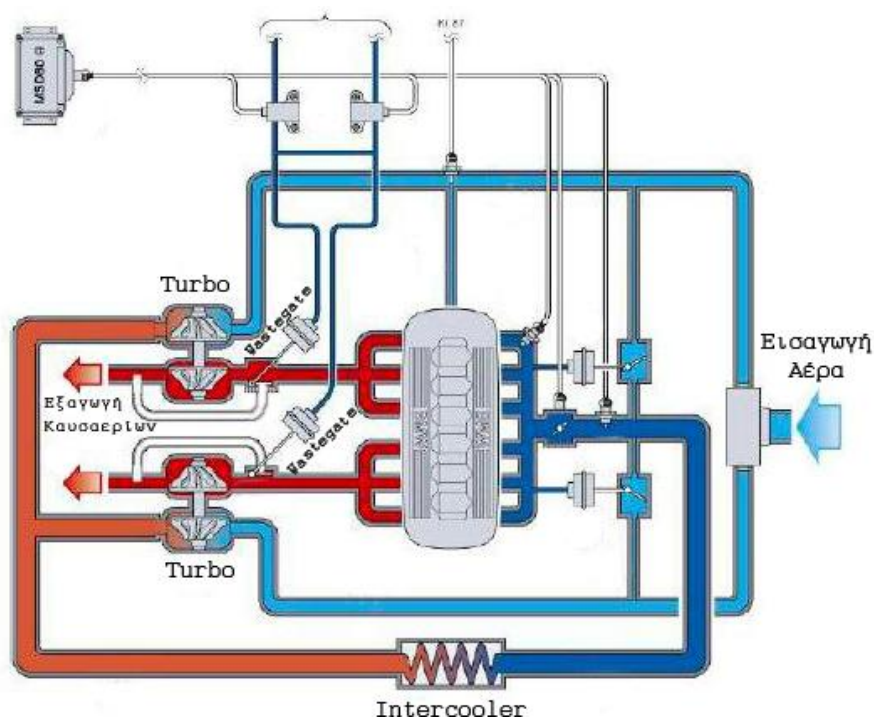
Οι μηχανικοί υπερσυμπιεστές αποδίδουν αρκετή ροπή από τις χαμηλές στροφές, η οποία αυξάνεται ομαλά όταν και αυτές αυξάνονται. Από την άλλη μεριά, η αύξηση της ροπής στα τούρμπο δεν είναι ομαλή, αλλά απότομη. Δεν υπάρχει καθυστέρηση στην παροχή της δύναμης όταν ο ρυθμός περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται απότομα (μηδενικό lag), ενώ στα τούρμπο υπάρχει καθυστέρηση στην απόκριση του γκαζιού. Οι θερμοκρασίες του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα είναι μικρότερες απ' ότι στους φυγοκεντρικούς υπερσυμπιεστές. Το κύκλωμα ψύξης και λίπανσης επηρεάζεται πολύ λιγότερο απ' ότι ενός τούρμπο κινητήρα. Απορροφούν δύναμη από τον ίδιο τον κινητήρα

για να λειτουργήσουν και αναπτύσσουν μεγάλες δυνάμεις τριβής με την αύξηση των στροφών λειτουργίας του κινητήρα , ενώ δεν αξιοποιούν καθόλου την κινητική ενέργεια των καυσαερίων, όπως κάνουν τα τούρμπο. Είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος από τα τούρμπο και καταλαμβάνουν πολύ χώρο στο μηχανοστάσιο του αυτοκινήτου. Τέλος, είναι πιο θορυβώδεις και λιγότερο αποδοτικοί από τα τούρμπο.

4.11 ΔΙΠΛΗ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ

Όπως είδαμε και παραπάνω, και οι δύο τρόποι υπερτροφοδότησης έχουν και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η ιδέα της χρήσης ενός μεγάλου φυγοκεντρικού υπερσυμπιεστή ή ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή μεγαλύτερων διαστάσεων για μεγάλη παροχή συμπιεσμένης ποσότητας αέρα στον κινητήρα απορρίφθηκε, λόγω του ότι θα υπήρχε μεγάλη καθυστέρηση μέχρις ότου η φτερωτή του στροβίλου να περιστραφεί με τις επιθυμητές στροφές, ή λόγω του ότι ο κινητήρας θα ήταν πολύ πιο θορυβώδης και ο χώρος στο μηχανοστάσιο ήταν περιορισμένος, αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, κάποιες αυτοκινητοβιομηχανίες θέλησαν και κατάφεραν να εξαλείψουν τα μειονεκτήματα της υπερτροφοδότησης με διάφορους τρόπους.

Η Nissan και η Toyota σκέφτηκαν να χρησιμοποιήσουν δύο μικρά τούρμπο. Πλέον, στον έναν στροβίλοσυμπιεστή χτυπούν τα καυσαέρια των μισών κυλίνδρων του κινητήρα και στον άλλον χτυπούν τα καυσαέρια των άλλων μισών κυλίνδρων. Το συγκεκριμένο σύστημα λέγεται παράλληλο biturbo και το είχαν τα Nissan 300ZX και τα Toyota Supra.



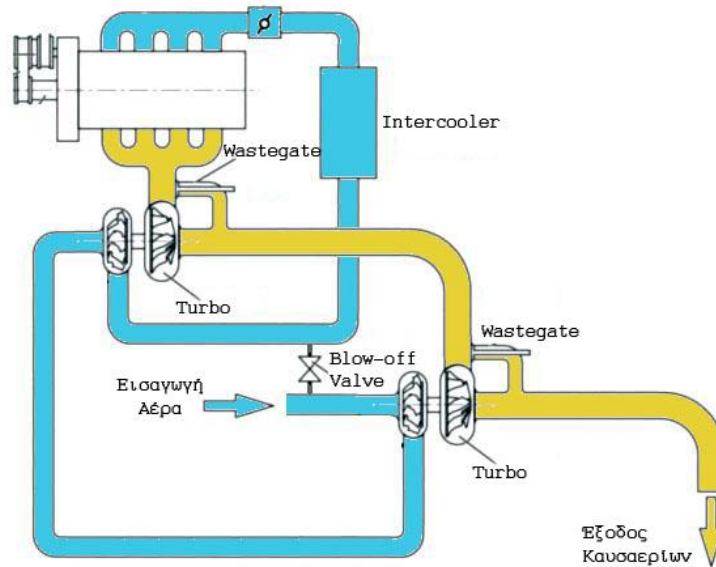
Σχήμα 4.11.1 : Διάταξη παράλληλου biturbo.

Στο Σχ. 4.11.1, που φαίνεται παραπάνω, παρουσιάζεται η διάταξη παράλληλου biturbo, ενώ στην Εικ. 4.11.2, που ακολουθεί, φαίνεται ένας βελτιωμένος κινητήρας από Chevrolet Corvette C5 με δύο turbo, παράλληλα τοποθετημένα, δύο φίλτρα αέρα και δύο side mounted εναλλάκτες θερμότητας.



Εικόνα 4.11.2 : Κινητήρας με παράλληλο biturbo.

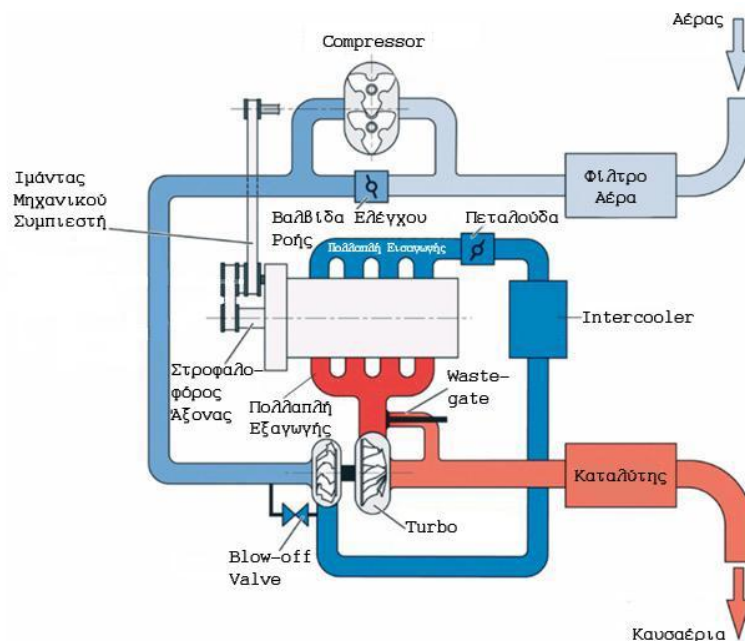
Ένα άλλο σύστημα στο οποίο χρησιμοποιούνται πάλι δύο στροβιλοσυμπιεστές, είναι το σειριακό biturbo, Σχ. 4.11.3 . Σε αυτό, ο ένας στροβιλοσυμπιεστής είναι μικρός και ο άλλος είναι μεγάλος. Εδώ, όλα τα καυσαέρια διέρχονται πρώτα από το μικρό τούρμπο. Έτσι, υπάρχει άμεση παροχή δύναμης, αφού τα καυσαέρια περιστρέφουν άνετα και γρήγορα την φτερωτή του στροβίλου. Από κάποιες στροφές ανά λεπτό, του κινητήρα, και πάνω το μικρό τούρμπο κλείνει και, πλέον, αναλαμβάνει το μεγάλο τούρμπο, δίνοντας έτσι το μέγιστο της ισχύς. Σαν σύστημα είναι πιο πολύπλοκο από το προηγούμενο, αλλά και αποδοτικότερο. Αυτή την διάταξη την είχαν τα τελευταία γενιάς Mazda RX-7 (FD3S) και τα Porsche 959.



Σχήμα 4.11.3 : Σειριακό biturbo.

Τέλος, η συνεργασία ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή και ενός τούρμπο επιτεύχθηκε από την VW, με τους γνωστούς, πλέον, κινητήρες TSI Twincharger, Σχ. 4.11.4 . Σε αυτό το σύστημα, ο μηχανικός υπερσυμπιεστής ενεργοποιείται από τις πολύ χαμηλές στροφές ανά λεπτό του κινητήρα, συμπιέζοντας αέρα στον θάλαμο καύσης. Στις 2.500 rpm ενεργοποιείται και το τούρμπο και μέχρι τις 3.500 rpm έχουμε ταυτόχρονη υπερτροφοδότηση, ενώ από τις 3.500 rpm και πάνω ο μηχανικός υπερσυμπιεστής τίθεται εκτός λειτουργίας και δουλεύει μόνο το τούρμπο.

Το συγκεκριμένο σύστημα διπλής υπερτροφοδότησης εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο αγωνιστικό Lancia Delta S4 τη δεκαετία του 1980.



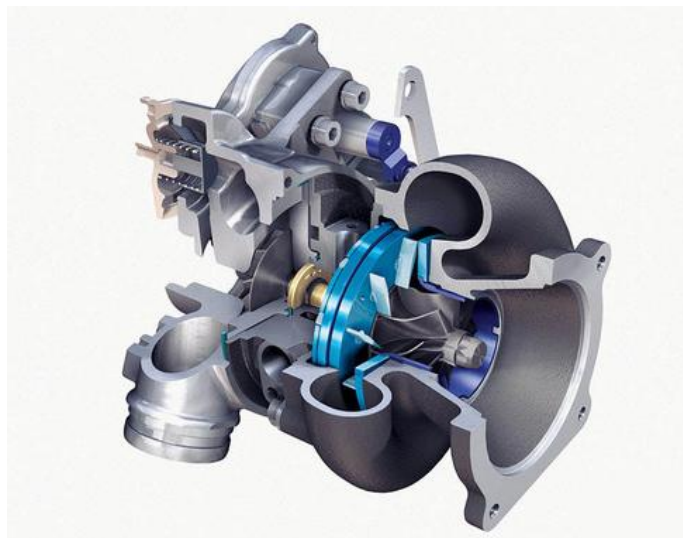
Σχήμα 4.11.4 : Διπλή υπερτροφοδότηση με μηχανικό και φυγοκεντρικό υπερσυμπιεστή.

Και στα τρία συστήματα διπλή υπερτροφοδότησης, που είδαμε παραπάνω, δεν υπάρχει καμία καθυστέρηση στην απόκριση του γκαζιού, δεν υπάρχει lag.

4.12 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

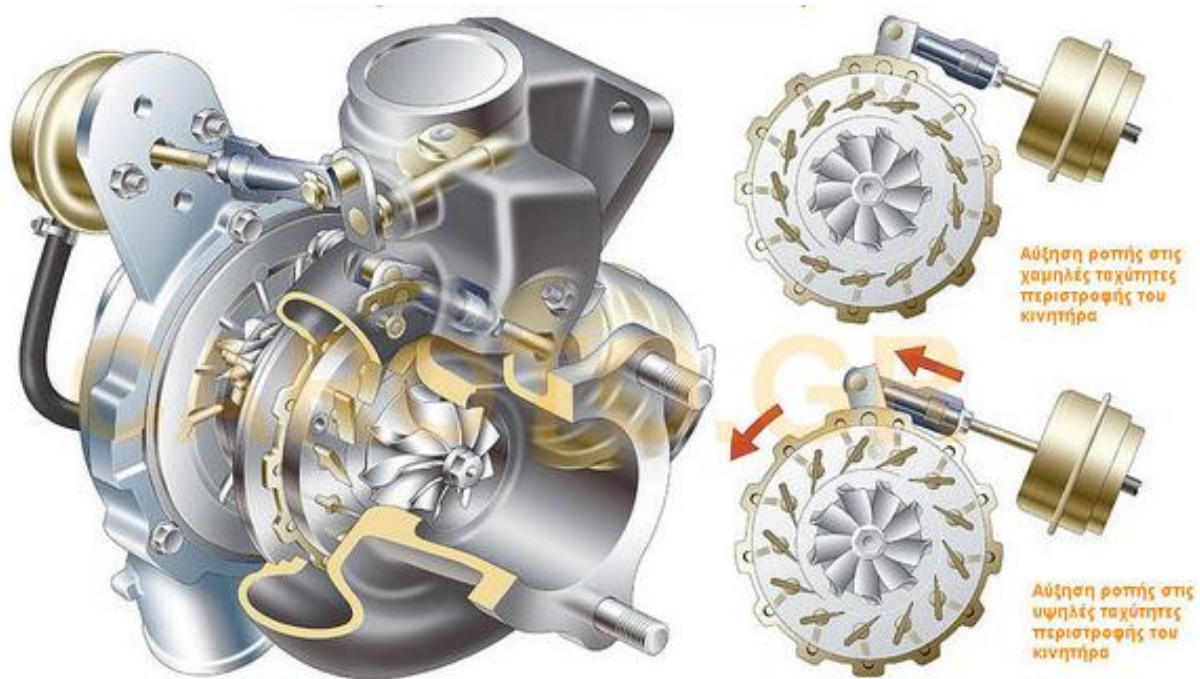
Όταν ένας υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας λειτουργεί με χαμηλές στροφές ανά λεπτό, τότε τα καυσαέρια που παράγει έχουν σχετικά μικρή κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα ο στροβιλοσυμπιεστής να μην μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτήν την ενέργεια. Η χρονική υστέρηση του τούρμπο (lag) εξαρτάται τόσο από την παροχή των καυσαερίων, όσο και από το μέγεθος του στροβίλου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο στρόβιλος και όσο λιγότερη είναι η ποσότητα των καυσαερίων, τόσο μεγαλύτερο είναι και το lag, λόγω αδράνειας. Από την άλλη μεριά, η διπλή υπερτροφοδότηση μπορεί να μην έχει μειονεκτήματα σε θέμα απόδοσης, υστερεί όμως στο ότι καταλαμβάνει αρκετό χώρο στο μηχανοστάσιο του αυτοκινήτου.

Η λύση έρχεται από τους κινητήρες diesel, στους οποίους χρησιμοποιούνται, πολλές φορές, φυγοκεντρικοί υπερτροφοδότες με πτερύγια μεταβλητής γεωμετρίας (VTG ή Variable Turbine Geometry), με στόχο την ακόμα μεγαλύτερη μείωση του turbo lag και την αύξηση της ισχύος. Αυτό το σύστημα υπερτροφοδότησης δεν έχει μεγάλη εφαρμογή στους βενζινοκινητήρες και αυτό λόγω του ότι η θερμοκρασίες των καυσαερίων των βενζινοκινητήρων αγγίζουν τους 1.000 °C, σε αντίθεση με τους κινητήρες diesel όπου η θερμοκρασίες των καυσαερίων τους φτάνουν τους 700 με 800 °C. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται ιδιαίτερα ανθεκτικά υλικά για την απροβλημάτιστη λειτουργία του κινητήρα στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Στην Εικ. 4.12.1 φαίνεται ένας στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας.



Εικόνα 4.12.1 : Στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας σε τομή.

Η ιδέα του συστήματος VTG δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Εξωτερικά από τα πτερύγια της φτερωτής του στρόβιλου υπάρχουν πτερύγια των οποίων η κλίση μεταβάλλεται υδραυλικά, έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων. Αυτό σημαίνει ότι όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλές στροφές ανά λεπτό και παράγει μικρή ποσότητα καυσαερίων, τα εξωτερικά πτερύγια πλησιάζουν μεταξύ τους δυσκολεύοντας έτσι της διόδου των καυσαερίων κατά την είσοδό τους στον στρόβιλο. Με αυτόν τον τρόπο, τα καυσαέρια αυξάνουν την ταχύτητα τους και μπορούν να κινήσουν την φτερωτή του στρόβιλου, ακόμα και όταν η παροχή καυσαερίων είναι μικρή. Καθώς, όμως, η παροχή των καυσαερίων μεγαλώνει, η κλίση των εξωτερικών πτερυγίων αλλάζει έτσι ώστε να αυξηθεί το μεταξύ τους διάκενο και να εισέλθουν πιο εύκολα τα καυσαέρια στον στρόβιλο, ενώ η ταχύτητα των καυσαερίων μειώνεται, Σχ. 4.12.2 . Έτσι, το σύστημα αυτό διατηρεί στα πιο αποδοτικά επίπεδα την πίεση του στροβιλοσυμπιεστή χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος της υπερπίεσης.



Σχήμα 4.12.2 : Μεταβολή της θέσης των εξωτερικών πτερυγίων του στρόβιλου.

Τα πρώτα αυτοκίνητα παραγωγής που χρησιμοποιούσαν στροβιλοσυμπιεστές με πτερύγια μεταβλητής γεωμετρίας ήταν 500, μόλις, Shelby CSX και τα Peugeot 405 T16, στα οποία το τούρμπο είχε ένα μεγάλο εξωτερικό πτερύγιο που άλλαζε την κλίση του ανάλογα με τον ρυθμό περιστροφής του κινητήρα.

Στις μέρες μας, το σύστημα υπερτροφοδότησης VTG εφαρμόζεται σε κάποια μοντέλα της Porsche και στο Mini Cooper S 2^{ης} γενιάς. Το σύστημα της Porsche ονομάζεται VNT (Variable Nozzle Technology) και η εταιρία κατασκευής Borg Warner, αυτού του στροβιλοσυμπιεστή, τον κατασκευάζει

από υλικά που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική, ώστε να αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

5. ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΣΧΕΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

5.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΣΧΕΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Ένα από τα μεγέθη που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι η σχέση, ή λόγος, συμπίεσης.

Σαν σχέση συμπίεσης ορίζεται ο λόγος του συνολικού όγκου του κυλίνδρου συμπεριλαμβανομένου και του θαλάμου καύσης, όταν το έμβολο βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ), προς τον όγκο του θαλάμου καύσης, όταν το έμβολο βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ). Ο λόγος αυτός επηρεάζει την ποιότητα και την ταχύτητα της καύσης και κυμαίνεται από 7,5:1 έως και 8:1 σε τούρμπο κινητήρες και φτάνει έως και 12,5:1 ή και 13:1 σε αγωνιστικούς ατμοσφαιρικούς κινητήρες. Η υψηλή σχέση συμπίεσης συνεπάγεται και καλύτερη απόδοση για τον κινητήρα. Αυτό, βέβαια, δεν σημαίνει ότι είναι δυνατή η «απεριόριστη» αύξηση της σχέσης συμπίεσης, λόγω του ότι δημιουργούνται προβλήματα στη λειτουργία του κινητήρα.

Η υπέρμετρη αύξηση της σχέσης συμπίεσης δεν επιτρέπεται στους εμβολοφόρους κινητήρες εσωτερικής καύσης για δύο πολύ σοβαρούς λόγους. Ο ένας αφορά την αντοχή των μηχανικών μερών, όπως έμβολα, διωστήρες, κοχλίες κεφαλής κ.ο.κ, στις αυξημένες μηχανικές καταπονήσεις που προκύπτουν από την αύξηση της σχέσης συμπίεσης. Ο δεύτερος λόγος αφορά στην αύξηση της τάσης για προανάφλεξη, όσο αυξάνεται η συμπίεση. Το φαινόμενο της προανάφλεξης είναι ανεπιθύμητο και καταστροφικό για τα μηχανικά μέρη του κινητήρα και εμφανίζεται όταν η θερμοκρασία του καυσίμου μίγματος υπερβεί το όριο της αυτανάφλεξης του καυσίμου, κατά τη φάση της συμπίεσης, με αποτέλεσμα το μίγμα να αναφλέγεται πριν ο αναφλεκτήρας δώσει τον σπινθήρα.

Η ύπαρξη των παραπάνω προβλημάτων, στην υπέρμετρη αύξηση της σχέσης συμπίεσης, ανάγκασε τους κατασκευαστές να καθορίσουν τη σχέση συμπίεσης του κινητήρα με βάση την ασφαλή λειτουργία του σε συνθήκες υπό υψηλές στροφές ανά λεπτό ή υπό μεγάλα φορτία, αποφεύγοντας, έτσι, την πιθανότητα προανάφλεξης, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργεί με πολύ μικρότερη σχέση συμπίεσης στις χαμηλότερες στροφές ανά λεπτό από εκείνη που δυνητικά θα μπορούσε να έχει. Έτσι, τόσο η απόδοση του κινητήρα, όσο και η κατανάλωση του καυσίμου επηρεάζονται αρνητικά. Τη λύση έρχονται να δώσουν οι κινητήρες μεταβλητής σχέσης συμπίεσης (Variable Compression Ratio - VCR).

5.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ VCR

Οι κινητήρες μεταβλητής σχέσης συμπίεσης έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε διαφορετικές σχέσεις συμπίεσης, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής και το φορτίο, και βελτιστοποιούνται για όλο το εύρος των συνθηκών λειτουργίας. Οι κινητήρες VCR λειτουργούν με μέγιστη σχέση συμπίεσης στις χαμηλές στροφές ανά λεπτό και στα μικρά φορτία, επιτυγχάνοντας, έτσι, τη βέλτιστη εκμετάλλευση της ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο μίγμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καλή απόδοση του κινητήρα, την οικονομία καυσίμου και την γρήγορη απόκριση του τούρμπο, σε υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες. Καθώς τα φορτία και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα αυξάνονται, η σχέση συμπίεσης μειώνεται, ελαχιστοποιώντας τις πιθανότητες προανάφλεξης. Τέλος, η σχέση συμπίεσης γίνεται ελάχιστη όταν ο κινητήρας λειτουργεί με το μέγιστο φορτίο του, επιτρέποντας μεγάλες γωνίες προπορείας ανάφλεξης και μεγάλες πιέσεις υπερπλήρωσης, οι οποίες προσφέρουν μεγάλη ροπή και ισχύ, χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος προανάφλεξης.

Μετά την εμφάνιση του κινητήρα εσωτερικής καύσης προέκυψαν τόσο η ιδέα της μεταβλητής σχέσης συμπίεσης, όσο και οι πρώτες δοκιμές τέτοιων συστημάτων, αφού ήταν γνωστό, από την θεωρία, το όφελος από την αύξηση της σχέσης συμπίεσης. Σε πολλά ερευνητικά ιδρύματα υπάρχουν πρωτότυποι κινητήρες VCR εδώ και δύο δεκαετίες, τουλάχιστον.

Από τις πρώτες εταιρείες που δημιούργησαν τις δικές τους εκδοχές στα συστήματα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης ήταν η Nissan, η VW, η Saab και η PSA, χωρίς όμως να καταφέρουν να τα βγάλουν στην παραγωγή λόγω κάποιων προβλημάτων, όπως το μεγάλο μέγεθος, η περιορισμένη διάρκεια ζωής και ο αυξημένος θόρυβος των κινητήρων αυτών.

5.3 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ - SAAB SVC

Η Saab είναι η αυτοκινητοβιομηχανία που κατασκεύασε τον πρώτο λειτουργικό κινητήρα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης, SVC (Saab Variable Compression), ο οποίος έφτασε πιο κοντά στην γραμμή παραγωγής από οποιονδήποτε άλλο τέτοιο κινητήρα, αφού παρουσιάστηκε στο Σαλόνι Αυτοκινήτου της Γενεύης το 2000.

Ο κινητήρας αυτός διέθετε πέντε κυλίνδρους χωρητικότητας 1,6lt και μπορούσε να αλλάζει την κλίση της κυλινδροκεφαλής του ως προς το υπόλοιπο μπλοκ κατά 4°, μέσω ενός μηχανισμού. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης, δηλαδή τον όγκο πάνω από το έμβολο, διαφοροποιώντας έτσι τη σχέση συμπίεσης από 8:1 έως και 14:1. Ο κινητήρας αυτός λειτουργούσε με πίεση υπερπλήρωσης 2,8bar και απέδιδε

228Ps και 310 Nm ροπής, ενώ η μέση κατανάλωση καυσίμου ήταν κατά 30% μειωμένη σε σχέση με έναν αντίστοιχο ατμοσφαιρικό κινητήρα 1,6lt.

Ο κινητήρας SVC της Saab ήταν εξαιρετικά πολύπλοκος, αφού απαιτούσε μεγάλο αριθμό επιπλέον εξαρτημάτων και ξεχωριστό κύκλωμα ψύξης για την κυλινδροκεφαλή και το μπλοκ. Το σημαντικότερο, όμως, πρόβλημα του κινητήρα SVC ήταν η διατήρηση της στεγανότητας μεταξύ μπλοκ και κυλινδροκεφαλής. Λόγω αυτών των προβλημάτων, άλλοι κατασκευαστές που παρουσίασαν αργότερα αντίστοιχους κινητήρες κινήθηκαν με διαφορετική φιλοσοφία.

Αντί, λοιπόν, η μεταβολή της σχέσης συμπίεσης να πραγματοποιείται από κινούμενη κυλινδροκεφαλή, εξελίχθηκαν συστήματα στα οποία μεταβάλλεται η σχετική θέση των εμβόλων ως προς την κεφαλή και τον στροφαλοφόρο άξονα, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η διαδρομή των εμβόλων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός δεύτερου ηλεκτροϋδραυλικά ελεγχόμενου διωστήρα ο οποίος παρεμβάλλεται και μεταβάλλει τη σχετική θέση του κυρίως διωστήρα ως προς τον στροφαλοφόρο άξονα, ή με τη χρήση ενός συστήματος με πλανητικά γρανάζια το οποίο μεταβάλλει την σχετική θέση του διωστήρα ως προς το κομβίο του στροφάλου. Υποστηρικτές της πρώτης λύσης είναι η Nissan, με τον κινητήρα VCR που παρουσιάστηκε το 2003, και η γαλλική εταιρεία MCE-5 Development, η οποία συνεργάζεται με τις PSA Peugeot-Citroen, CERTAM και Danielson Engineering, ενώ η δεύτερη λύση υποστηρίζεται και εξελίσσεται από την ολλανδική Gomecsys.

5.4 Ο ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΤΗΣ MCE-5 DEVELOPMENT

Η γαλλική MCE-5 Development εξελίσσει από το 1997 έναν επαναστατικό κινητήρα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης VCR και πλέον είναι ένα βήμα πριν την παραγωγή του. Σύμφωνα με ανακοίνωση της εταιρείας, το εύρος της μεταβολής της σχέσης συμπίεσης είναι πολύ μεγάλο, αφού έχει την δυνατότητα να κυμανθεί από 6:1 έως και 20:1, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου κατά 30%, όπως συμβαίνει και με τον κινητήρα της Saab.

Από κατασκευαστικής άποψης, ο κινητήρας αυτός μοιάζει σαν να έχουν ενωθεί δύο τετρακύλινδροι κινητήρες σε σειρά, πράγμα που δεν ισχύει, Εικ. 5.4.1. Η δεύτερη σειρά κυλίνδρων δεν συμμετέχει στην καύση. Ο ρόλος της είναι ρυθμιστικός, αφού με την βοήθειά της μεταβάλλεται η σχέση συμπίεσης. Όσο ψηλότερα βρίσκονται τα ρυθμιστικά έμβολα, τόσο χαμηλότερα κινούνται τα καθοδηγούμενα έμβολα, και το αντίστροφο.



Εικόνα 5.4.1 : Θέσεις ρυθμιστικών και καθοδηγούμενων εμβόλων.

Ανάμεσα στο ρυθμιστικό έμβολο και στο καθοδηγούμενο έμβολο παρεμβάλλεται μία συναρμογή με διπλό γρανάζι, Εικ. 5.4.2 .



Εικόνα 5.4.2 : Συναρμογή με διπλό γρανάζι.

Οι δύο σειρές εμβόλων κινούνται πάνω σε οδοντωτούς κανόνες ελέγχου, Εικ. 5.4.3 . Τα εξαρτήματα αυτά λειτουργούν σαν κανόνες για τα δύο έμβολα και μειώνουν το ακτινικό φορτίο του διωστήρα, αλλά και τις τάσεις που

επικρατούν στα τοιχώματα των κυλίνδρων αυξάνοντας την μακροζωία του κινητήρα.



Εικόνα 5.4.3 : Οδοντωτός κανόνας.

Το ρυθμιστικό έμβολο ενεργοποιείται από δύο υδραυλικές βαλβίδες σε κάθε κύλινδρο μεταφέροντας λάδι ώστε να μεταβληθεί η θέση του μοχλού. Με αυτόν τον τρόπο, ανάλογη είναι και η μεταβολή της συναρμογής των γρاناζιών. Η συναρμογή των γρاناζιών συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω του διωστήρα. Η χρήση των υδραυλικών βαλβίδων γίνεται διότι δεν επηρεάζονται από υψηλές θερμοκρασίες και κραδασμούς, όπως συμβαίνει με τις ηλεκτροϋδραυλικές.

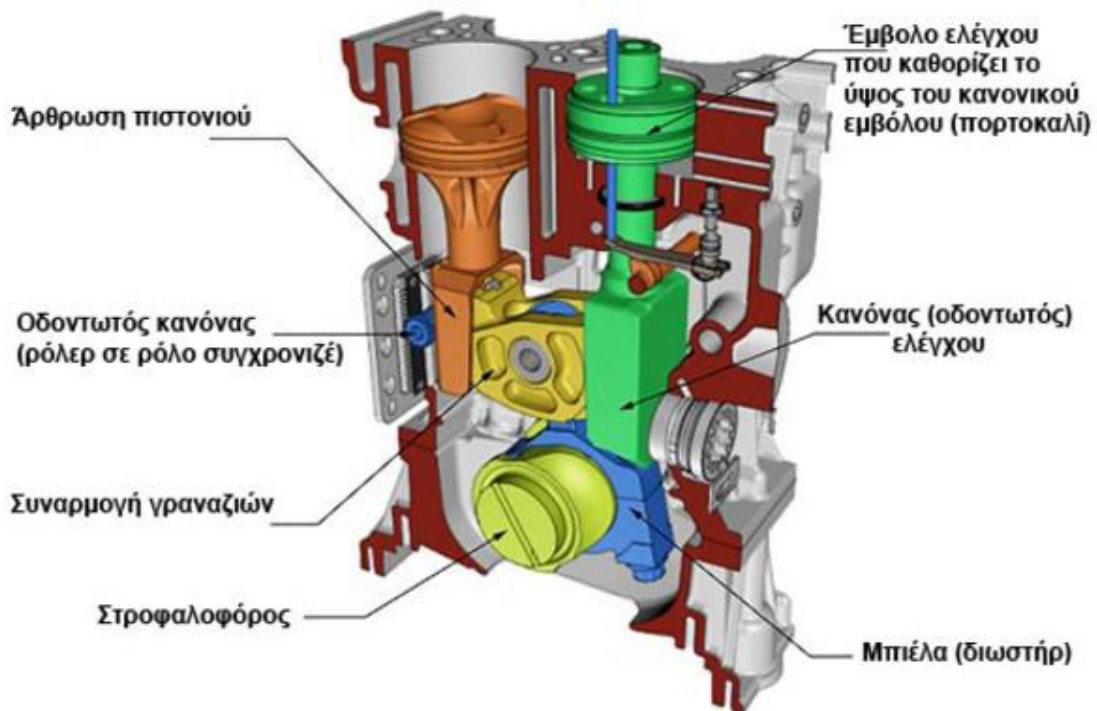
Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εξασφαλίζει τη ρύθμιση της σχέσης συμπίεσης αλλά και της κίνησης των εμβόλων με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό έχει άμεση επίδραση στην πλήρωση των κυλίνδρων, τον στροβιλισμό του μίγματος και την αποβολή της θερμότητας. Τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν με την σειρά τους την απόδοση, την ροπή, την ταχύτητα καύσης και τις αντικροτικές ιδιότητες. Τα ειδικά σχεδιασμένα καθοδηγούμενα έμβολα δέχονται μόνο διαμήκη φορτία, μειώνοντας έτσι τις απώλειες τριβών στα τοιχώματα των κυλίνδρων, αφού εκτελούν μία καθοδηγούμενη παλινδρομική κίνηση, σπρώχνοντας το ειδικό γρανάζι και όχι απ' ευθείας τον διωστήρα που κινεί τον στροφαλοφόρο.

Στην Εικ. 5.4.4 φαίνεται η πλήρης διάταξη του οδοντωτού συστήματος σύνδεσης των ρυθμιστικών και των καθοδηγούμενων εμβόλων.



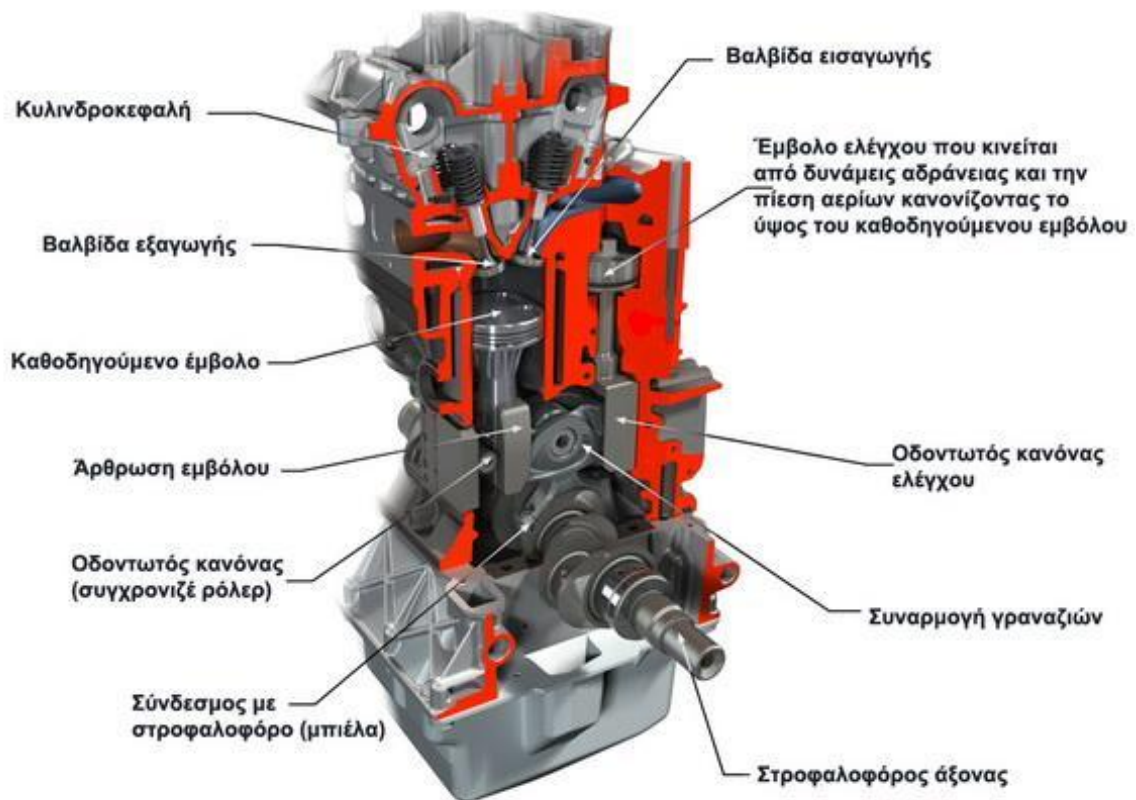
Εικόνα 5.4.4 : Οδοντωτό σύστημα σύνδεσης των εμβόλων.

Στο Σχ. 5.4.5 φαίνεται το πλήρες σύστημα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης σε τομή, με διαφορετικά χρώματα των εξαρτημάτων για να διακρίνονται ευκολότερα.



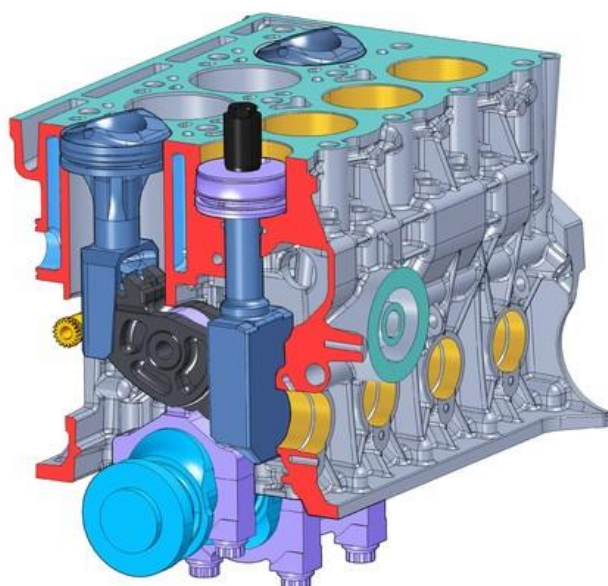
Σχήμα 5.4.5 : Σύστημα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης.

Στην Εικ. 5.4.6, που ακολουθεί, φαίνεται σε τομή το σύστημα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης, συμπεριλαμβανομένου της κυλινδροκεφαλής και των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.



Εικόνα 5.4.6 : Σύστημα μεταβλητής σχέσης συμπίεσης σε τομή.

Τέλος, στο Σχ. 5.4.7 φαίνεται η πλήρης διάταξη ενός τέτοιου κινητήρα.



Σχήμα 5.4.7 : Κινητήρας μεταβλητής σχέσης συμπίεσης.

5.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ VCR ΤΗΣ MCE-5

Η τεχνολογία των κινητήρων μεταβλητής σχέσης συμπίεσης έχει την δυνατότητα να συνυπάρξει απροβλημάτιστα με τις σύγχρονες τεχνολογίες που υπάρχουν στους σημερινούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, όπως τον μεταβλητό χρονισμό των εκκεντροφόρων ή τον άμεσο ψεκασμό του καυσίμου ή την υπερτροφοδότηση.

Η συνεργασία των σημερινών τεχνολογιών με έναν μικρού κυβισμού κινητήρα VCR της MCE-5 έχει σαν όφελος την μείωση της κατανάλωσης της βενζίνης έως και 20%, ενώ σε μεγάλου κυβισμού κινητήρες VCR η μείωση της κατανάλωσης αγγίζει το 35%, σε σύγκριση πάντα με αντίστοιχους «συμβατικούς» βενζινοκινητήρες ίδιου κυβισμού. Από την άλλη μεριά, η ροπή και η ισχύς ενός τέτοιου κινητήρα, όχι μόνο είναι μεγαλύτερες από αυτές ενός αντίστοιχου κινητήρα βενζίνης που βρίσκεται ήδη στην αγορά, αλλά σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνάνε τις αντίστοιχες τιμές ροπής και ισχύος κινητήρων μεγαλύτερου κυβισμού.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αυτών που μόλις αναφέραμε, αποτελεί ο κινητήρας 1.500cc μεταβλητής σχέσης συμπίεσης της MCE-5 ο οποίος παρ' όλο τον μικρό του κυβισμό αποδίδει, από τις 1.800 rpm, ροπή κατά 30% μεγαλύτερη από αυτήν ενός εξακύλινδρου, σε διάταξη V, βενζινοκινητήρα 3.000cc ο οποίος αποδίδει ροπή της τάξης των 300 Nm, στις 3.500 rpm. Η μέγιστη ισχύς του κινητήρα VCR αγγίζει τους 220 ίππους, ίση με αυτήν του V6 κινητήρα, με την διαφορά ότι εμφανίζεται στις 5.000 rpm και όχι στις 6.000 rpm όπως συμβαίνει στον V6. Η επίτευξη αυτών των αποδόσεων ροπής και ισχύος, από αυτόν τον κινητήρα μικρού κυβισμού, επιτυγχάνεται χάρη στη συνεχή μεταβολή της σχέσης συμπίεσης, η οποία κυμαίνεται από 7:1 έως 18:1, καθώς και στη διατήρηση της σχέσης συμπίεσης σε σχετικά υψηλά επίπεδα, κατά το περισσότερο μέρος της διάρκειας της λειτουργίας του, αφού η μέση τιμή της σχέσης συμπίεσης βρίσκεται μεταξύ 14:1 και 15:1, σε αντίθεση με τους συμβατικούς βενζινοκινητήρες των οποίων η σταθερή σχέση συμπίεσής τους είναι της τάξης του 10:1. Τέλος, άξιο αναφοράς είναι και ο χρόνος μεταβολής της σχέσης συμπίεσης, του συγκεκριμένου κινητήρα, από την ελάχιστη μέχρι την μέγιστη τιμή της, και αντιστρόφως, ο οποίος δεν ξεπερνά τα 100 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

5.6 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ VCR ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η MCE-5 Development σε συνεργασία με την Peugeot προσφάτως παρουσίασε στη Γενεύη την έκδοση του μοντέλου 407 με την κωδική ονομασία VCRi (Variable Compression Ratio, intelligent), η οποία θα βγει στη γραμμή παραγωγή τα επόμενα τρία χρόνια, αφού πρώτα γίνει μία σειρά βελτιώσεων και τελειοποιηθεί.

Το Peugeot 407 VCRi είναι εφοδιασμένο με έναν τετράχρονο τετρακύλινδρο βενζινοκινητήρα με κυβισμό 1.484cc, με μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων και υπερτροφοδότηση δύο φάσεων, ενώ η σχέση συμπίεσης κυμαίνεται από 6:1 έως 15:1 και μεταβάλλεται ανεξάρτητα σε κάθε κύλινδρο. Η μέγιστη ισχύς του εμφανίζεται στις 4.000 rpm με 5.000 rpm και αγγίζει τους 217 ίππους και η μέγιστη ροπή του φτάνει τα 420 Nm από τις 1.500 rpm, ενώ ταυτόχρονα η μέση κατανάλωση καυσίμου είναι 6,7 lt/100km. Στόχος της κατασκευάστριας εταιρίας του κινητήρα είναι η μείωση της κατανάλωσης στα 6 lt/km.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

6.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται, όλο και πιο συχνά βγαίνουν στην γραμμή παραγωγής κινητήρες οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με σύγχρονα συστήματα, και ως εκ τούτου επιτυγχάνονται θεαματικά αποτελέσματα τόσο στον τομέα της απόδοσης ισχύος όσο και στον τομέα της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής ρύπων. Τα σύγχρονα αυτά συστήματα εντυπωσιάζουν τόσο με την πολυπλοκότητα όσο και με την ικανότητά τους να αυξάνουν την απόδοση των κινητήρων. Οι κινητήρες, όμως, που απέσπασαν τα περισσότερα θετικά σχόλια και εντυπωσίασαν, από την πρώτη στιγμή της εμφάνισής τους, είναι οι γνωστοί, πλέον, TSI (Turbocharged Stratified Injection: Στρωματοποιημένη Έγχυση Καυσίμου με Υπερτροφοδότηση) της VW. Οι κινητήρες, αυτοί, εντάσσονται στους πιο αποτελεσματικούς βενζινοκινητήρες του σήμερα.

Η Volkswagen, μάλιστα, κέρδισε τη μέγιστη διάκριση στον διεθνή διαγωνισμό τεχνολογίας κινητήρων, με τον κινητήρα TSI Twincharger (διπλής υπερτροφοδότησης) των 1.4 lt. Για την ακρίβεια, εκτός από τον τίτλο «Διεθνής κινητήρας της χρονιάς 2009» ο κινητήρας αυτός κέρδισε και τους εξής τίτλους : «Καλύτερος Πράσινος Κινητήρας 2009» και «Καλύτερος Κινητήρας» στην κατηγορία των 1.0 – 1.4 lt. Πρόκειται για έναν σύγχρονο κινητήρα ο οποίος συνδυάζει άμεσο ψεκασμό βενζίνης, σύστημα επανακυκλοφορίας των καυσαερίων, μεταβλητό χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής και διπλή υπερτροφοδότηση.

Τη βάση για την δημιουργία αυτού του κινητήρα αποτέλεσε ο ατμοσφαιρικός κινητήρας, FSI (Fuel Stratified Injection) της σειράς EA 111, των 1.390 cc ο οποίος απέδιδε ισχύ ίση με 90 ίππους. Όπως ήταν φυσικό, όλα τα μέρη του κινητήρα έχουν αναβαθμιστεί, ώστε ο κινητήρας να μπορεί να ανταπεξέλθει απροβλημάτιστα στην, κατά πολύ, μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ του συγκεκριμένου TSI.

6.2 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ TSI TWINCHARGER

Ο FSI κινητήρας, πάνω στον οποίο είναι βασισμένος ο συγκεκριμένος TSI, είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα των κινητήρων τεχνολογίας GDI της

Mitsubishi. Αυτό σημαίνει ότι ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται μέσα στο θάλαμο καύσης, άμεσος ψεκασμός βενζίνης. Τα μπεκ ψεκασμού βρίσκονται μετά την βαλβίδα εισαγωγής και είναι τοποθετημένα στο πλάι της κυλινδροκεφαλής. Έτσι, η ροή του εισερχόμενου αέρα είναι στρωματοποιημένη, χωρίς να διαταράσσεται από τον ψεκασμό του καυσίμου. Οι εγχυτήρες, ελεγχόμενοι από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού), ψεκάζουν το καύσιμο με μεγάλη ακρίβεια, κατά διαστήματα που διαρκούν λιγότερο από χιλιοστά του δευτερολέπτου, από έξι οπές υπό υψηλή πίεση που αγγίζει τα 152 bar, Σχ. 6.2.1, με αποτέλεσμα την πλήρη διασπορά του καυσίμου και την καλύτερη ανάμειξή του με τον εισερχόμενο αέρα.



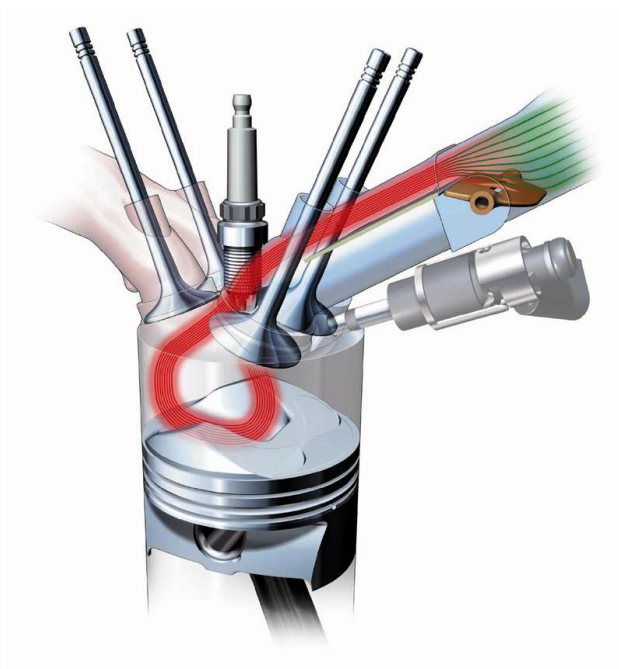
Σχήμα 6.2.1 : Εγχυτήρας υψηλής πίεσης.

Ο αέρας, καθώς εισέρχεται στον κύλινδρο κατά την φάση της εισαγωγής, προσκρούει επάνω στην ειδικά διαμορφωμένη κεφαλή των εμβόλων, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην καλή ανάμειξη του καυσίμου μίγματος, κάνοντάς το ομοιογενές, και οδηγεί το μίγμα ακριβώς κάτω από τον αναφλεκτήρα (μπουζί), χωρίς να το αφήνει να διασκορπιστεί άσκοπα σε όλο τον κύλινδρο, με αποτέλεσμα την τέλεια καύση του, Εικ. 6.2.2 . Επιπροσθέτως, η διαμορφωμένη κοιλότητα της κεφαλής του εμβόλου συντελεί στην μείωση των θερμικών απωλειών διατηρώντας το βαθμό απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου καύσης.



Εικόνα 6.2.2 : Διάταξη θαλάμου καύσης άμεσου ψεκασμού.

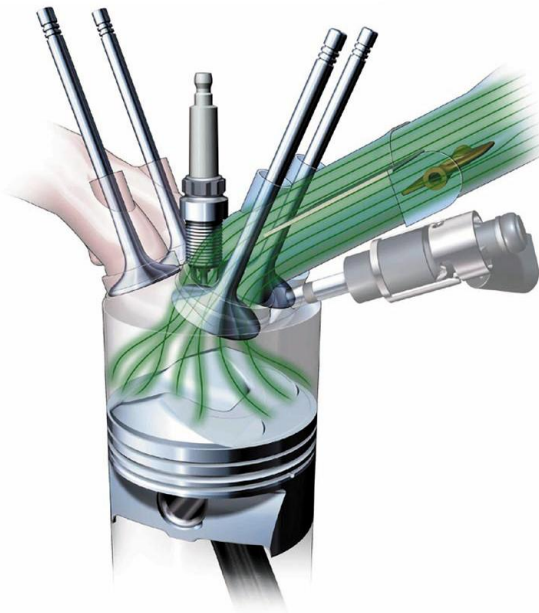
Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με μικρό φορτίο και σε χαμηλές στροφές η ρυθμιστική δικλείδα (πεταλούδα) φράζει την δίοδο του εισερχόμενου αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής (φάση στρωματοποίησης), Σχ. 6.2.3, έτσι ώστε ο αέρας να αποκτά μεγαλύτερη πίεση και ταχύτητα. Επίσης, ο ψεκασμός της βενζίνης πραγματοποιείται στα τελευταία στάδια της συμπίεσης, λίγο πριν φτάσει το έμβολο στο Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ).



Σχήμα 6.2.3 : Φάση στρωματοποίησης.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με υψηλό ρυθμό περιστροφής η ρυθμιστική δικλείδα έρχεται σε οριζόντια θέση, παράλληλα με την ροή του εισερχόμενου

αέρα (φάση ομογενοποίησης), Σχ. 6.2.4, έτσι ώστε να επιτραπεί η εισαγωγή της μέγιστης δυνατής ποσότητας αέρα. Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται πολύ πριν το τελευταίο στάδιο της συμπίεσης, όπου το έμβολο πλησιάζει το ΑΝΣ, και αυτό λόγω του ότι ο χρόνος για την ανάμειξη του μίγματος και την ανάφλεξη του περιορίζεται. Έτσι η καύση γίνεται την κατάλληλη στιγμή, χωρίς να υπάρξει ο κίνδυνος κρουστικής καύσης (πειράκια).



Σχήμα 6.2.4 : Φάση ομογενοποίησης.

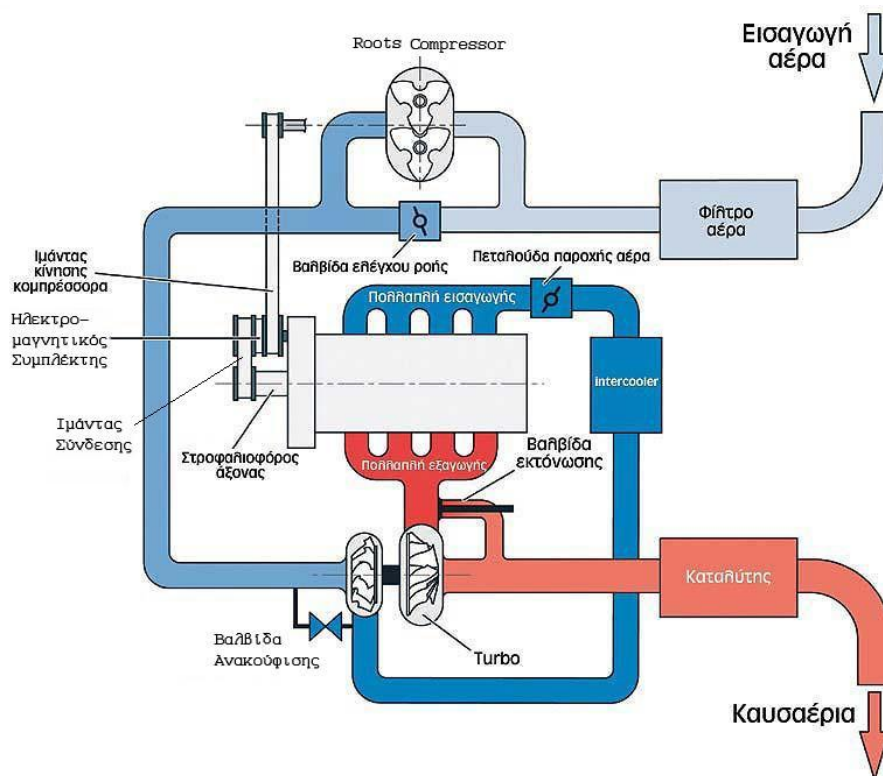
Τόσο η ρυθμιστική δικλείδα, όσο και τα μπεκ ψεκασμού και οι αναφλεκτήρες (μπουζί) ελέγχονται ηλεκτρονικά και λαμβάνουν εντολές ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα, η οποία είναι συνδεδεμένη με ένα πλήθος αισθητήρων που περιγράφουν τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Ο κινητήρας TSI, επίσης, είναι εφοδιασμένος με σύστημα επανακυκλοφορίας των καυσαερίων EGR, όπως και όλοι οι FSI, προσφέροντας την δυνατότητα στον κινητήρα να λειτουργεί με ακόμα πιο φτωχό μίγμα αέρα-βενζίνης, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των ρύπων που εκπέμπονται, αφού η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται είναι μικρότερη. Μέχρι και το 30% των καυσαερίων μπορεί να επανακυκλοφορήσει μαζί με τον εισερχόμενο αέρα στο θάλαμο καύσης, μέσω μίας ηλεκτρονικά ελεγχόμενης βαλβίδας. Αυτό το σύστημα βοηθάει στην καλύτερη πλήρωση του θαλάμου καύσης όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλό ή μέτριο φορτίο, ενώ για την επίτευξη της μέγιστης ισχύος (λειτουργία του κινητήρα με υψηλό ρυθμό περιστροφής) δεν πραγματοποιείται επανακυκλοφορία των καυσαερίων.

Ένα άλλο σύστημα που εφοδιάζει τον κινητήρα TSI είναι το σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής, το οποίο συντελεί στην αύξηση της αποδιδόμενης ισχύς αλλά και στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων εισαγωγής επιτυγχάνεται μέσω της μεταβολής της γωνίας φάσης του εκκεντροφόρου εισαγωγής, όπως ακριβώς συμβαίνει και στο VVT-i της Toyota. Ο μηχανισμός μεταβολής του χρονισμού των βαλβίδων να είναι ο ίδιος με τον VVT-i, καθώς επίσης και η αρχή λειτουργίας του, αλλά το φάσμα της μεταβολής της γωνίας του εκκεντροφόρου είναι πιο περιορισμένο, σε σχέση με τον VVT-i, στις 40° (γωνίας στροφάλου).

Αυτό, όμως, που κάνει τον κινητήρα TSI Twincharger να ξεχωρίζει τόσο από τους άλλους κινητήρες FSI, όσο και από όλους τους υπόλοιπους κινητήρες που κυκλοφορούν στην αγορά είναι το σύστημα διπλής υπερτροφοδότησης με το οποίο είναι εφοδιασμένος. Και αυτό λόγω του ότι είναι ο πρώτος κινητήρας παραγωγής με αυτό το σύστημα υπερτροφοδότησης, αφού αποτελείται από δύο διαφορετικού είδους υπερσυμπιεστές, έναν μηχανικό (compressor) και έναν φυγοκεντρικό (turbo), Σχ. 6.2.5 .

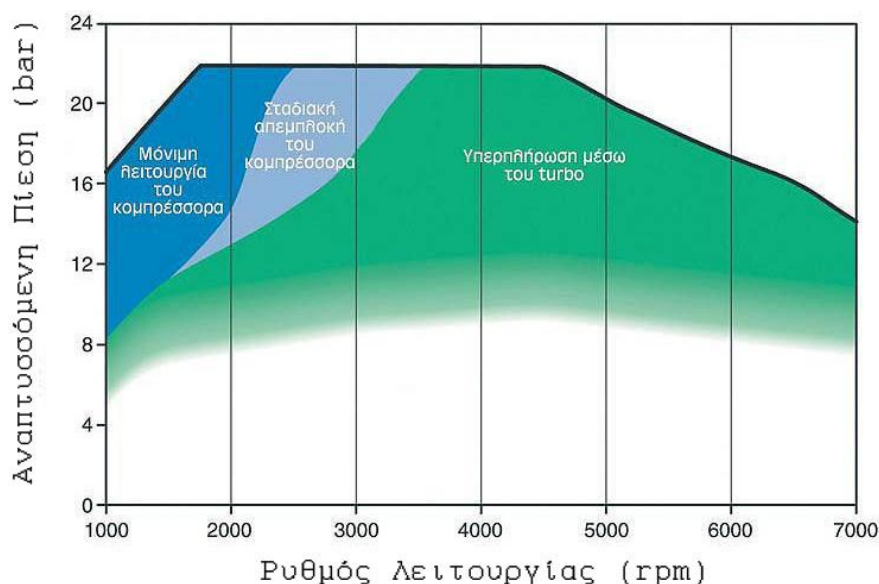
Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο μηχανικός υπερσυμπιεστής αποτελούν μειονεκτήματα για τον υπερσυμπιεστή καυσαερίων (turbo), και το αντίστροφο, όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η συνεργασία, όμως, των δύο διαφορετικών ειδών υπερσυμπιεστών εξαλείφει τα μειονεκτήματα του καθενός ξεχωριστά, και έτσι υπάρχουν μόνο θετικά αποτελέσματα.



Σχήμα 6.2.5 : Διάταξη κινητήρα TSI Twincharger.

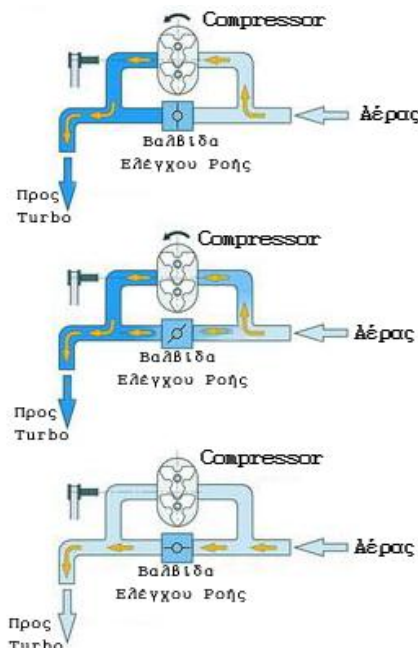
Όταν ο κινητήρας λειτουργεί μέχρι 2.500 rpm ο μηχανικός υπερσυμπιεστής είναι ο μόνος που τροφοδοτεί με επιπλέον αέρα τον θάλαμο καύσης. Μετά το όριο των 2.500 rpm τίθεται σε λειτουργία και ο υπερσυμπιεστής καυσαερίων και έχουμε ταυτόχρονη υπερτροφοδότηση, μέχρις ότου ο κινητήρας να φτάσει τις 3.500 rpm. Στο στάδιο, αυτό, της παράλληλης λειτουργίας μηχανικού υπερσυμπιεστή και turbo, ο πρώτος λειτουργεί και σαν μέσο υποβοήθησης για να μπορέσει το turbo να υπερνικήσει την αδράνεια, εξαλείφοντας με αυτό τον τρόπο το lag. Μόλις ο κινητήρας ξεπεράσει και αυτό το όριο, των 3.500 rpm, ο μηχανικός υπερσυμπιεστής τίθεται εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απώλειες ισχύος, μιας και ο μηχανικός υπερσυμπιεστής απορροφά δύναμη από τον ίδιο τον κινητήρα για την λειτουργία του, και έχουμε υπερτροφοδότηση μόνο από το turbo, το οποίο πλέον έχει αποκτήσει τον κατάλληλο ρυθμό περιστροφής. Η μέγιστη πίεση του TSI Twincharger αγγίζει τα 2.5 bar, τη στιγμή που ένας απλός υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας φτάνει μόλις τα 1.3 bar.

Η σχέση συμπίεσης του κινητήρα TSI Twincharger είναι 10:1 (υψηλή για υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα) και οι πιέσεις που αναπτύσσονται φτάνουν τα 21.7 bar, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, Σχ. 6.2.6 . Για να εξασφαλιστεί, λοιπόν, η απαιτούμενη αντοχή σε αυτές τις υψηλές πιέσεις, το μπλοκ των κυλίνδρων αποτελείται από χυτοσίδηρο, και όχι από αλουμίνιο όπως στον απλό FSI. Επιπλέον, η αντλία νερού αντικαταστάθηκε με άλλη, πιο αναβαθμισμένη, η οποία έχει ενσωματωμένο μαγνητικό συμπλέκτη, και είναι κατάλληλη για τις αυξημένες ανάγκες ψύξης του μηχανικού συνόλου, που προέκυψαν με την χρήση χυτοσιδήρου ο οποίος χαρακτηρίζεται από μεγάλη θερμοχωρητικότητα και μικρή θερμοαγωγιμότητα, αφού εκτός από τις μεγάλες πιέσεις που επικρατούν στους κυλίνδρους αυξάνεται σημαντικά και η θερμοκρασία του κινητήρα.



Σχήμα 6.2.6 : Διάγραμμα αναπτυσσόμενων πιέσεων, στον κινητήρα, συναρτήσει του ρυθμού περιστροφής.

Το πρόβλημα για τους μηχανικούς της VW ήταν στο πως θα συνδυαστεί η παράλληλη λειτουργία των δύο υπερσυμπιεστών, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (2.500 – 3.500 rpm). Η λύση ήρθε με την τοποθέτηση μίας βαλβίδας, παράλληλα με τον μηχανικό υπερσυμπιεστή, που ελέγχει την ροή του εισερχόμενου αέρα. Η βαλβίδα, αυτή, είναι στην ουσία μία ρυθμιστική δικλείδα, όπως η πεταλούδα παροχής αέρα, και η κλίση της καθορίζει την δίοδο από την οποία θα περάσει ο εισερχόμενος αέρας για να φτάσει στην πολλαπλή εισαγωγής. Μεταξύ 2.500 και 3.500 rpm η βαλβίδα ανοίγει σταδιακά επιτρέποντας σε κάποια ποσότητα αέρα να κατευθυνθεί απευθείας στο turbo, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα αέρα διέρχεται από τον μηχανικό υπερσυμπιεστή. Έτσι η πίεση του μηχανικού υπερσυμπιεστή μειώνεται σταδιακά, ενώ αυξάνεται, επίσης σταδιακά, η πίεση του turbo, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του κινητήρα. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί κάτω από τις 2.500 rpm η βαλβίδα ελέγχου φράζει την δίοδο του αέρα, αφού παραμένει κάθετη στην ροή του, αναγκάζοντάς τον να κινηθεί προς τον μηχανικό υπερσυμπιεστή, ενώ όταν ο κινητήρας ξεπεράσει τις 3.500 rpm η βαλβίδα ελέγχου έρχεται σε οριζόντια θέση, παράλληλα με την ροή του αέρα, επιτρέποντας στον εισερχόμενο αέρα να κατευθυνθεί αποκλειστικά, και μόνο στο turbo, Σχ. 6.2.7 .



Σχήμα 6.2.7 : Ροή του εισερχόμενου αέρα σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας.

Ο μηχανικός υπερσυμπιεστής είναι τύπου Roots, δηλαδή αποτελείται από δύο λοβούς οι οποίοι περιστρέφονται αντίθετα ο ένας από τον άλλο παγιδεύοντας και συμπιέζοντας με αυτόν τον τρόπο τον διερχόμενο αέρα. Επίσης, δεν παίρνει κίνηση απευθείας από τον στροφαλοφόρο άξονα, αλλά συνδέεται με τον ενσωματωμένο, στην αντλία νερού, ηλεκτρομαγνητικό

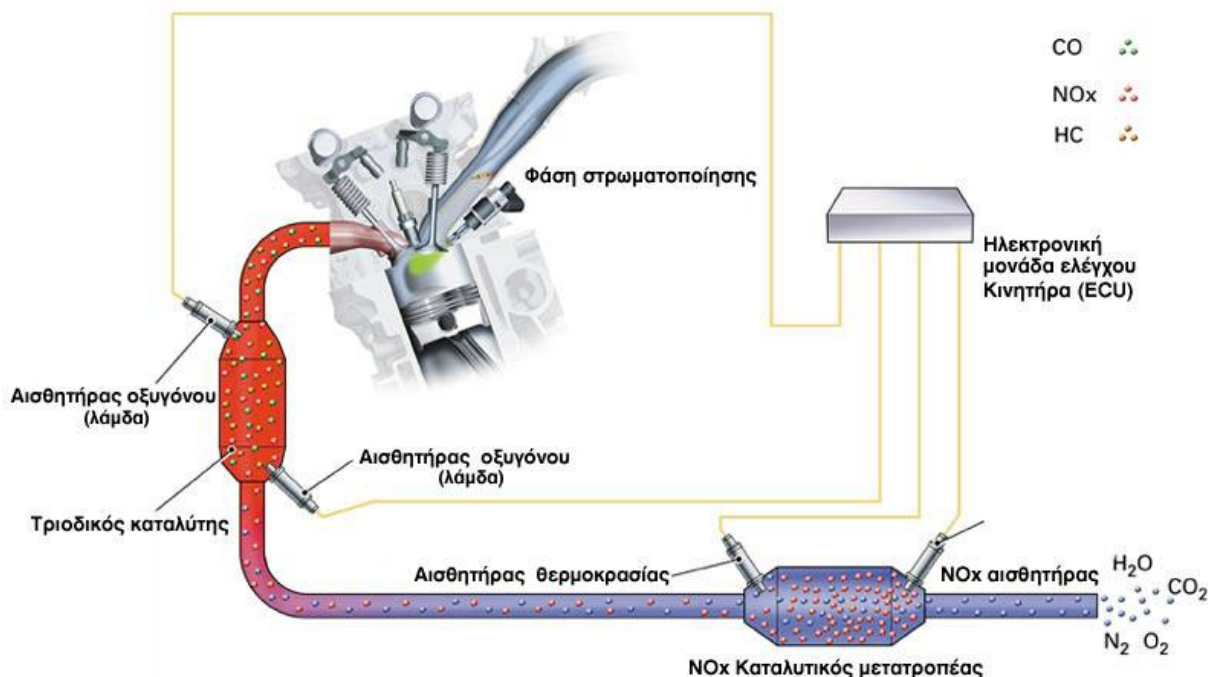
συμπλέκτη μέσω ιμάντα, όπως φαίνεται στην Εικ. 6.2.8, αλλά και στο Σχ. 6.2.5 που είδαμε προηγουμένως.



Εικόνα 6.2.8 : Σύνδεση του μηχανικού υπερσυμπιεστή με τον μαγνητικό συμπλέκτη της αντλίας νερού.

Από την άλλη μεριά, ο υπερσυμπιεστής εξάτμισης είναι εφοδιασμένος με wastegate (βαλβίδα εκτόνωσης καυσαερίων) για την σταθεροποίηση της ροής των καυσαερίων και για την διατήρηση της πίεσής του στα επιθυμητά όρια. Επίσης, η χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας (intercooler) και μίας βαλβίδας ανακούφισης (blow-off valve) κρίθηκε απαραίτητη για την ψύξη του εισερχόμενου αέρα στους κυλίνδρους και την διατήρηση της πίεσής του στα επιτρεπτά όρια, αντίστοιχα.

Τέλος, είναι απαραίτητο να αναφέρουμε πως ο κινητήρας αυτός είναι εφοδιασμένος, με έναν καταλύτη οξειδίων του αζώτου στο σύστημα εξαγωγής του, κάνοντας τον κινητήρα πιο φιλικό στο περιβάλλον, και αυτό λόγω του ότι ο κινητήρας αυτός λειτουργεί με αρκετά φτωχό μίγμα αέρα-βενζίνης όταν οι απαιτήσεις του κινητήρα δεν είναι υψηλές, δηλαδή υπό μερικό ή χαμηλό φορτίο, με αποτέλεσμα την υψηλή εκπομπή NOx. Όπως είδαμε και στο Σχ. 2.2.1 του κεφαλαίου 2, όταν ένας κινητήρας λειτουργεί με αρκετά φτωχό μίγμα ($\lambda=1,1$) έχουμε υψηλές εκπομπές NOx, οι οποίες αποτελούν τοξικά αέρια, λόγω της ύπαρξης μεγάλης ποσότητας αέρα, σε σχέση με την ποσότητα βενζίνης, μέσα στο θάλαμο καύσης. Προκειμένου, λοιπόν, να εξαλειφθούν αυτές οι εκπομπές τοξικού αερίου στο περιβάλλον τοποθετήθηκε ένας καταλυτικός μετατροπέας οξειδίων του αζώτου, μετά από τον κύριο καταλυτικό μετατροπέα (τριοδικός καταλύτης), Σχ. 6.2.9 .



Σχήμα 6.2.9 : Διάταξη καταλύτη NOx ως προς το υπόλοιπο σύστημα εξαγωγής.

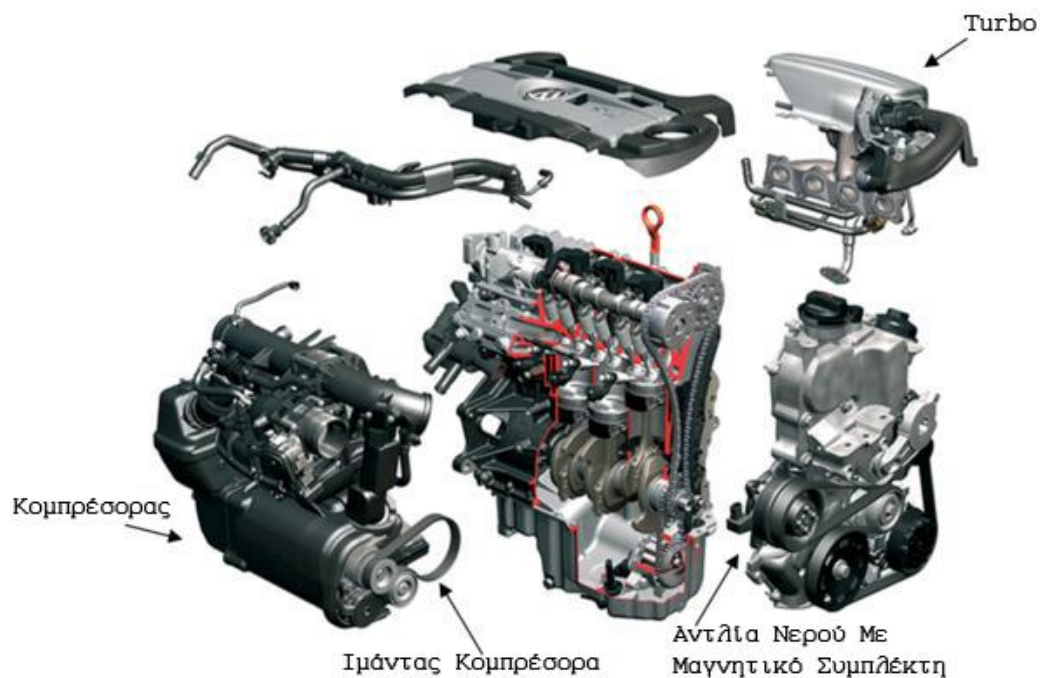
Αντίθετα από τον τριοδικό καταλύτη, ο καταλύτης NOx διαθέτει μία επίστρωση από οξείδια του βαρίου (BaO), εκτός από τις επιστρώσεις ευγενών μετάλλων όπως πλατίνας, ροδίου και παλλαδίου. Τα οξείδια του αζώτου συσσωρεύονται στον καταλυτικό μετατροπέα NOx αφού πρώτα δεσμευτούν από τα οξείδια του βαρίου. Οι εκπομπές NOx οξειδώνονται καταλυτικά στην επιφάνεια του ευγενούς μετάλλου πλατίνας και μετατρέπονται σε διοξείδια του αζώτου (NO_2). Στη συνέχεια το NO_2 αντιδρά με οξείδιο του βαρίου (BaO) και οξυγόνο (O_2) και μετατρέπεται σε νιτρικό βάριο ($Ba(NO_3)_2$). Αυτό σημαίνει ότι τα NOx αποθηκεύονται στον καταλύτη NOx με την μορφή νιτρικού βαρίου. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας του καταλύτη NOx είναι η εκπομπή μη τοξικών αερίων, $H_2O - CO_2 - N_2 - O_2$, όπως είδαμε και στο Σχ. 6.2.9 .

Η δυνατότητα αποθήκευσης του καταλύτη NOx εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία των καυσαερίων. Η μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης επιτυγχάνεται στο πεδίο θερμοκρασιών από $300 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Αυτό σημαίνει ότι το πιο ευνοϊκό πεδίο θερμοκρασιών είναι πολύ χαμηλότερο από ότι στο συμβατικό τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα (περίπου $400 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τρεις ξεχωριστοί καταλύτες για την κατάλυση των καυσαερίων :

- i. ένας τριοδικός καταλύτης, που βρίσκεται κοντά στον κινητήρα,
- ii. ένας πρόσθετος τριοδικός καταλύτης, και
- iii. ένας καταλύτης NOx, μακριά από τον κινητήρα.

Επιπλέον, η βενζίνη που θα χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε αυτόν τον κινητήρα θα πρέπει να μην έχει περιεκτικότητα σε θείο, λόγω του ότι το θείο αντιδρά με το οξείδιο του βαρίου, στον καταλύτη NOx, και δρα ανταγωνιστικά ως προς την συσσώρευση NOx περιορίζοντας την δυνατότητα αποθήκευσής τους. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιείται αποθείωση του καταλύτη NOx σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Στο Σχ. 6.2.10 φαίνεται το μηχανικό σύνολο του κινητήρα TSI Twincharger με όλα τα σύγχρονα συστήματα βελτίωσης της απόδοσης, που περιγράψαμε.



Σχήμα 6.2.10 : Κινητήρας TSI Twincharger.

Τα αποτελέσματα της λειτουργίας όλων αυτών των συστημάτων σε έναν κινητήρα 1.390 cc είναι εντυπωσιακά. Παρατηρώντας αυτόν τον κινητήρα στο καινούργιο VW Golf, βλέπουμε ότι η ισχύς αγγίζει τους 160 ps, η ροπή τα 240 Nm σε φάσμα στροφών από 1.500 – 4.500 rpm, ενώ η μέση κατανάλωση καυσίμου είναι 6.3 lt/100km και οι εκπομπές CO₂ είναι 145 gr/km.

Η αποδοτικότητα του συγκεκριμένου κινητήρα είναι πολύ μεγάλη, με 115.1 ps/lt, αφού παράγει ιπποδύναμη ίση με αυτή ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα 2.3 lt διατηρώντας, όμως, την κατανάλωση καυσίμου 20% χαμηλότερα.

6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΝΕΟΥ VW GOLF

Για να γίνει αντιληπτό το όφελος του συνδυασμού όλων αυτών των τεχνολογιών, που περιγράψαμε παραπάνω, στον κινητήρα TSI Twincharger,

είναι απαραίτητη η σύγκριση αυτού του κινητήρα με τους άλλους κινητήρες χαμηλότερης ισχύος της VW στο ίδιο μοντέλο παραγωγής, έτσι ώστε να φανεί τί παραπάνω προσφέρει κάθε μηχανικό σύνολο με βάση τις διαφορές που παρουσιάζουν στα σύγχρονα συστήματα βελτίωσης της απόδοσης που διαθέτουν. Για την σύγκριση αυτή επιλέχθηκε το νέο VW Golf.

Ο πρώτος κινητήρας είναι ο απλός MPI (Multi Point Injection), έμμεσου ψεκασμού πολλαπλών σημείων. Πρόκειται για έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα με ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού. Δεν διαθέτει σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων, EGR, ούτε και μηχανισμό μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής. Το μπλοκ των κυλίνδρων είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο, αφού δεν αναπτύσσονται τόσο μεγάλες πιέσεις και θερμοκρασίες, και η αντλία νερού είναι απλή, χωρίς ενσωματωμένο μαγνητικό συμπλέκτη. Η αποδιδόμενη ισχύς αυτού του μηχανικού συνόλου είναι 80 ps.

Ο άλλος κινητήρας, ο οποίος θα συγκριθεί με τον TSI Twincharger, είναι ο απλός TSI. Ο κινητήρας αυτός είναι υπερτροφοδοτούμενος, άμεσου ψεκασμού τεχνολογίας FSI, με υπερσυμπιεστή καυσαερίων, ενώ είναι και αυτός εφοδιασμένος με σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής και σύστημα EGR. Οι διαφορές του απλού TSI με τον «μεγάλο του αδερφό» βρίσκεται μόνο στο σύστημα υπερτροφοδότησης. Ο TSI είναι εφοδιασμένος με μικρότερων διαστάσεων turbo, χωρίς wastegate, και το ψυγείο που ψύχει τον εισερχόμενο, στους κυλίνδρους, αέρα είναι chargecooler (ψυγείο αέρα-νερού). Η αποδιδόμενη ισχύς από αυτό το μηχανικό σύνολο είναι 122 ps.

Στον ακόλουθο Πιν. 6.3.1 γίνεται σύγκριση των τριών κινητήρων στο ίδιο μοντέλο παραγωγής, VW Golf.

Πίνακας 6.3.1

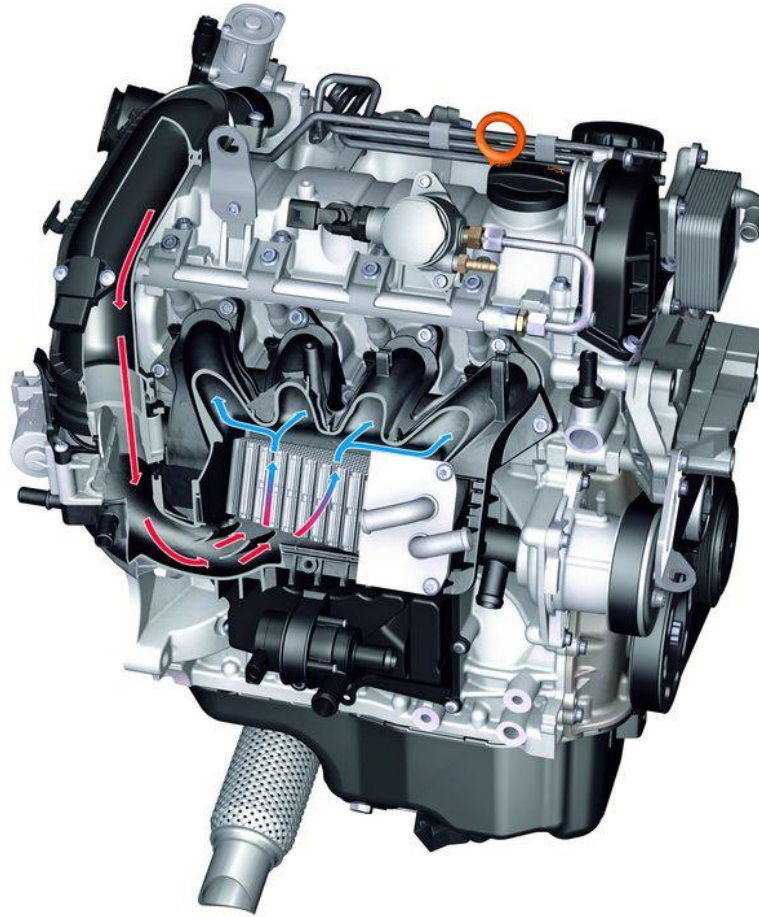
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	1.4 MPI 80PS	1.4 TSI 122PS	1.4 TSI TWINCHARGER 160PS
Κυβισμός (cm ³)	1.390	1.390	1.390
Ιπποδύναμη (Ίπποι/rpm)	80/5.000	122/5.000	160/5.800
Ροπή (Nm/rpm)	132/3.800	200/1.500-4.000	240/1.500-4.500

Μέση κατανάλωση (lt/100km)	6.4	6.2	6.3
Εκπομπές CO ₂ (gr/km)	149.0	144.0	145.0

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, η αύξηση της ιπποδύναμης και της ροπής είναι εντυπωσιακή από κινητήρα σε κινητήρα, αυτό όμως δεν συνεπάγεται και αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου ή της εκπομπής CO₂, αντιθέτως οι διαφορές τους είναι πολύ μικρές και είναι προς το καλύτερο. Τόσο η μέση κατανάλωση καυσίμου, όσο και οι εκπομπές CO₂ των δύο υπερτροφοδοτούμενων κινητήρων μειώνονται σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό κινητήρα έμμεσου ψεκασμού. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στον διαφορετικό τρόπο ψεκασμού του καυσίμου (έμμεσος – άμεσος ψεκασμός).

6.4 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ 1.2 TSI

Οι μηχανικοί της Volkswagen θέλοντας να κατεβάσουν ακόμα περισσότερο τα επίπεδα της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής CO₂ δημιούργησαν έναν νέο υπερτροφοδοτούμενο τετρακύλινδρο βενζινοκινητήρα άμεσου ψεκασμού 1.200 cc (1.2 TSI), Σχ. 6.4.1, ο οποίος διαφέρει αρκετά από τους άλλους κινητήρες FSI και είναι άξιος αναφοράς. Οι σημαντικότερες διαφορές εντοπίζονται στα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένος.



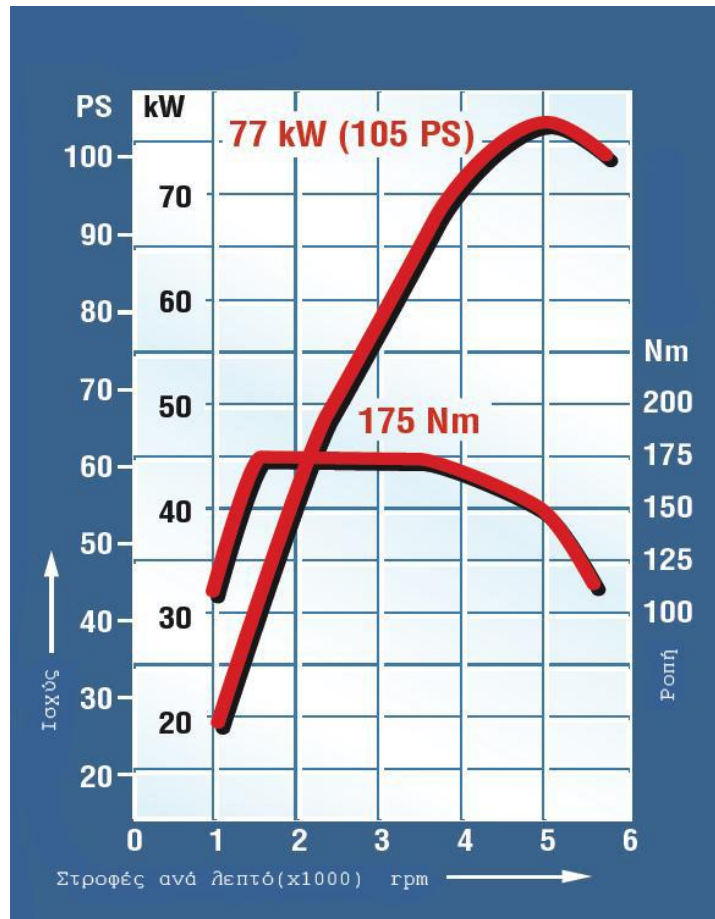
Σχήμα 6.4.1 : Κινητήρας 1.2 TSI.

Το μπλοκ των κυλίνδρων είναι κατασκευασμένο από χυτο-πρεσσαριστό αλουμίνιο με νέου τύπου χιτώνια κυλίνδρων από χυτοσίδηρο και τα έμβολα είναι ελαφριάς κατασκευής και μειωμένης τριβής. Επίσης, ο στροφαλοφόρος άξονας είναι, πλέον, χαλύβδινος με μειωμένες, στα 42 mm, διαμέτρους εδράνων μπιέλας και εδράνων βάσης, για την επίτευξη λιγότερων απωλειών τριβής. Από την άλλη μεριά, υπάρχει μόνο ένας επικεφαλής εκκεντροφόρος για τον έλεγχο των τεσσάρων βαλβίδων εισαγωγής και των τεσσάρων βαλβίδων εξαγωγής (8βάλβιδος κινητήρας), Σχ. 6.4.2, ένας υπερσυμπιεστής καυσαερίων με ηλεκτρονικά ελεγχόμενο wastegate και ένα chargecooler. Η χρήση αυτών των υλικών και η ύπαρξη λιγότερων μηχανικών μερών μειώνει αισθητά το βάρος του κινητήρα και συντελούν στην καλύτερη λειτουργία του, λόγω του ότι οι απώλειες τριβής είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τους άλλους κινητήρες της VW.



Σχήμα 6.4.2 : Κινητήρας 1.2 TSI με 8 βαλβίδες και έναν, μόνο, επικεφαλή εκκεντροφόρο.

Ο κινητήρας 1.2 TSI τοποθετείται ήδη στο νέο VW Polo, προσδίδοντάς του επιδόσεις αντάξιες με αυτές των ατμοσφαιρικών κινητήρων των 1.600 cc. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη ισχύς του αγγίζει τα 105 ps στις 5.000 rpm, η μέγιστη ροπή του είναι 175 Nm και παρουσιάζεται μεταξύ 1.550 και 4.100 rpm, Σχ. 6.4.3, ενώ η μέση κατανάλωση καυσίμου περιορίζεται στα 5.3 lt/100km και η εκπομπές CO₂ είναι 124 gr/km.



Σχήμα 6.4.3 : Διάγραμμα ισχύος & ροπής ως προς το ρυθμό περιστροφής.

Συγκρίνοντας αυτόν τον κινητήρα 1.2 TSI με τον 1.4 MPI, έμμεσου ψεκασμού, που τοποθετείται στο ίδιο μοντέλο παραγωγής, VW Polo, βλέπουμε ότι ο «μικρός» TSI υπερτερεί τόσο στην ιπποδύναμη και στην ροπή, παρόλο τη μικρή χωρητικότητά του και τον λιγότερο αριθμό βαλβίδων εισαγωγής (έναντι του 16βάλβιδου 1.4 MPI) που συντελούν καθοριστικά στην καλή πλήρωση των κυλίνδρων, όσο και στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές CO₂, Πιν. 6.4.4 .

Πίνακας 6.4.4

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	1.4 MPI 85PS	1.2 TSI 105PS
Κυβισμός (cm ³)	1.390	1.197
Ιπποδύναμη (Ίπποι/rpm)	85/5.000	105/5.000

Ροπή (Nm/rpm)	132/3.800	175/1.550-4.100
Μέση κατανάλωση (lt/100km)	5.9	5.3
Εκπομπές CO ₂ (gr/km)	139.0	124.0

Η επίτευξη, λοιπόν, των υψηλών αποδόσεων ισχύος και ροπής σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπής CO₂ τόσο στον κινητήρα των 1.400 cc, όσο και στον νέο των 1.200 cc, κάνει τους κινητήρες TSI της VW από τους πιο αποδοτικούς της αγοράς.

7. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ BENZINOKINΗΤΗΡΩΝ

7.1 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ BENZINOKINΗΤΗΡΩΝ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης δεν έπαψαν ποτέ να εξελίσσονται. Στόχος των πρώτων βενζινοκινητήρων ήταν η αύξηση της ισχύος. Με το πέρασμα των χρόνων αυτό δεν ήταν πρόβλημα και η επίτευξη αυτού του στόχου γινόταν όλο και ευκολότερη, αφού βελτιώνονταν συνεχώς τα επιμέρους συστήματα των κινητήρων. Πλέον, οι μηχανικοί των αυτοκινητοβιομηχανιών προσανατολίζονται στην αύξηση της απόδοσης των βενζινοκινητήρων, καθώς προσπαθούν να κρατήσουν την ισχύ σε υψηλά επίπεδα μειώνοντας, όμως, την κατανάλωση βενζίνης και ως εκ τούτου και τις εκπομπές ρύπων προς όφελος του περιβάλλοντος.

Οι βενζινοκινητήρες αποτελούν την φθηνότερη λύση για την επίτευξη καλών αποδόσεων και η ικανότητά τους να προσαρμόζονται εύκολα στις νέες αυστηρότερες νομοθεσίες των χωρών για την εκπομπή ρύπων, τους επιτρέπουν την ύπαρξή τους για πολλά χρόνια ακόμα. Τα περιθώρια εξέλιξης των συστημάτων βελτίωσης της απόδοσης των βενζινοκινητήρων δεν έχουν εξαντληθεί και ο συνδυασμός αυτών των σύγχρονων συστημάτων σε ένα μηχανικό σύνολο δεν έχει επιτευχθεί πλήρως.

Από την άλλη μεριά, βέβαια, έχουν εμφανιστεί τα υβριδικά οχήματα εδώ και μία δεκαετία, τουλάχιστον, στα οποία συνδυάζεται η λειτουργία ενός βενζινοκινητήρα και ενός ηλεκτροκινητήρα, με βασικό τους στόχο την μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Η συνύπαρξη των δύο διαφορετικού είδους κινητήρων ανοίγει μία νέα εποχή στο μέλλον της αυτοκίνησης, αφού επιτυγχάνεται σημαντική απόδοση, συνδυάζοντας υψηλή ισχύ και χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Τον ίδιο στόχο έχουν και τα εξ' ολοκλήρου ηλεκτρικά αυτοκίνητα, χωρίς να έχουν πείσει ακόμα για την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την λειτουργικότητά τους, μη μπορώντας να εκτοπίσουν από την ζωή μας τους βενζινοκινητήρες.

Ακόμα, όμως, και με την εμφάνιση, τέτοιων, νέων τεχνολογιών, ο βενζινοκινητήρας δεν μπορεί να καταργηθεί, αντίθετα, εξελίσσεται, συνυπάρχει και συμβάλλει σε ένα καθαρότερο περιβάλλον, ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις της αγοράς για καλή απόδοση. Η συνεχής μελέτη και εξέλιξη νέων τεχνολογιών, καθώς επίσης και η συνεχής εμφάνιση και παραγωγή νέων κινητήρων βενζίνης, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι από ένα πλήθος σύγχρονων εξελιγμένων συστημάτων βελτίωσης της απόδοσης επιφυλάσσουν και

υπόσχονται ένα αισιόδοξο και σίγουρο μέλλον για την ύπαρξη των βενζινοκινητήρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έντυπη μορφή :

- «Μηχανές Εσωτερικής Καύσης», 2^η έκδοση, του Κ. Μαυρίδη.
- «Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης», 2^η έκδοση, των Ι. Καλογήρου, Ι. Γεωργουδάκη και Κ. Μαυρίδη.
- Περιοδικό τεχνολογικής εξέλιξης του αυτοκινήτου και της μοτοσυκλέτας, «R&D».
- Περιοδικό βελτίωσης αυτοκινήτων, «MAX POWER».

Ηλεκτρονική μορφή :

- <http://www.in.gr/>
- <http://sfrang.com/historia/>
- <http://el.wikipedia.org/>
- <http://13tee-thess.thess.sch.gr/>
- <http://library.techlink.gr/4t/>
- <http://www.caroto.gr/>
- <http://trans.kathimerini.gr/>
- <http://www.powermag.gr/>
- <http://www.4troxoi.gr/>
- <http://www.autobild.gr/>
- <http://www.fiat.gr/>
- <http://www.vw.gr/>
- <http://www.openscience.gr/en/>

Φωτογραφικό αρχείο :

- Μηχανή αναζήτησης <http://www.google.gr/>
- «Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης», 2^η έκδοση, των Ι. Καλογήρου, Ι. Γεωργουδάκη και Κ. Μαυρίδη.