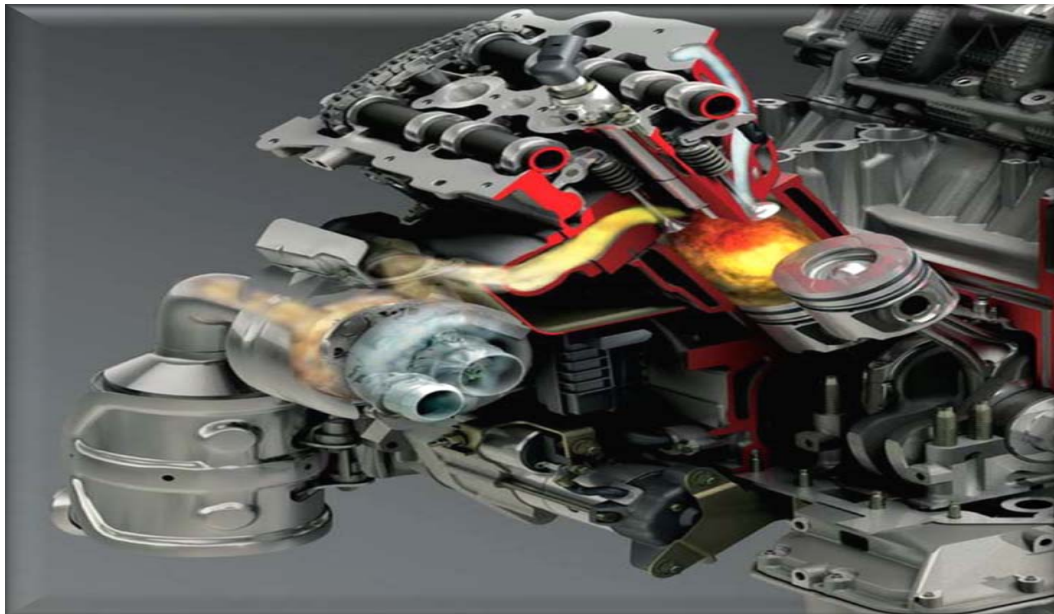


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ (Α.Μ. 4559)  
ΟΡΦΑΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 5003)**

**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 απόδοσης πετρελαιοκινητήρων που είτε εφαρμόζονται ήδη, είτε θα εφαρμοστούν στο μέλλον.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να βοηθήσει τους αναγνώστες, να κατανοήσουν τη λειτουργία και το σκοπό της χρήσης τέτοιων συστημάτων, μέσα από την ανάλυσή τους. Αναλύονται μόνο τετράχρονοι εμβολοφόροι πετρελαιοκινητήρες εσωτερικής καύσης, μιας και η χρήση τους είναι συχνότερη και περισσότερο διαδεδομένη σήμερα.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Επαμεινώνδα Αλεξόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, ευχαριστούμε τον κ. Αλέκο Κοντογεώργο για την γενική βοήθειά του.

Νικολόπουλος Λεωνίδας  
Ορφανίδης Γεώργιος  
Ιούνιος 2010

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως φαίνεται και από τον τίτλο του θέματος, η παρούσα εργασία ενασχολείται με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των πετρελαιοκινητήρων και αναδεικνύονται όλα τα πλεονεκτήματά και μειονεκτήματά τους. Κύριος στόχος είναι να αναλυθούν όλες οι σύγχρονες τεχνολογίες οι οποίες βελτίωσαν και θα βελτιώσουν σημαντικά τους πετρελαιοκινητήρες σε διάφορους τομείς όπως της απόδοσης ισχύος και μείωσης των επικίνδυνων ρύπων. Συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή και περιγράφεται η χρονική εξέλιξη των πετρελαιοκινητήρων από την εφεύρεση του Diesel στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα έως σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία μιας τετράχρονης μηχανής Diesel καθώς και τα εξαρτήματα του πετρελαιοκινητήρα που συμμετέχουν στη διαδικασία της καύσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο καταγράφονται οι ιδιότητες του πετρελαίου και οι δυσκολίες που έχει ως καύσιμο στη σύσταση και στη ροή του και περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια της καύσης του πετρελαίου μέσα στο θάλαμο καύσης ενός πετρελαιοκινητήρα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τεχνικές του άμεσου και του έμμεσου ψεκασμού του πετρελαίου στο θάλαμο καύσης καθώς και το σύστημα Unit Injector. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο σύστημα ψεκασμού Common-Rail ως το πιο τελειοποιημένο τεχνολογικό επίτευγμα, το οποίο έχει υιοθετηθεί από όλες τις μεγάλες κατασκευάστριες εταιρίες μηχανών πετρελαίου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα συστήματα υπερτροφοδότησης με έμφαση πάντα στην εφαρμογή τους σε κινητήρες Diesel για την επίτευξη καλύτερων επιδόσεων.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται όλες οι σύγχρονες τεχνικές που χρησιμοποιούνται με σκοπό τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων στους πετρελαιοκινητήρες τόσο στη σωστή διαχείριση της καύσης όσο και στην εξάλειψη των ρυπογόνων ουσιών.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφονται οι νέες τεχνολογίες όσον αφορά την βελτίωση της απόδοσης των πετρελαιοκινητήρων και δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάποιων σύγχρονων πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων.

Οι κινητήρες πετρελαίου έχουν ως θετικά χαρακτηριστικά αυτά της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου και της υψηλής ροπής

λειτουργίας σε χαμηλό ρυθμό περιστροφής. Για αυτό και οι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνται περισσότερο σε επαγγελματικά οχήματα και λιγότερο σε επιβατικά. Αντίθετα έχουν και πολλά αρνητικά χαρακτηριστικά όπως αυτά της χαμηλής ισχύος αποδόσεως και κάποιων υψηλών ρύπων που προκύπτουν από τον τρόπο της καύσης τους. Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναλύονται όλες οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται με κύριο στόχο την όσο δυνατόν εξάλειψη των αρνητικών χαρακτηριστικών αυτών των κινητήρων. Συνεπώς δικαιολογείται και η αύξηση της ζήτησης πετρελαιοκίνητων επιβατικών οχημάτων που πλησιάζει και ξεπερνά το 50% της παραγωγής στις μέρες μας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Γενικά .....	1
1.2 Το Χρονικό των Diesel .....	4

### 2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

2.1 Βασικά Εξαρτήματα του Πετρελαιοκινητήρα.....	7
2.2 Οι Τέσσερις Χρόνοι του Κύκλου Diesel.....	8

### 3 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ

3.1 Ιδιότητες του Πετρελαίου Diesel.....	13
3.1.1 Θερμογόνος Δύναμη.....	13
3.1.2 Αριθμός Κετανίου (ή Αριθμός Σετανίου).....	14
3.1.3 Ειδικό Βάρος.....	16
3.1.4 Σημείο Εμφάνισης Κρυστάλλων Παραφίνης (Παραφίνοποίηση).....	17
3.1.5 Ιξώδες.....	18
3.1.6 Περιεκτικότητα σε Θείο.....	18
3.1.7 Διαβρωτικότητα.....	19
3.1.8 Περιεκτικότητα σε Νερό.....	19

3.1.9 Τέφρα.....	21
3.1.10 Πρόσθετα.....	21
3.2 Λόγος Καυσίμου Μείγματος.....	21
3.3 Διαδικασία Καύσης στον Πετρελαιοκινητήρα.....	23
3.4 Επιδράσεις του Ψεκασμού στην Ποιότητα της Καύσης.....	26

## **4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ**

4.1 Μέθοδοι Έγχυσης του Πετρελαίου.....	28
4.1.1 Άμεση Έγχυση.....	28
4.1.2 Έμμεση Έγχυση.....	30
4.1.3 Απαιτήσεις από τον Ψεκασμό.....	32
4.2 Αντλίες και Διανομείς.....	33
4.3 Σύστημα Unit Injector.....	35
4.4 Σύστημα Ψεκασμού Common-Rail.....	38
4.4.1 Δομή του Συστήματος Common-Rail.....	41
4.4.2 Λειτουργία του Συστήματος Common-Rail.....	41
4.4.3 Πλεονεκτήματα του Συστήματος Common-Rail.....	46
4.4.4 Αισθητήρες και Επενεργητές του Συστήματος Common-Rail.....	47
4.4.5 Επισκευή του Συστήματος Common-Rail.....	49
4.5 Εγχυτήρες.....	50

## **5 ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ**

5.1 Φυσική και Βεβιασμένη Εισροή Αέρα.....	55
5.2 Υπερτροφοδότηση Πετρελαιοκινητήρων.....	57
5.3 Χαρακτηριστικά της Υπερτροφοδότησης.....	61
5.3.1 Η Αύξηση της Μέσης Πίεσης.....	61
5.3.2 Περιορισμοί των Συστημάτων Υπερτροφοδότησης.....	61
5.3.3 Ροπή και Ιπποδύναμη.....	62

5.3.4 Ο Βαθμός Απόδοσης.....	62
5.4 Υπερτροφοδότηση με την Ενέργεια των Καυσαερίων.....	63
5.5 Μεταβαλλόμενη Λειτουργία του Συστήματος Turbo.....	67
5.5.1 Διβάθμια Συστήματα Υπερτροφοδότησης.....	68
5.5.2 Η Μεταβαλλόμενη Γεωμετρία.....	71
5.6 Το Intercooler.....	73

## **6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ**

6.1 Γενικά.....	75
6.2 Πρωτογενείς Μέθοδοι.....	76
6.2.1 Έλεγχος του Συστήματος Έγχυσης του Καυσίμου.....	76
6.2.2 Έλεγχος του Συστήματος Εισαγωγής Αέρα.....	77
6.2.3 Σύνθεση του Μείγματος.....	78
6.2.4 Επανακυκλοφορία των Καυσαερίων.....	78
6.2.5 Μembrάνες Διαχωρισμού Οξυγόνου και Αζώτου.....	81
6.2.6 Έγχυση Νερού ή Χρήση Γαλακτώματος Νερού Καυσίμου... ..	84
6.3 Δευτερογενείς Μέθοδοι.....	85
6.3.1 Οι Παγίδες Αιθάλης.....	85
6.3.2 Η Μέθοδος SCR.....	89
6.4 Βιοντήζελ.....	91
6.5 Όρια Εκπομπής Ρύπων Κινητήρων Diesel.....	92

## **7 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

7.1 Ο Κινητήρας Multijet.....	94
7.2 Κινητήρες Diesel της BMW.....	95
7.3 Ο Πετρελαιοκινητήρας V6 της Mercedes.....	97
7.4 Η Καύση Κλειστού Βρόγχου.....	98
7.5 Το Smart Fortwo CDI.....	99

7.6 Η Τεχνολογία Bluetotion της VW.....	101
7.7 Κινητήρες-Υβριδικά του Ομίλου PSA.....	103
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>106</b>



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ενασχολείται με σύγχρονα συστήματα βελτίωσης πετρελαιοκινητήρων. Όπως φαίνεται και από την ιστορική αναδρομή η χρονική εξέλιξη των πετρελαιοκινητήρων ξεκινά από την εφεύρεση του Diesel στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

Περιγράφοντας αναλυτικά τη λειτουργία μιας τετράχρονης μηχανής Diesel, την διαδικασία της καύσης καθώς και τις ιδιότητες του πετρελαίου κίνησης εξακριβώνονται όλα τα θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά των πετρελαιοκινητήρων. Οι κινητήρες πετρελαίου έχουν ως θετικά χαρακτηριστικά αυτά της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου και της υψηλής ροπής λειτουργίας σε χαμηλό ρυθμό περιστροφής. Αντίθετα έχουν και πολλά αρνητικά χαρακτηριστικά όπως αυτά της χαμηλής ισχύος αποδόσεως και κάποιων υψηλών ρύπων που προκύπτουν από τον τρόπο της καύσης τους. Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναλύονται όλες οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται με κύριο στόχο την όσο δυνατόν εξάλειψη των αρνητικών χαρακτηριστικών αυτών των κινητήρων.

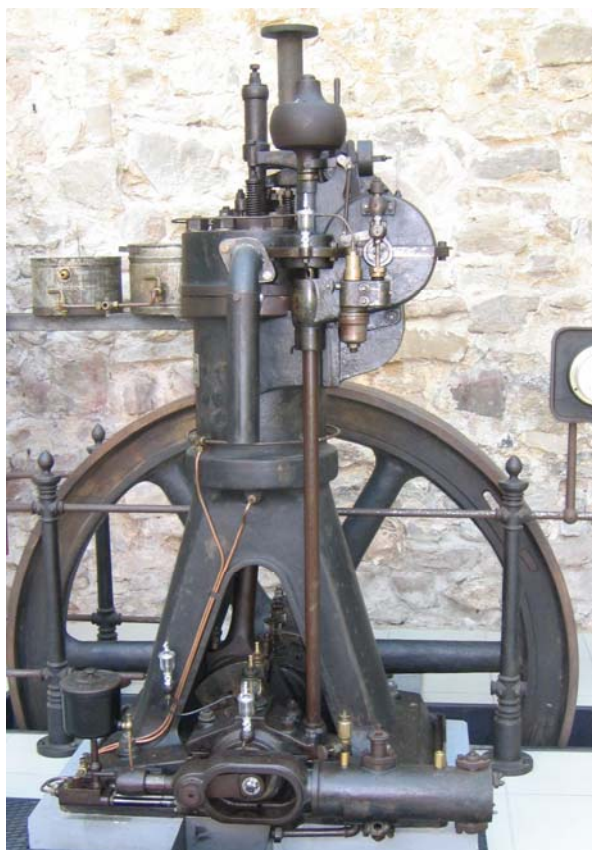
Συγκεκριμένα, περιγράφονται και αναλύονται σύγχρονα συστήματα ψεκασμού καυσίμου για τη βέλτιστη τροφοδοσία καυσίμου, στροβιλοσυμπιεστές για τη βέλτιστη τροφοδοσία αέρα και εφαρμογές αντιρύπανσης. Συνεπώς, εξακριβώνονται τα προβλήματα και η αντιμετώπιση αυτών. Συμπερασματικά, οι σύγχρονοι κινητήρες πετρελαίου είναι πλέον αποδοτικοί και φιλικόι στο περιβάλλον και όπως προκύπτει κι από το τέλος της εργασίας πολλές εταιρίες σχεδιασμού και παραγωγής τέτοιων μηχανών προσβλέπουν στο άμεσο μέλλον στην πιο ευρεία χρήση τους.

# 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα, η έρευνα οδηγήθηκε στην ανακάλυψη πιο αποδοτικών κινητήρων, ικανών να λειτουργήσουν εκμεταλλευόμενοι εναλλακτικές πηγές ενέργειας, σε σχέση με αυτούς που υπήρχαν ήδη και λειτουργούσαν με ατμό. Ένας από τους πρωτοπόρους αυτών των ανακαλύψεων ήταν ο N. A. Otto ο οποίος κατασκεύασε ένα βενζινοκινητήρα το 1876. Ο κύκλος του Otto είναι η βάση στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των βενζινοκινητήρων και των πετρελαιοκινητήρων σήμερα. Μόλις καθιερώθηκε ο κύκλος Otto, οι έρευνες στράφηκαν στην ανεύρεση μεθόδων ανάφλεξης του καυσίμου μίγματος. Στις μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα (βενζινοκινητήρες) το μείγμα αέρα-καυσίμου συμπιέζεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου και η διεργασία της καύσης αρχίζει με τη βοήθεια του σπινθήρα που παράγει το μπουζί. Μία άλλη μέθοδος είναι η μεγάλη συμπίεση του αέρα μέσα στον κύλινδρο, προκειμένου να παραχθεί πολύ υψηλή θερμοκρασία, υψηλότερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου. Το καύσιμο στη συνέχεια ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο, όπου υπάρχει ο θερμός αέρας και αμέσως αρχίζει η καύση. Η εκτόνωση των αερίων παράγει πολύ υψηλή ενέργεια. Οι κινητήρες αυτού του τύπου ονομάζονται κινητήρες συμπίεσης-ανάφλεξης. Στους κινητήρες αυτούς το μπουζί και το καρμπυρατέρ αντικαθίστανται από ένα ψεκαστήρα (εγχυτήρα) καυσίμου.

Οι κινητήρες συμπίεσης-ανάφλεξης αντιμετώπισαν αρχικά πολλά προβλήματα όπως η θερμική αντοχή των κατασκευαστικών υλικών τα οποία δεν μπορούσαν να αντέξουν κάτω από αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες και το πρόβλημα του ψεκασμού του καυσίμου σε ένα χώρο (κύλινδρο) με τόσο υψηλή πίεση λόγω της μεγάλης συμπίεσης του αέρα.



**Εικόνα 1.1:** Μηχανή Diesel της MAN (1906).

Μεγάλη αξιοπιστία στους κινητήρες συμπίεσης-ανάφλεξης έδωσε ο Γερμανός μηχανικός Rudolph Diesel. Αρχικά προσπάθησε να λειτουργήσει τους κινητήρες με σκόνη άνθρακα (κονιορτοποιημένο κάρβουνο) αλλά οι κινητήρες εκρήγνυτο. Το 1894 πέτυχε τη λειτουργία με υγρό καύσιμο κάνοντας τον κινητήρα πιο οικονομικό και περισσότερο αποδοτικό από τους υπόλοιπους κινητήρες της εποχής.

Τέλος, το 1895 ο Diesel κατοχύρωσε την ευρεσιτεχνία του στις Η.Π.Α. Το 1900 ο πετρελαιοκινητήρας διαδόθηκε ευρύτατα στην Ευρώπη. Το 1924 ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας τοποθετήθηκε σε πλοίο και το 1925 σε λεωφορείο. Το 1929 κυκλοφόρησε και το πρώτο φορτηγό με πετρελαιοκινητήρα. Οι κινητήρες αυτοί ήταν πολύ μεγάλοι σε μέγεθος και είχαν πολύ μεγάλο βάρος για να τοποθετηθούν σε μικρά επιβατηγά αυτοκίνητα, αν και η Peugeot προσπάθησε να κατασκευάσει ένα πετρελαιοκίνητο επιβατηγό αυτοκίνητο το 1922.

Το 1927, η εταιρεία Robert Bosch άρχισε να κατασκευάζει εξοπλισμό ψεκασμού για πετρελαιοκινητήρες. Η Bosch ήταν ικανή για μαζική παραγωγή εξοπλισμού ψεκασμού και μάλιστα για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Επιπλέον, η εταιρεία αυτή απέκτησε άδεια κατασκευής εξαρτημάτων πετρελαιοκινητήρων σε άλλες χώρες και έτσι οι κινητήρες αυτοί έγιναν πολύ δημοφιλείς. Το 1936 η

Mercedes-Benz άρχισε την παραγωγή ενός μικρού σχετικά, για τα τότε δεδομένα, επιβατηγού πετρελαιοκίνητου οχήματος.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η βενζίνη ήταν πολύ ακριβή σε όλες τις χώρες εκτός από τις Η.Π.Α. και έτσι η Ευρώπη και η Ιαπωνία ωθήθηκαν στην κατασκευή μικρών πετρελαιοκινήτων για τα μικρά επιβατηγά οχήματα αλλά και τα ελαφρά φορτηγά. Οι Η.Π.Α. προηγήθηκαν στην κατασκευή μεγάλων κινητήρων για μεγάλα φορτηγά.

Στις επόμενες δεκαετίες, η πρόοδος στο τομέα των πετρελαιοκινήτων ήταν σημαντική αλλά πάντοτε η προτεραιότητα των μηχανικών, στον τομέα των επιβατηγών αυτοκινήτων, ήταν οι βενζινοκινήτρες. Το ενδιαφέρον για τους πετρελαιοκινήτρες αναζωπυρώθηκε την δεκαετία του 1970 σε μια περίοδο που θεσπίστηκε ο EPA (Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος) και όταν το εμπάργκο του πετρελαίου από τα αραβικά κράτη (1973) αύξησε σημαντικά τις τιμές της βενζίνης. Η μειωμένη κατανάλωση των πετρελαιοκινήτων ήταν μια λύση η οποία όμως και πάλι επέστρεψε στο παρασκήνιο μιας και η ενεργειακή κρίση ξεπεράστηκε σύντομα.

Αξίζει να σημειωθεί, πως εκείνη τη περίοδο, για πρώτη φορά μια αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία αποφάσισε να ασχοληθεί σοβαρά με τους πετρελαιοκινήτρες. Αυτή δεν ήταν άλλη από την GM αλλά η προσπάθεια των μηχανικών της ήταν απογοητευτική καθώς, σε αντίθεση με τους ευρωπαίους, δεν διέθεταν την κατάλληλη τεχνογνωσία ώστε τα μπλοκ και οι κυλινδροκεφαλές των μοτέρ να ραγίζουν μετά από μόλις μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα (η σχέση συμπίεσης στους Diesel είναι σχεδόν η διπλάσια από αυτήν στους Otto). Το 1985 η GM αποφάσισε να τερματίσει την παραγωγή Diesel εκδόσεων και αναζήτησε λύση στους ευρωπαίους κατασκευαστές όπως η Fiat, Opel κ.α. Επειδή λοιπόν το κόστος εξέλιξης είναι σημαντικά μεγάλο, αρκετές εταιρίες που πρωταγωνιστούν στην ευρωπαϊκή αγορά είτε προμηθεύονται κινητήρες Diesel από άλλες ευρωπαϊκής (π.χ. η συνεργασία της Toyota με τον όμιλο PSA) είτε τους δανείζονται από συγγενείς εταιρίες που ανήκουν στον ίδιο όμιλο.

Ο πετρελαιοκινήτρας είναι ένας κινητήρας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές λόγω της μεγάλης κλίμακας ιπποδυνάμεων που μπορεί να καλύψει. Αρχίζοντας από τις πολύ μικρές ιπποδυνάμεις μέχρι τις πολύ μεγάλες των 50.000 ίππων. Έτσι, ο πετρελαιοκινήτρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ μεγάλα πλοία, γεννήτριες, κατασκευαστικά μηχανήματα, αγροτικό εξοπλισμό, μεγάλα και μικρά φορτηγά και επιβατηγά αυτοκίνητα. Οι πετρελαιοκινήτρες έχουν πλήρη υπεροχή σε εφαρμογές, όπως μεγάλα φορτηγά, μεσαίας κατηγορίας φορτηγά και σε μια μεγάλη ποικιλία γεωργικών και κατασκευαστικών μηχανημάτων.

Σύμφωνα με έρευνες τα τελευταία τρία χρόνια περίπου το 50% των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στην Ευρώπη έχουν κινητήρα Diesel. Αυτό δείχνει ότι οι σύγχρονοι κινητήρες Diesel προτιμώνται για τα θετικά τους χαρακτηριστικά όπως η χαμηλή κατανάλωση και η αποδεκτή πλέον ισχύς τους.

Οι σύγχρονοι κινητήρες Diesel έχουν βελτιωθεί στον ψεκασμό, στην πίεση του αέρα τροφοδοσίας με χρήση turbo με αποτέλεσμα να έχουν πετύχει υψηλές τιμές ισχύος με χαμηλό κυβισμό. Όσον αφορά τη χαμηλή κατανάλωση καυσίμου των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων αξίζει να αναφερθεί ένα παράδειγμα. Το πετρελαιοκίνητο Golf TDI με 1600 cc, 105 PS έχει μέση κατανάλωση 4.5 lt/100km ενώ το βενζινοκίνητο NEW BEETLE επίσης της VW με 1600 cc, 102 PS έχει μέση κατανάλωση 7.5 lt/100km.

## 1.2. ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΩΝ DIESEL

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι σταθμοί στην εξέλιξη των πετρελαιοκινητήρων.

1892: Ο Rudolph Diesel καταθέτει την πατέντα που αφορούσε μία «λειτουργική μέθοδο και σχεδίαση για κινητήρες καύσης». Σύμφωνα με τους κριτικούς-μηχανικούς, αυτή η πατέντα είχε να κάνει περισσότερο με το θερμοδυναμικό κύκλο του Nicolas Carnot παρά με τον κινητήρα που σχεδίασε αργότερα.

1893: Κατασκευή του πρώτου κινητήρα Diesel.



**Εικόνα 1.2:** Το μοντέλο 260 D της Mercedes-Benz.

1905: Υπερσυμπιεστής καυσαερίων. Ο Alfred Büchi, ένας μηχανικός από το Winterthur της Ελβετίας, πατεντάρει τη «χρήση υπολειπόμενης ενέργειας καυσαερίων».

1912: Η εταιρία σιδηροδρόμων Prussian-Hessian εγκαινιάζει τη λειτουργία της πρώτης ντιζελάμαξας.

1919: Ο Prosper L'Orange πατεντάρει την Αρχή του Προ-Θαλάμου.

1924: Το πρώτο πετρελαιοκίνητο φορτηγό από τις Mercedes και MAN παρουσιάζεται στο Σαλόνι Επαγγελματικού Αυτοκινήτου IAA.

1927: Η Bosch ξεκινά την κατασκευή σε γραμμή παραγωγής των αντλιών ψεκασμού Diesel.

1928: Ένας πετρελαιοκινητήρας χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε αυτοκίνητο, ένα μοντέλο προ-παραγωγής του Peugeot 402.

1936: Η Mercedes-Benz παρουσιάζει το πρώτο της αυτοκίνητο παραγωγής με πετρελαιοκινητήρα σε γραμμή συναρμολόγησης, το 260 D.

1962: Πρώτη περιστροφική αντλία διανομής πετρελαίου.

1968: Ο μικρότερος πετρελαιοκινητήρας της εποχής με κυβισμό 1,3 λίτρων κάνει το ντεμπούτο του στο Peugeot 204.

1972: Την 1η Ιουνίου, ένα τροποποιημένο Opel GT με turbodiesel 2,1-λίτρων και 95 HP σημειώνει παγκόσμιο ρεκόρ για τους πετρελαιοκινητήρες και αγγίζει την τελική ταχύτητα των 197,5 km/h.

1972: Το πρώτο πετρελαιοκίνητο όχημα της GM: Opel Rekord 2,1 D.

1976: Η VW χρησιμοποιεί τον πρώτο της κινητήρα Diesel στο GOLF όπου καθιερώνεται το πρώτο πετρελαιοκίνητο σε 'hatchback' αμάξωμα στην ιστορία της αυτοκινητοβιομηχανίας.

1977: Ο πρώτος κινητήρας Diesel άμεσου ψεκασμού της Mercedes (Mercedes-Benz 300SD)

1986: Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού (Bosch EDC).

1988: Άμεσος ψεκασμός σε Diesel (Fiat Croma).

1989: Υπερτροφοδοτούμενος Diesel άμεσου ψεκασμού (Volkswagen).

1994: Εμφάνιση για πρώτη φορά του συστήματος EUI (Electronic Unit Injector) ηλεκτρονικής διαχείρισης μπεκ ψεκασμού υψηλής πίεσης



**Εικόνα 1.3:** Unit Injector της Bosch

1996: Η GM παρουσιάζει τον πρώτο turbo Diesel κινητήρα στον κόσμο με άμεσο ψεκασμό και τέσσερις βαλβίδες ανά κύλινδρο (Opel Vectra B).

1997: Σύστημα ψεκασμού υψηλής πίεσης Common Rail (Magneti Marelli).  
1998: Η πρώτη νίκη αγωνιστικού οχήματος με Diesel κινητήρα στον 24ωρο αγώνα στη γερμανική αγωνιστική πίστα του Nürburgring (BMW 320d).  
2000: Αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο πετρελαίου (Peugeot 607).  
2001: Πιεζοηλεκτρικό μπεκ ψεκασμού(Siemens).  
2002: Το Opel Astra 1,7 CDTI είναι το πρώτο όχημα Diesel που πληροί τις προδιαγραφές εκπομπών ρύπων Euro 4.  
2003: Εμφάνιση φίλτρου παρακράτησης NO<sub>x</sub> από τη Honda  
2006: Η πρώτη νίκη ενός σπορ αυτοκινήτου με κινητήρα Diesel στον 24ωρο αγώνα LeMans (Audi).  
2006: Το πρωτότυπο αυτοκίνητο με κινητήρα Diesel προτείνεται από τη Chevrolet για τη συμμετοχή σε αγώνες αυτοκινήτου WTCC στο Παρίσι.  
2009: Ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας με σύστημα ηλεκτρονικής διαχείρισης κλειστού βρόγχου αρχίζει να παράγεται στη GM.

## **2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ**

### **2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ**

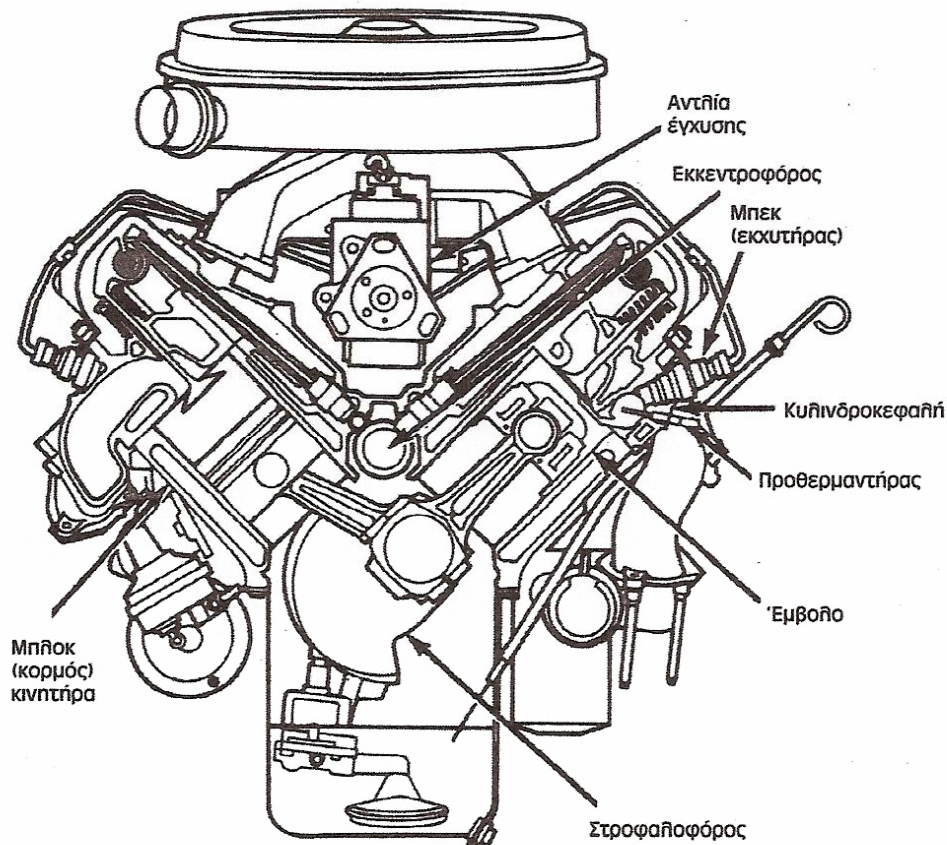
Τα σημαντικότερα εξαρτήματα που απαιτούνται για να εκτελεστεί η διαδικασία καύσης σε ένα τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα είναι το μπλοκ του κινητήρα (κορμός), η κυλινδροκεφαλή, τα έμβολα, τα ελατήρια, ο στροφαλοφόρος άξονας, οι διωστήρες, η κινηματική αλυσίδα των βαλβίδων και το βολάν (σφόνδυλος). Τα εξαρτήματα αυτά φαίνονται στο σχήμα 2.1. Ο κορμός είναι η βάση πάνω στην οποία συναρμολογούνται όλα αυτά τα εξαρτήματα καθώς και άλλα τα οποία στηρίζονται πάνω σε αυτόν, όπως για παράδειγμα η αντλία καυσίμου. Ο κορμός παρέχει επίσης το βασικό σχήμα των κυλίνδρων. Στην κορυφή των κυλίνδρων βρίσκεται η κυλινδροκεφαλή η οποία βιδώνεται πάνω στον κορμό. Η κυλινδροκεφαλή περιλαμβάνει πάνω της τις βαλβίδες εισαγωγής, εξαγωγής, τα μπεκ, τους προθερμαντήρες και σε μερικούς κινητήρες τον εκκεντροφόρο.

Το έμβολο (πιστόνι) είναι το μόνο εξάρτημα στο σχεδιασμό του χώρου καύσεως που μόλις εμφανίζεται η καύση απομακρύνεται από το χώρο αυτό. Καθώς το έμβολο παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, πρέπει να παρέχει πολύ καλή στεγανότητα προκειμένου να αποφεύγονται οι διαρροές (αέρα-καυσίμου-καυσαερίου). Πρέπει όμως και οι τριβές να μην είναι πολύ μεγάλες.

Το έμβολο είναι συνδεδεμένο μέσω ενός πύρου με τη μία πλευρά του διωστήρα (μπιέλα), η άλλη πλευρά του διωστήρα συνδέεται στο στροφαλοφόρο. Με τη συναρμολόγηση αυτή είναι δυνατή η μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου σε περιστροφική στο στροφαλοφόρο. Στο άκρο του στροφαλοφόρου βρίσκεται εγκατεστημένος ο σφόνδυλος (βολάν). Αυτός είναι ένας βαρύς μεταλλικός δίσκος καλά ζυγοσταθμισμένος ο οποίος αποθηκεύει μηχανική ενέργεια στην εκτόνωση των αερίων (ενεργητικός χρόνος) και τη διαθέτει στους υπόλοιπους χρόνους που χαρακτηρίζονται σαν παθητικοί. Το βολάν είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του κινητήρα αφού δίνει μηχανική ενέργεια στον κινητήρα όταν αυτός δεν παράγει.

Η κινηματική αλυσίδα των βαλβίδων ή μηχανισμός κίνησης αυτών ανοίγει και κλείνει τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής την κατάλληλη χρονική στιγμή, επιτρέποντας έτσι να εισέλθει ο φρέσκος αέρας στον κύλινδρο και να εξέλθουν από αυτόν τα καυσαέρια.





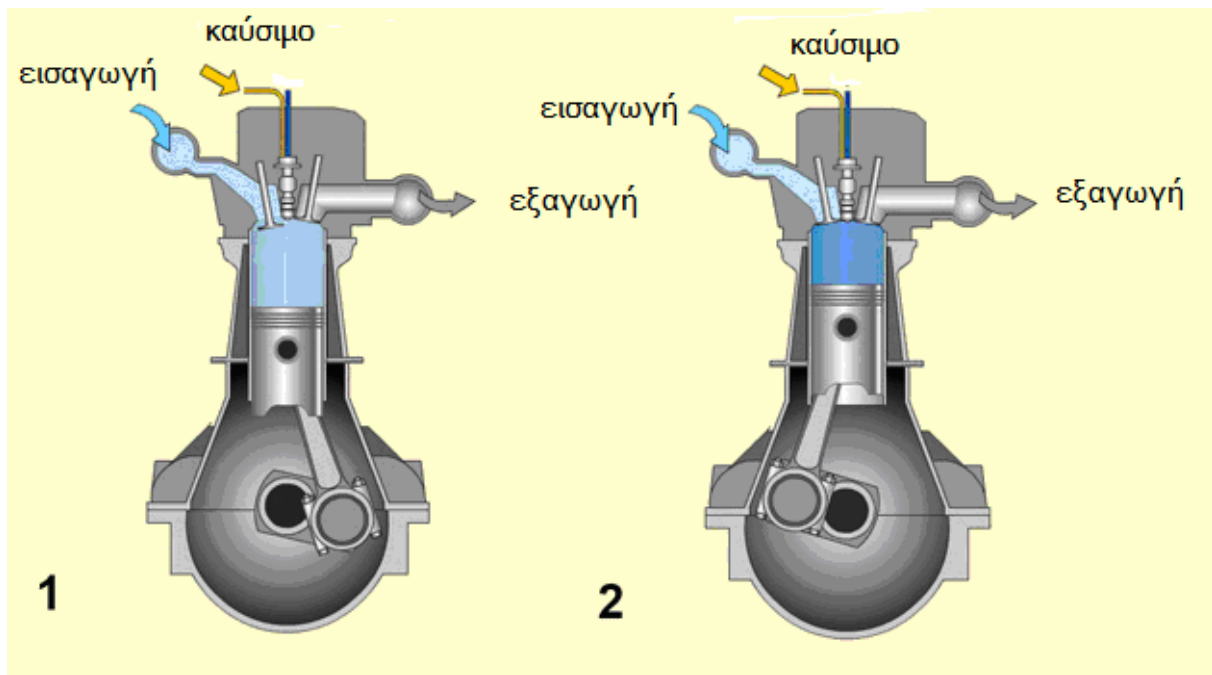
**Σχήμα 2.1:** Τα σημαντικότερα εξαρτήματα του πετρελαιοκινητήρα που συμμετέχουν στη διαδικασία της καύσης.

## 2.2 Οι ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΧΡΟΝΟΙ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ DIESEL

Κάθε χρόνος χαρακτηρίζεται σαν η κίνηση του εμβόλου από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) μέχρι το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) και το αντίστροφο. Τα σημεία αυτά είναι το πιο πάνω και το πιο κάτω που μπορεί να φτάσει το έμβολο. Οι τέσσερις χρόνοι με τη σειρά που εκτελούνται σε έναν κύκλο Diesel είναι:

1. εισαγωγή
2. συμπίεση
3. καύση-εκτόνωση
4. εξαγωγή καυσαερίων

Παρακάτω περιγράφονται πιο αναλυτικά οι διεργασίες που συμβαίνουν σε κάθε έναν από τους τέσσερις χρόνους:



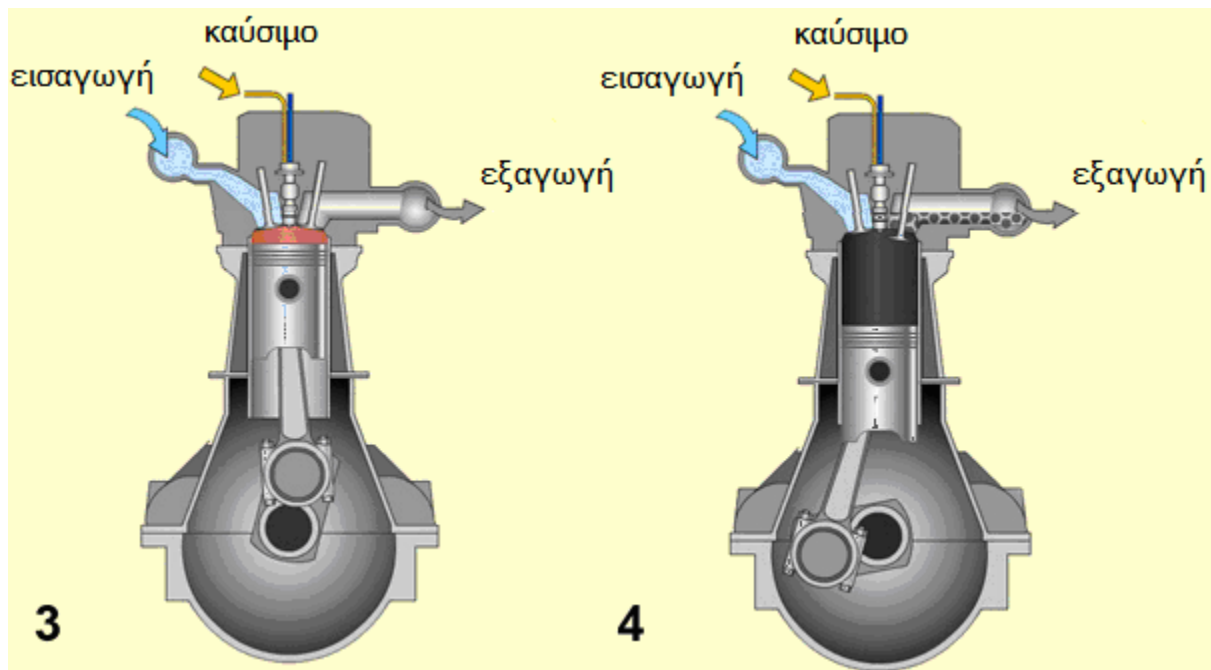
**Σχήμα 2.2:** Χρόνος εισαγωγής (1) και χρόνος συμπίεσης (2).

### 1) Χρόνος Εισαγωγής

Ξεκινώντας με το έμβολο στο ΑΝΣ αρχίζει η φάση εισαγωγής του αέρα. Καθώς το έμβολο κατεβαίνει προς το ΚΝΣ αναρροφά τον αέρα εισαγωγής με τη βοήθεια της υποπίεσης που δημιουργείται από την καθοδική κίνηση του εμβόλου. Η κίνηση αυτή του εμβόλου γίνεται από το στροφαλοφόρο και το διωστήρα με τη μηχανική ενέργεια που τους παρέχει το βολάν. Ο φρέσκος αέρας περνάει από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής. Ο πετρελαιοκινητήρας αναρροφά πολύ περισσότερο αέρα από το βενζινοκινητήρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να περιέχει και καυσαέρια αν υπάρχει σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων.

### 2) Χρόνος Συμπίεσης

Μετά το ΚΝΣ το έμβολο κινείται προς τα πάνω καθώς ο στροφαλοφόρος άξονας συνεχίζει να περιστρέφεται. Ο εκκεντροφόρος κλείνει τη βαλβίδα εισαγωγής για να υπάρξει απόλυτη στεγανοποίηση στον κύλινδρο και για να παγιδευτεί ο αέρας που έχει εισέλθει, προκειμένου να συμπιεστεί και να αυξηθεί πολύ η θερμοκρασία του ( $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Μόλις πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, το μπεκ αρχίζει να ψεκάζει το πετρέλαιο μέσα στο συμπιεσμένο αέρα.



**Σχήμα 2.3:** Χρόνος εκτόνωσης (3) και χρόνος εξαγωγής (4).

### 3) Χρόνος Εκτόνωσης

Το καύσιμο ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο όπου υπάρχει θερμός συμπιεσμένος αέρας με τον οποίο αναμειγνύεται και αρχίζει η καύση του μείγματος που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης μέσα στον κύλινδρο. Έτσι τα αέρια που παράγονται από την καύση εκτονώνονται και ωθούν το έμβολο με δύναμη προς τα κάτω. Το έργο που παράγεται χρησιμοποιείται για την κίνηση των εξαρτημάτων του κινητήρα και κατά συνέπεια για την κίνηση του οχήματος. Η υψηλή πίεση ωθεί το έμβολο προς τα κάτω. Καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ αυξάνεται ο όγκος πάνω από αυτό. Αυτό προκαλεί την πτώση της αρχικά μεγάλης πίεσης που δημιουργήθηκε με την καύση. Μαζί με την πίεση μειώνεται και η θερμοκρασία.

### 4) Χρόνος Εξαγωγής

Στο χρόνο εξαγωγής απομακρύνονται τα καυσαέρια από το εσωτερικό του κυλίνδρου προς την ατμόσφαιρα. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ σπρώχνει τα καυσαέρια από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής μέσα στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων (εξάτμιση) και από εκεί εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Μετά την εξαγωγή των καυσαερίων και αφού το έμβολο έχει φτάσει στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει.

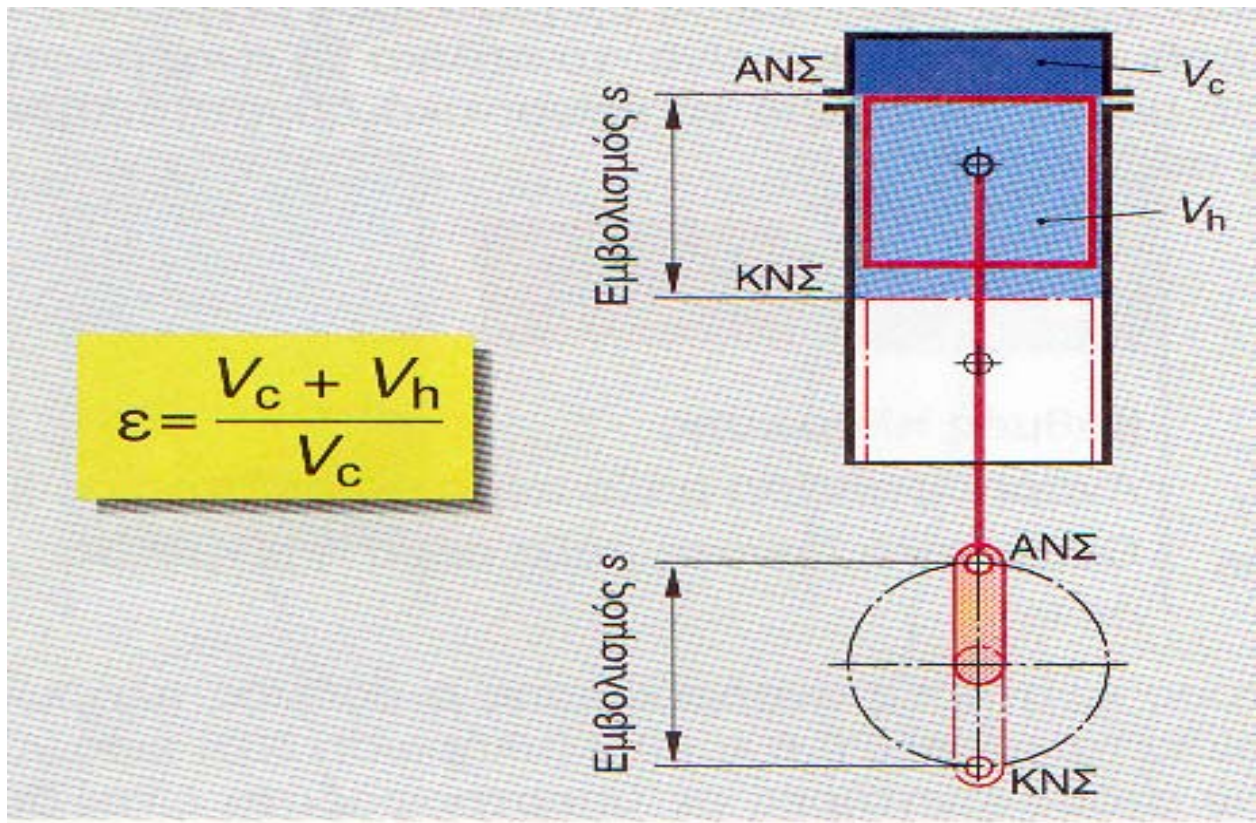
Να σημειωθεί ότι το βολάν παρέχει την απαραίτητη μηχανική ενέργεια για να διατηρηθεί ο κινητήρας σε λειτουργία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το βολάν αποθηκεύει ενέργεια κατά τη φάση της εκτόνωσης και τη διαθέτει στους άλλους τρεις χρόνους.

Στις μηχανές Diesel Η διεργασία του ψεκασμού του καυσίμου αρχίζει όταν το έμβολο πλησιάζει προς το ΑΝΣ και συνεχίζεται κατά τη διάρκεια του πρώτου τμήματος της διαδρομής ισχύος. Επομένως, στις μηχανές αυτές η διεργασία της καύσης διαρκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ο λόγος συμπίεσης  $\varepsilon$  ορίζεται ως ο λόγος του μέγιστου προς τον ελάχιστο όγκο:

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (2.1)$$

και ο λόγος αποκοπής  $r_c$  (cutoff ratio) ορίζεται ως ο λόγος των όγκων του κυλίνδρου πριν και μετά τη διεργασία της καύσης



**Σχήμα 2.4:** Λόγος συμπίεσης

Η θερμική απόδοση του κύκλου Diesel είναι μικρότερη από αυτήν του κύκλου Otto όταν οι δύο κύκλοι λειτουργούν με τον ίδιο λόγο συμπίεσης. Επιπλέον καθώς μειώνεται ο λόγος αποκοπής, η απόδοση του κύκλου Diesel αυξάνεται (σχ. 2.4). Στην οριακή περίπτωση όπου  $r_c = 1$  οι αποδόσεις των κύκλων Diesel και Otto εξισώνονται. Παρόλα αυτά οι μηχανές Diesel λειτουργούν με αρκετά μεγαλύτερους λόγους συμπίεσης και συνεπώς έχουν

μεγαλύτερες αποδόσεις από τους βενζινοκινητήρες. Επίσης, οι μηχανές Diesel καίνε πληρέστερα μικρότερη ποσότητα καυσίμου, εφόσον λειτουργούν συνήθως με λιγότερες στροφές στο λεπτό από τις μηχανές Otto. Οι θερμικές αποδόσεις των μηχανών Diesel κυμαίνονται από 35% έως 40%

## 3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ

### 3.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ DIESEL

Το πετρέλαιο κατατάσσεται σε διαφορετικές κατηγορίες-ποιότητες οι οποίες βασίζονται στο ιξώδες του και στο σημείο ανάφλεξης αυτού. Το πετρέλαιο Diesel που χρησιμοποιείται στις μηχανές εσωτερικής καύσης χωρίζεται με τη σειρά του σε δύο υποκατηγορίες:

1. Αυτό που προορίζεται για τις υψηλόστροφες μηχανές που χρησιμοποιούνται κυρίως στα οχήματα.
2. Αυτό που προορίζεται για χαμηλόστροφες «σταθερές» μηχανές που χρησιμοποιούνται στα πλοία ή στην ηλεκτροπαραγωγή.

Το πρώτο έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις ποιότητας, είναι μείγμα υδρογονανθράκων που έχουν από 14 έως 20 άτομα άνθρακα στο μόριό τους και σημεία ζέσεως από 260 °C έως 340 °C. Το δεύτερο είναι μείγμα βαρύτερων υδρογονανθράκων που έχουν από 20 έως 70 άτομα άνθρακα στο μόριό τους και σημεία ζέσεως πάνω από 330 °C. Το πετρέλαιο Diesel που κυκλοφορεί στην Ελλάδα ανήκει στην πρώτη κατηγορία.

Το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης Diesel πρέπει να έχει ιδιότητες που να εξασφαλίζουν αυτανάφλεξη του καυσίμου στις συνθήκες του θαλάμου καύσης, ομαλή καύση και ασφαλή, χωρίς προβλήματα, διακίνηση του καυσίμου από το διωλιστήριο όπου παράγεται μέχρι το ακροφύσιο (μπεκ) της μηχανής. Ακόμη, το καύσιμο πρέπει να μην σχηματίζει κομμιώδεις ουσίες, να μην προσβάλλει τα μέταλλα με τα οποία έρχεται σε επαφή και να μην ρυπαίνει με καυσαέρια το περιβάλλον.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι σημαντικότερες ιδιότητες του πετρελαίου εσωτερικής καύσης:

#### 3.1.1 Θερμογόνος Δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη είναι μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες ενός καυσίμου και εκφράζει τη θερμότητα που παράγεται κατά την καύση συγκεκριμένης ποσότητας του καυσίμου. Η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου Diesel είναι περίπου  $9800 \text{ Kcal/lit}$  μεγαλύτερη της θερμογόνου δύναμης της βενζίνης που είναι  $8300 \text{ Kcal/lit}$ .

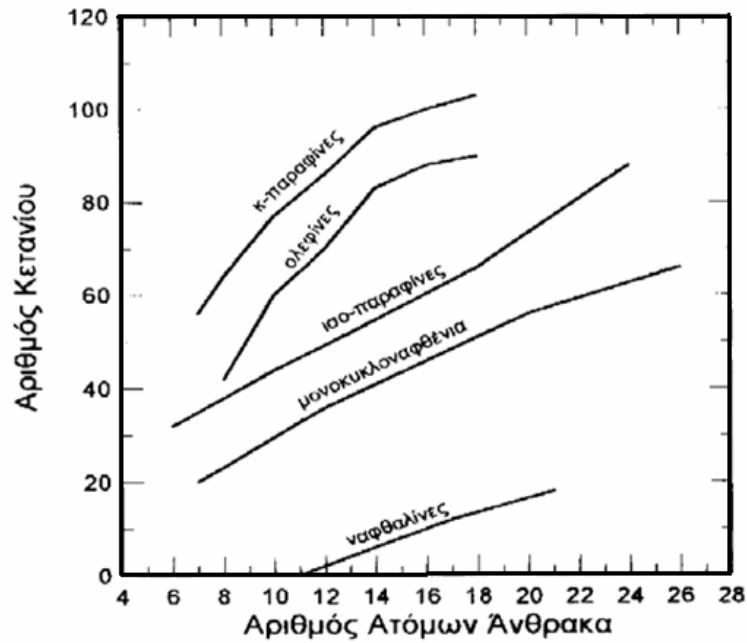
### 3.1.2 Αριθμός Κετανίου (ή Αριθμός Σετανίου)

Η ικανότητα ανάφλεξης του πετρελαίου μετριέται με μία κλίμακα που ονομάζεται βαθμός ή αριθμός κετανίου (CN). Για να χαρακτηριστεί ένα καύσιμο (πετρέλαιο) με συγκεκριμένο αριθμό κετανίου θα πρέπει να συγκριθεί με το κετάνιο (ή αλλιώς n-δεκαεξάνιο,  $C_{16}H_{34}$ ) το οποίο είναι ένας υδρογονάνθρακας που έχει εξαιρετική ικανότητα ανάφλεξης. Το κετάνιο στην κλίμακα αυτή βαθμονομείται με το 100 ενώ η α-μεθυλοναφθαλίνη ( $C_{10}H_7CH_3$ ) η οποία δεν έχει σοβαρή ικανότητα ανάφλεξης και βαθμονομείται με το 0. Έτσι, το πετρέλαιο που παρουσιάζει την ίδια ικανότητα ανάφλεξης με ένα μείγμα 45% κετανίου και 55% α-μεθυλοναφθαλίνης έχει αριθμό κετανίου 45.

Οι Ελληνικές προδιαγραφές ορίζουν αριθμό κετανίου 51, που εξασφαλίζει πολύ ικανοποιητική καύση και μάλιστα μπορεί να θεωρηθεί μεγάλος αν συγκριθεί με τις αντίστοιχες προδιαγραφές άλλων χωρών που ορίζουν π.χ. στις Η.Π.Α. και στον Καναδά 40 και στη Γερμανία και στην Ιαπωνία 45. Σε μερικές χώρες ο αριθμός κετανίου αυξομειώνεται ανάλογα την εποχή αφού καθώς αυξάνεται ο αριθμός κετανίου του πετρελαίου αυξάνεται και η θερμοκρασία που απαιτείται για την ανάφλεξή του.

Η βελτίωση του αριθμού κετανίου γίνεται με υδρογονοκατεργασία που αποσκοπεί στη μεταβολή της σύστασης του καυσίμου, ή με την προσθήκη βελτιωτικών του αριθμού κετανίου. Οι κυριότερες κατηγορίες ενώσεων που χρησιμοποιούνται σαν βελτιωτικά είναι νιτρικοί αλκυλεστέρες και νιτρικοί αιθέρες. Ο αριθμός κετανίου διαφόρων κατηγοριών υδρογονανθράκων συναρτήσει του αριθμού ατόμων άνθρακα του μορίου δίνεται στο σχήμα 3.1.

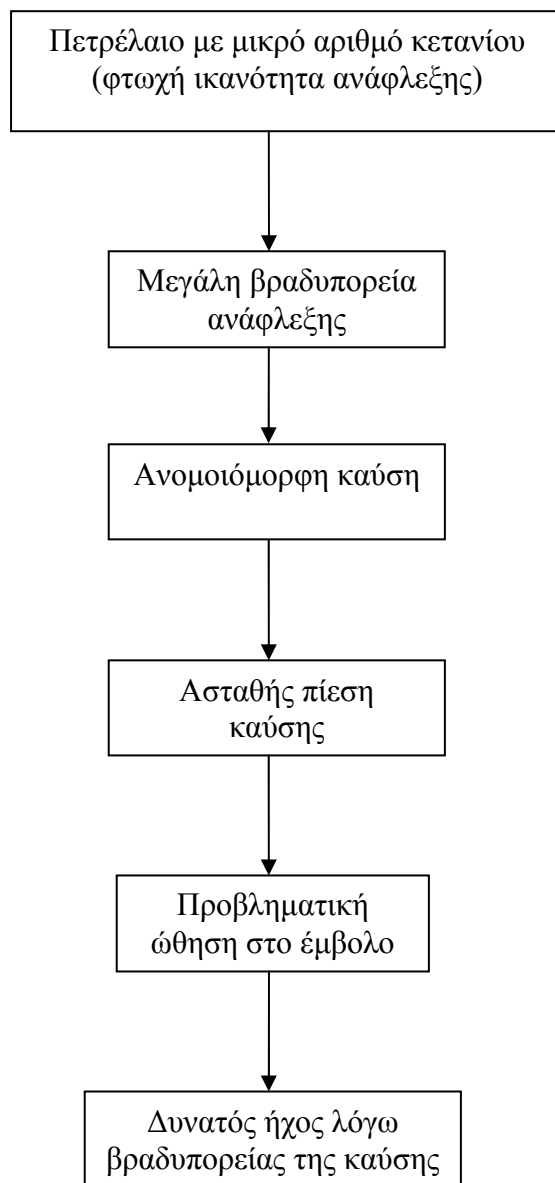
Πάντως, η τάση στο μέλλον θα είναι για μείωση του αριθμού κετανίου στα απολύτως απαραίτητα όρια γιατί με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πιο γρήγορη παραγωγή πετρελαίου. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος καθυστέρησης (υστέρησης) της ανάφλεξης του πετρελαίου από τη στιγμή που θα εισέλθει μέσα στο θάλαμο καύσεως μέχρι τη στιγμή που θα αρχίσει να αναφλέγεται.



**Σχήμα 3.1:** Ο αριθμός κετανίου διαφόρων κατηγοριών υδρογονανθράκων ως συνάρτηση του αριθμού ατόμων άνθρακα.

Η ικανότητα ανάφλεξης της βενζίνης μετρείται με τον αριθμό οκτανίου, ο οποίος δείχνει την αντίσταση μιας βενζίνης στην αυτανάφλεξη (αντικροτική ιδιότητα). Ο βαθμός κετανίου του πετρελαίου είναι ακριβώς αντίθετος από τον αριθμό οκτανίου που χαρακτηρίζει τη βενζίνη. Η χρήση πετρελαίου με χαμηλό αριθμό κετανίου μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα κακή απόδοση του κινητήρα και υψηλή στάθμη θορύβου. Τα αποτελέσματα της χρήσης πετρελαίου με μικρό αριθμό κετανίου φαίνονται στο σχήμα 3.2.





**Σχήμα 3.2:** Οι επιδράσεις της χρήσης πετρελαίου με χαμηλό αριθμό κετανίου.

### 3.1.3 Ειδικό Βάρος

Το ειδικό βάρος του πετρελαίου είναι μικρότερο από αυτό του νερού αλλά μεγαλύτερο από το ειδικό βάρος της βενζίνης. Το σχετικό (ως προς το νερό) ειδικό βάρος του πετρελαίου κυμαίνεται από 0.80 έως 0.87. Η πιο συνηθισμένη τιμή για το σχετικό ειδικό βάρος του πετρελαίου είναι 0.85, που αντιστοιχεί σε πυκνότητα  $0.85 \frac{kg}{lt}$ . Το ειδικό βάρος του πετρελαίου είναι

σημαντικός παράγοντας για τη λειτουργία του κινητήρα αφού το πετρέλαιο είναι αρκετά βαρύ ώστε να έχει καλή διεισδυτικότητα μέσα στο θάλαμο καύσεως. Αν το ειδικό βάρος είναι πολύ μικρό, όλο το καύσιμο αναφλέγεται αμέσως μόλις εισέλθει στο θάλαμο καύσεως. Αυτό σημαίνει ότι όλη η ενέργεια αποδεσμεύεται σε πολύ μικρή περιοχή και οι δυνάμεις πάνω στην κεφαλή του εμβόλου δεν αναπτύσσονται ομοιόμορφα. Σαν αποτέλεσμα παρουσιάζεται μειωμένη απόδοση, αυξημένος θόρυβος και ζημιά στα εξαρτήματα που συνεργάζονται με το έμβολο.

### **3.1.4 Σημείο Εμφάνισης Κρυστάλλων Παραφίνης (Παραφινοποίηση)**

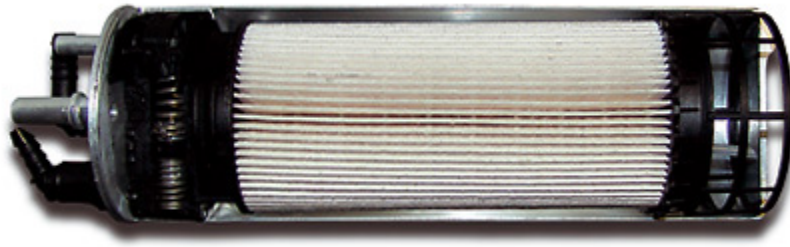
Η θερμοκρασία επηρεάζει το πετρέλαιο περισσότερο από τη βενζίνη επειδή αυτό περιέχει παραφινικά συστατικά. Με τον όρο παραφίνη χαρακτηρίζονται οι κορεσμένοι (παραφινικοί) υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους, κρυσταλλικής μορφής και λευκού χρώματος που είναι σε στερεή κατάσταση στη συνήθη θερμοκρασία περιβάλλοντος και μοιάζουν με κερί.

Με την πτώση της θερμοκρασίας κάτω από κάποια τιμή, που ονομάζεται σημείο εμφάνισης κρυστάλλων παραφίνης, αρχίζουν να σχηματίζονται κρύσταλλοι στο καύσιμο. Όσο καθαρότερο είναι το πετρέλαιο τόσο χαμηλότερο είναι το σημείο εμφάνισης κρυστάλλων παραφίνης. Η παρουσία των κρυστάλλων παραφίνης δυσκολεύει τη ροή του πετρελαίου μέσα από τις σωληνώσεις και το φίλτρο. Για το πετρέλαιο Diesel το σημείο εμφάνισης κρυστάλλων παραφίνης είναι κάτω από 5.5 °C και φθάνει τους -22 °C για το λεγόμενο χειμερινό Diesel. Το χειμερινό Diesel είναι το πετρέλαιο στο οποίο έχουν προστεθεί ειδικές ουσίες με σκοπό τη μείωση του σημείου εμφάνισης κρυστάλλων παραφίνης και πωλείται από ορισμένες εταιρείες πετρελαιοειδών κατά τη χειμερινή περίοδο.

Για να αποτρέπεται ο σχηματισμός κρυστάλλων παραφίνης στους πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί προθερμαντήρες που είναι εγκατεστημένοι μεταξύ του ρεζερβουάρ και της αντλίας έγχυσης. Αυτό έχει σαν σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του καυσίμου όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να αποτρέπεται ο σχηματισμός κρυστάλλων παραφίνης, που έχει σαν αποτέλεσμα το φράξιμο του φίλτρου, όταν ο κινητήρας τίθεται αρχικά σε λειτουργία. Ο προθερμαντήρας μπορεί να είναι ενσωματωμένος και στο φίλτρο καυσίμου. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του θερμαντήρα αυξάνεται και η ηλεκτρική αντίσταση αυτού, έτσι περιορίζεται η ροή του ρεύματος και το μέγιστο της θερμοκρασίας. Ο τύπος αυτός του θερμαντήρα ονομάζεται θερμαντήρας θετικής θερμοκρασίας.

Εκτός από τους ηλεκτρικούς θερμαντήρες υπάρχουν και οι θερμαντήρες τύπου εναλλάκτη οι οποίοι χρησιμοποιούν τη θερμότητα του νερού ψύξης για την προθέρμανση του καυσίμου. Αυτή η μέθοδος της προθέρμανσης του

καυσίμου έχει το μειονέκτημα ότι για την προθέρμανση του καυσίμου πρέπει ήδη ο κινητήρας να βρίσκεται στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας.



**Εικόνα 3.1:** Φίλτρο καυσίμου με ενσωματωμένο σύστημα προθέρμανσης

Τελευταία, οι θερμαντήρες καυσίμου λειτουργούν και με τους δύο αυτούς τρόπους προθέρμανσης. Χρησιμοποιούν για τη θέρμανσή τους το ηλεκτρικό ρεύμα και όταν ο κινητήρας ζεσταθεί, τότε αξιοποιούν τη θερμότητα του συστήματος ψύξεως του κινητήρα. Η θερμοκρασία προθέρμανσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 32 °C. Μόλις το καύσιμο υπερβεί τη θερμοκρασία αυτή ελαττώνονται οι λιπαντικές του ιδιότητες.

### 3.1.5 Ιξώδες

Το πετρέλαιο με υψηλό ιξώδες παράγει μεγάλα σταγονίδια τα οποία είναι δύσκολο να αναφλεγούν και να καούν. Το υψηλό ιξώδες προκαλεί υπερβολική αύξηση της πίεσης στο σύστημα τροφοδοσίας, αλλά και δίνει καυσαέρια με μεγάλο ποσοστό καπνού. Αντίθετα, το πετρέλαιο με χαμηλό ιξώδες παράγει πολύ λεπτά σταγονίδια κατά τον ψεκασμό με αποτέλεσμα να αναφλέγεται και να καίγεται με μεγαλύτερη ευκολία. Επίσης, αν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό δημιουργείται πολύ καλή ψύξη και λίπανση της αντλίας εγχύσεως και των μπεκ. Το κινηματικό ιξώδες του πετρελαίου Diesel κυμαίνεται από 2 έως 4.5 mm<sup>2</sup>/s στους 40°C.

### 3.1.6 Περιεκτικότητα σε Θείο

Τα καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο εκτός της εκπομπής επικίνδυνων για το περιβάλλον ρύπων μειώνουν τη διάρκεια ζωής του κινητήρα. Η αιτία είναι ότι το θείο διαβρώνει τον κινητήρα αφού με την παρουσία υδρατμών σχηματίζεται θειικό οξύ. Οι Ελληνικές προδιαγραφές ορίζουν περιεκτικότητα θείου στο πετρέλαιο Diesel 0.001% κατά βάρος (10 ppm). Προς το παρόν δεν υπάρχει σκέψη εξάλειψης του θείου από το πετρέλαιο αφού η

λιπαντικότητα που παρέχει στα μέρη από όπου διέρχεται (σύστημα τροφοδοσίας) είναι σημαντική για τη λειτουργία του κινητήρα. Σε μερικές περιπτώσεις συνιστάται η χρήση προσθέτων τα οποία αυξάνουν τη λιπαντικότητα του πετρελαίου.

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου απ' το οποίο προήλθε. Η μείωση της περιεκτικότητας σε θείο γίνεται με κατεργασία του καυσίμου σε μονάδες υδρογονοαποθείωσης οι οποίες πρέπει συνεχώς να προσπαθούν να επιτύχουν υψηλότερους βαθμούς μετατροπής για να μπορούν να πετυχαίνουν τα όλο και πιο αυστηρά όρια των προδιαγραφών που τίθενται. Τα καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο μέχρι και 10 ppm μερικές φορές αναφέρονται και ως «αποθειωμένα» καύσιμα

### **3.1.7 Διαβρωτικότητα**

Ένα από τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα καύσιμο ντίζελ είναι η εξασφάλιση ότι δε θα προσβάλλει τα μέταλλα με τα οποία θα έρχεται σε επαφή στο σύστημα αποθήκευσης διανομής και τροφοδοσίας στον κινητήρα. Ο χαλκός και τα κράματα του είναι ευπρόσβλητα από συγκεκριμένες ενώσεις θείου που έχουν διαβρωτικό χαρακτήρα.

### **3.1.8 Περιεκτικότητα σε Νερό**

Οι Ελληνικές προδιαγραφές ορίζουν μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό 0.1% κατ' όγκο. Αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να προκαλέσει:

- Οξειδώσεις στο σύστημα τροφοδοσίας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει επίσης φράξιμο του φίλτρου με μικροσωματίδια οξείδωσης.
- Πάγωμα του συστήματος τροφοδοσίας. Αν υπάρχει σημαντική ποσότητα νερού μέσα στο πετρέλαιο τότε σε χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να σχηματιστεί πάγος μέσα στο πετρέλαιο με αποτέλεσμα το φράξιμο των γραμμών και την εκτεταμένη ζημιά αυτών.
- Ανεπαρκή λίπανση της αντλίας έγχυσης και των μπεκ γιατί το νερό δε διαθέτει καλές λιπαντικές ιδιότητες.
- Ζημιές στους εγχυτήρες και στην αντλία υψηλής πίεσης λόγω της χαμηλής συμπίεστικότητας του νερού σε σχέση με το πετρέλαιο. Ο εξοπλισμός αύξησης της πίεσης του καυσίμου στο σύστημα ψεκασμού είναι κατασκευασμένος να αντλεί πετρέλαιο και στην περίπτωση που εμφανιστεί νερό το οποίο έχει χαμηλή

συμπιεστότητα μπορεί να προκληθεί ζημιά στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.

- Δημιουργία βακτηριδίων μέσα στο πετρέλαιο. Αυτοί οι μικροοργανισμοί σχηματίζουν μια ζελατινοειδή ουσία η οποία είναι κολλώδης και έχει μεγάλο ιξώδες. Η ουσία αυτή όχι μόνο φράζει τις σωληνώσεις και το φίλτρο αλλά επίσης παράγει ένα οξύ αρκετά οξειδωτικό το οποίο προσβάλλει τα εξαρτήματα του συστήματος τροφοδοσίας.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται κατάλληλοι διαχωριστές νερού-καυσίμου (υδατοπαγίδες) οι οποίοι καθαρίζουν το πετρέλαιο από την υγρασία που περιέχει. Αυτοί είναι συνήθως εγκατεστημένοι μεταξύ του φίλτρου και του ρεζερβουάρ. αποτελούνται από ένα κατάλληλο φίλτρο που συγκρατεί το νερό. Το νερό καταλήγει στον πυθμένα του διαχωριστή λόγω βαρύτητας. Ένας κατάλληλος αισθητήρας ανιχνεύει τη στάθμη του νερού και όταν αυτή είναι σε ένα συγκεκριμένο σημείο που έχει προκαθοριστεί από τον κατασκευαστή ανάβει η προειδοποιητική λυχνία ή ηχεί ο προειδοποιητικός ήχος. Τότε απαιτείται συντήρηση του συστήματος, προκειμένου να αποφευχθούν δαπανηρές επισκευές. Η συντήρηση του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου περιλαμβάνει καθαρισμό του συστήματος και τοποθέτηση νέου φίλτρου ή απλά εκκένωση του νερού από το διαχωριστή.



**Εικόνα 3.2:** Υδατοπαγίδα

### 3.1.9 Τέφρα

Η τέφρα παράγεται στο θάλαμο καύσης μετά την καύση. Το πετρέλαιο το οποίο έχει χαμηλή πτητικότητα ή υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα σχηματίζει ευκολότερα τέφρα. Η τέφρα μπορεί να φράξει τα ακροφύσια των μπεκ και να προκαλέσει κόλλημα των ελατηρίων του εμβόλου. Ακόμη, η επικάθιση της τέφρας στα φίλτρα σωματιδίων αιθάλης επηρεάζει την αντοχή και την αξιοπιστία τους. Οι Ελληνικές προδιαγραφές περιορίζουν το επιτρεπόμενο ποσοστό τέφρας σε 0.02% κατά βάρος.

### 3.1.10 Πρόσθετα

Τα πρόσθετα είναι χημικές ουσίες που βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά του καυσίμου Diesel.

Τα πιο γνωστά πρόσθετα είναι:

- Βελτιωτικό ανάφλεξης (Ignition improver). Αυξάνει τον αριθμό κετανίων.
- Επιβραδυντικό Οξειδωσης (Oxidation inhibitor). Βελτιώνει την αντοχή των μετάλλων.
- Αποφυγή δημιουργίας αφρού (Anti-foam). Η δημιουργία φυσαλλιδίων αέρα είναι ανεπιθύμητη κατά τον ανεφοδιασμό του ρεζερβουάρ.
- Αποφυγή δημιουργίας καπνού (Anti-smoke). Πιο ολοκληρωμένη καύση των σωματιδίων του άνθρακα.
- Απορρυπαντικό/ Διαλυτικό (Detergents/ dispersants). Μείωση καταλοίπων στο σύστημα ψεκασμού.

## 3.2 ΛΟΓΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ

Ο λόγος καυσίμου μείγματος,  $\lambda$ , ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της πραγματικής αναλογίας αέρα/καυσίμου προς την αντίστοιχη στοιχειομετρική αναλογία.

$$\lambda = \frac{(A/F)}{(A/F)_s}$$

Η στοιχειομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου είναι περίπου 14.6. Αυτό σημαίνει ότι για την πλήρη καύση 1kg καυσίμου απαιτούνται 14.6kg αέρα. Ο λόγος λάμδα εκφράζει το πόσο πλούσιο ή φτωγό (σε καύσιμο) είναι το μείγμα αέρα-καυσίμου και επηρεάζει σημαντικά το βαθμό απόδοσης της μηχανής αλλά και την εκπομπή ρύπων από αυτήν.

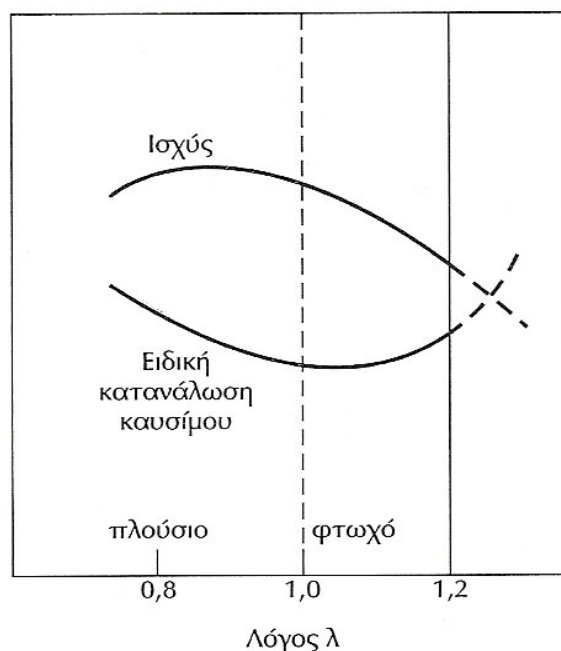
Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

- $\lambda < 1$ : Πλούσιο μείγμα.
- $\lambda = 1$ : Στοιχειομετρικό μείγμα (τέλεια καύση).
- $\lambda > 1$ : Φτωχό μείγμα.

Αν  $\lambda = 1$  τότε ο αέρας είναι όσος χρειάζεται για την πλήρη καύση του καυσίμου.

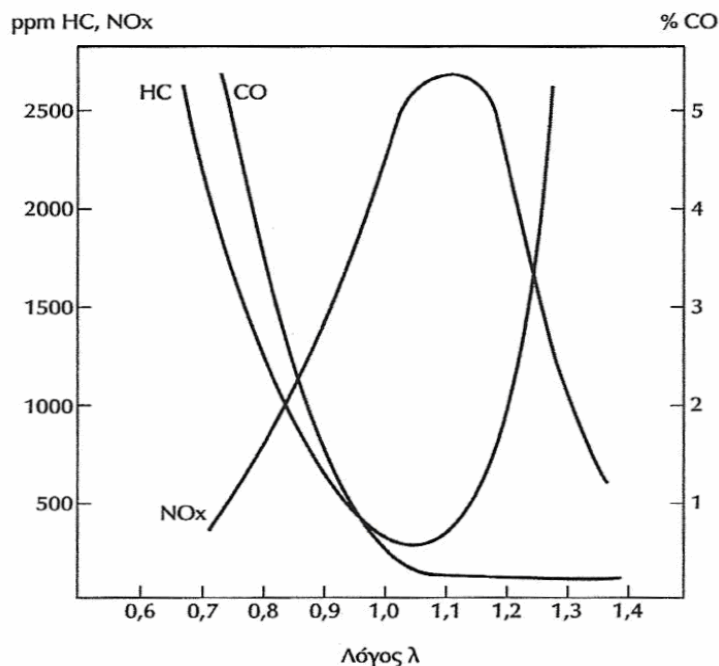
Αν  $\lambda < 1$ , ο αέρας είναι λιγότερος από όσο προβλέπει η στοιχειομετρική αναλογία. Το μείγμα δηλαδή είναι πλούσιο σε καύσιμο. Μέγιστη απόδοση ισχύος έχουμε όταν το  $\lambda$  παίρνει κάποια τιμή μεταξύ 0.85 και 0.95.

Αν  $\lambda > 1$  ο αέρας είναι σε περίσσεια και άρα το μείγμα είναι φτωχό σε καύσιμο. Στην περίπτωση αυτή μειώνεται σχετικά η απόδοση αλλά βελτιώνεται σημαντικά η κατανάλωση. Όταν ένα μείγμα είναι φτωχό δε θα προκαλέσει μεγάλη αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας κατά την καύση του με αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση ισχύος. Όμως η χαμηλή θερμοκρασία θα προκαλέσει και λιγότερες απώλειες θερμότητας, αφού η διαφορά θερμοκρασίας με το ψυκτικό υγρό δε θα είναι πολύ μεγάλη.



**Σχήμα 3.3:** Η επίδραση του λόγου  $\lambda$  στην παραγόμενη ισχύ και την ειδική κατανάλωση.

Η μέγιστη τιμή του  $\lambda$ , δηλαδή, η φτωχότερη δυνατή κατάσταση του μείγματος ονομάζεται οριακή τιμή φτωχής καύσης και εξαρτάται απόλυτα από το σχεδιασμό του κινητήρα και το σύστημα τροφοδοσίας και στροβιλισμών που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη. Για τιμές του  $\lambda$  πάνω από την οριακή τιμή φτωχής καύσης ο κινητήρας αρχίζει να μη λειτουργεί καλά.



**Σχήμα 3.4:** Η επίδραση του λόγου λ στις εκπομπές ρυπαντών.

Οι μηχανές Diesel λειτουργούν με αναλογία αέρα/καυσίμου μεταξύ 1,05 μέχρι 1,2, δηλαδή πάντα με  $\lambda > 1$  (φτωχό μείγμα).

Τα βασικά χαρακτηριστικά της καύσης του φτωχού μείγματος είναι:

- Μέσα σε ένα θάλαμο καύσης όπου ο αέρας είναι περισσότερος από τον απαραίτητο για πλήρη καύση έχουμε πολύ περισσότερες πιθανότητες για πλήρη καύση όλης της μάζας του καυσίμου με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου.
- Λόγω της πλήρους καύσης του καυσίμου οι εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO) είναι μειωμένες αλλά είναι γενικά αυξημένες οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).
- Λόγω της χαμηλής ταχύτητας της καύσης του φτωχού μείγματος οι κινητήρες φτωχού μείγματος δεν μπορούν να αναπτύξουν μεγάλο αριθμό στροφών.

### 3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η διαδικασία της καύσης στον πετρελαιοκινητήρα διαιρείται σε τρεις περιόδους.

- ❖ Η πρώτη περίοδος (σχήμα 3.8-διαδρομή A-B) ονομάζεται χρόνος καθυστέρησης ανάφλεξης ή χρόνος υστέρησης και αρχίζει κοντά στο τέλος του χρόνου συμπίεσης, όταν πρωτοψεκάζεται το καύσιμο στον κύλινδρο και μέχρι να αρχίσει να καίγεται. Κατά προσέγγιση απαιτείται ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου για να επιτραπεί στο καύσιμο να



ατμοποιηθεί και να αναμιχθεί με το ζεστό αέρα. Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι διεργασίες που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του χρόνου καθυστέρησης ανάφλεξης.

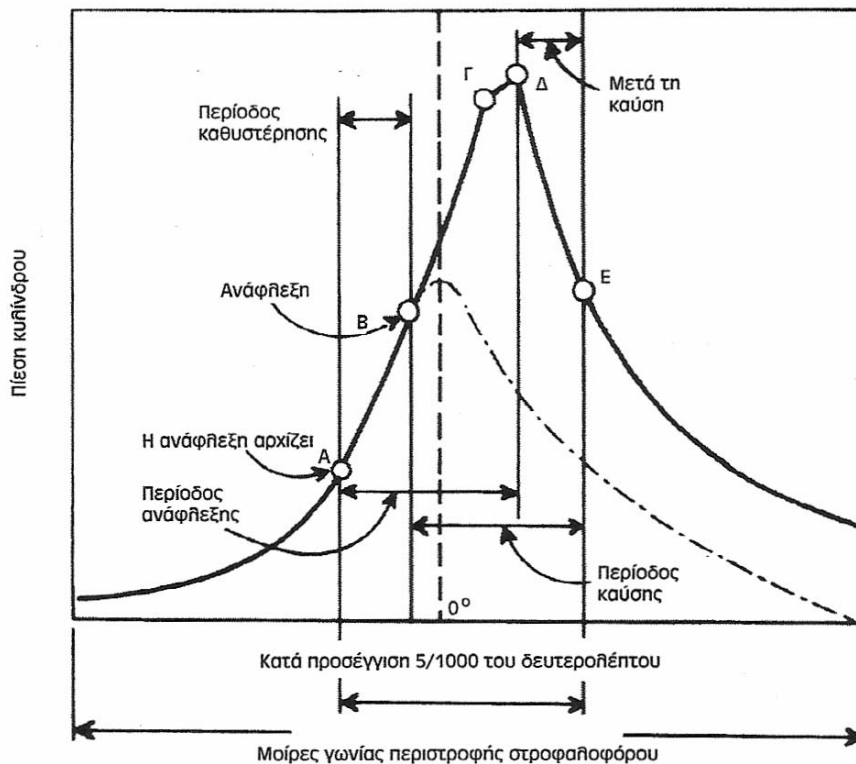
**Πίνακας 3.1:** Δημιουργία μείγματος και έναρξη της καύσης

Το καύσιμο ψεκάζεται (είναι ακόμη υγρό) μέσα στο θερμό αέρα
Το καύσιμο θερμαίνεται στη θερμοκρασία ζέσεως
Το καύσιμο εξατμίζεται στη θερμοκρασία ζέσεως
Οι ατμοί του καυσίμου αναμιγνύονται με το θερμό αέρα
Οι ατμοί του καυσίμου θερμαίνονται στη θερμοκρασία ανάφλεξης
Ανάφλεξη των ατμών του καυσίμου
Απελευθέρωση της καύσης

Το χρονικό εύρος της καθυστέρησης ανάφλεξης εξαρτάται από:

- Την αναφλεξιμότητα του καυσίμου. Αυτή δίνεται από τον αριθμό κετανίου.
- Τη θερμοκρασία (του κινητήρα και του αέρα αναρρόφησης)
- Το βαθμό σταγονοποίησης κατά την έγχυση (πίεση έγχυσης, κατάσταση των ακροφυσίων των εγχυτήρων)
- Την τελική θερμοκρασία συμπίεσης (π.χ. λόγω φθοράς του κινητήρα)
- Την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα (έως κάποιο όριο) η χρονική καθυστέρηση μειώνεται
- ❖ Η δεύτερη περίοδος(σχήμα 3.8-διαδρομή Β-Γ), που ονομάζεται περίοδος απότομης (ή ανεξέλεγκτης) καύσης, αρχίζει όταν το καύσιμο μείγμα βρίσκεται στη σωστή αναλογία και η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή για να αρχίσει η αυτανάφλεξη. Όταν καεί το πρώτο μέρος του καυσίμου, η πίεση του καυσίμου αυξάνεται ξαφνικά, προκαλώντας το γνωστό χτύπημα του πετρελαιοκινητήρα.
- ❖ Κατά τη διάρκεια της τρίτης περιόδου(σχήμα 3.8-διαδρομή Γ-Δ), που ονομάζεται περίοδος ελεγχόμενης καύσης, το μπεκ συνεχίζει να ψεκάζει πετρέλαιο μέσα στο θάλαμο καύσης, αλλά αυτός ο πλούσιος πυρήνας καυσίμου δεν αναφλέγεται μέχρι να ενωθεί με τον αέρα. Το μείγμα που έχει ήδη καεί προκαλεί έναν ισχυρό στροβιλισμό, αναγκάζοντας τον υπόλοιπο αέρα να αναμιχθεί με το καύσιμο. Η αύξηση στην πίεση του καυσίμου είναι πιο μικρή απ' ό τι στην προηγούμενη περίοδο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου απελευθερώνεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας καθώς αυξάνεται ο όγκος του κυλίνδρου.
- ❖ Αμέσως μετά ακολουθεί η φάση της μετάκαυσης(σχήμα 3.8-διαδρομή Δ-Ε) κατά την οποία καίγεται το άκαυστο καύσιμο με την ποσότητα οξυγόνου που ίσως έχει απομείνει μέσα στο θάλαμο. Οι περισσότεροι

σύγχρονοι έλεγχοι συμπεριλαμβάνουν και τη φάση αυτή αφού και αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από τη δυναμική του αέρα εισαγωγής.



**Σχήμα 3.5:** Γραφική παράσταση της διαδικασίας της καύσης και της μεταβολής της πίεσης στον κύλινδρο.

Η διαδικασία της καύσης στον πετρελαιοκινητήρα είναι πιο αργή από ότι στον βενζινοκινητήρα προκειμένου να υπάρξει ο κατάλληλος χρόνος για την ανάμειξη του πετρελαίου με τον αέρα, αλλά και για τον καλύτερο έλεγχο της καύσης αυτού. Καθώς αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα, ο χρόνος που διατίθεται για την καύση είναι πολύ περιορισμένος. Λόγω της αργοπορίας της καύσης, ο πετρελαιοκινητήρας δε μπορεί να αναπτύξει μεγάλο αριθμό στροφών, όπως συμβαίνει με το βενζινοκινητήρα.

Οι σχεδιαστές κινητήρων δίνουν πολύ ιδιαίτερη προσοχή σε αυτές τις τρεις περιόδους καύσης του πετρελαιοκινητήρα λόγω της επίδρασής τους στην απόδοση του κινητήρα. Ένας μεγάλος χρόνος αργοπορίας (περίπου δύο χιλιοστά του δευτερολέπτου) επιτρέπει σε περισσότερο καύσιμο να εισέλθει στο θάλαμο καύσης. Όταν καίγεται το καύσιμο αυτό γρήγορα, προκαλείται το χαρακτηριστικό χτύπημα των πετρελαιοκινητήρων (κρουστική καύση). Αυτό έχει αναφερθεί ότι οφείλεται στην απότομη αύξηση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο και μάλιστα όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση αυτή τόσο ισχυρότερο είναι το χτύπημα. Οι μεγάλες πιέσεις που δημιουργούνται μπορούν να προκαλέσουν και ζημιές στα έμβολα. Αφού το χτύπημα εμφανίζεται στην αρχή

της διαδικασίας της καύσης, οποιοσδήποτε παράγοντας αυξάνει το χρόνο υστέρησης αυξάνει και το θόρυβο από το χτύπημα αυτό.

Η ένταση του χτυπήματος αυξάνεται:

- Όταν ο αέρας εισαγωγής και η αρχική θερμοκρασία του κινητήρα είναι χαμηλές.
- Όταν έχουμε κακή ανάμειξη του καυσίμου μείγματος.
- Με τη χρήση θαλάμων καύσης άμεσου ψεκασμού.
- Όταν το καύσιμο έχει χαμηλό αριθμό κετανίου.
- Χαμηλή πίεση ψεκασμού καυσίμου.

### **3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ**

Η ισχύς εξόδου (ιπποδύναμη) και οι στροφές του πετρελαιοκινητήρα ελέγχονται από την ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο. Το σύστημα τροφοδοσίας του πετρελαιοκινητήρα ψεκάζει αρκετό καύσιμο προκειμένου να ανταποκριθεί στις ανάγκες αυτού. Στο ρελαντί η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο είναι πολύ μικρή. Όταν οι απαιτήσεις για καύσιμο μεγαλώνουν, όπως για παράδειγμα η κίνηση σε ανηφόρα με φορτίο, η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται είναι μεγαλύτερη και η διάρκεια της καύσης είναι μεγαλύτερη. Στη μέγιστη ισχύ του κινητήρα, η μέγιστη ποσότητα καυσίμου που θα ψεκαστεί καθορίζεται από το σύστημα ψεκασμού. Αν ψεκαστεί περισσότερο καύσιμο σε αυτό το σημείο ή αν δεν είναι αρκετός ο αέρας, η παραμένουσα άκαυστη ποσότητα πετρελαίου θερμαίνεται και μετατρέπεται σε άνθρακα. Τα καυσαέρια εμφανίζονται σαν καπνός με μαύρο χρώμα που αποτελείται από μικροσωματίδια αιθάλης. Η αιθάλη είναι αλλοτροπική μορφή του άνθρακα σε άμορφη (μη κρυσταλλική) μορφή. Τότε ο κινητήρας έχει φτάσει στο όριο καπνού. Στο σημείο αυτό ο κινητήρας σταματά την προσπάθεια να βγάλει περισσότερη ιπποδύναμη. Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου είναι ρυθμισμένο για να ψεκάσει τη σωστή ποσότητα καυσίμου στο σωστό χρόνο προκειμένου να αποτρέπει την εμφάνιση του ορίου καπνού.

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται φανερό ότι αν έχουμε βέλτιστη καύση μπορούμε να πετύχουμε τους παρακάτω πολύ σημαντικούς στόχους:

- Καλύτερη απόδοση, δηλαδή, οικονομία καυσίμου (άρα και μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub>)
- Όχι χτυπήματα
- Όχι θόρυβος
- Μειωμένες εκπομπές ρύπων

Επιπλέον, από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι η επίτευξη της βέλτιστης καύσης εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο ψεκασμός του πετρελαίου στο θάλαμο καύσης και ειδικότερα από τους παρακάτω παράγοντες:

- Ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται στο θάλαμο καύσης

- Χρονισμός ψεκασμού
- Στιγμή έναρξης της καύσης
- Διάρκεια ψεκασμού
- Διασπορά των σταγονιδίων του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης.

Το συμπέρασμα είναι ότι το σύστημα τροφοδοσίας είναι η «καρδιά» των πετρελαιοκινητήρων. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και αν σκεφτούμε ότι μία από τις κύριες διαφορές των κινητήρων βενζίνης και πετρελαίου εντοπίζεται στο σύστημα τροφοδοσίας τους. Ενώ στους πρώτους η βασική παράμετρος είναι ο εισαγόμενος αέρας, στους δεύτερους είναι το εισαγόμενο καύσιμο. Με απλά λόγια, στους βενζινοκινητήρες όταν πατάμε το πεντάλ του γκαζιού, αυξάνουμε την ποσότητα του αέρα (και ανάλογα ρυθμίζεται η ποσότητα του καυσίμου) ενώ αντίθετα στους πετρελαιοκινητήρες την ποσότητα του καυσίμου (εδώ ο αέρας εισάγεται χωρίς περιορισμό και βρίσκεται σε περίσσεια κατά τη διάρκεια της καύσης). Άρα το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ενός πετρελαιοκινητήρα.

Οι απαιτήσεις που προκύπτουν από το σύστημα τροφοδοσίας ενός πετρελαιοκινητήρα ικανοποιούνται από τα συστήματα ψεκασμού που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια με αποκορύφωμα το σύστημα Common-Rail. Το Common-Rail βελτιστοποιεί τη διαδικασία καύσης ενώ παράλληλα μειώνει τις εκπομπές ρύπων. Τα νέα συστήματα ψεκασμού καυσίμου όπως το Common-Rail, καθιστούν τους πετρελαιοκινητήρες πιο δυναμικούς, οικονομικούς, καθαρούς και αθόρυβους. Οι μέθοδοι ψεκασμού του καυσίμου στους πετρελαιοκινητήρες είναι το αντικείμενο του επόμενου κεφαλαίου.

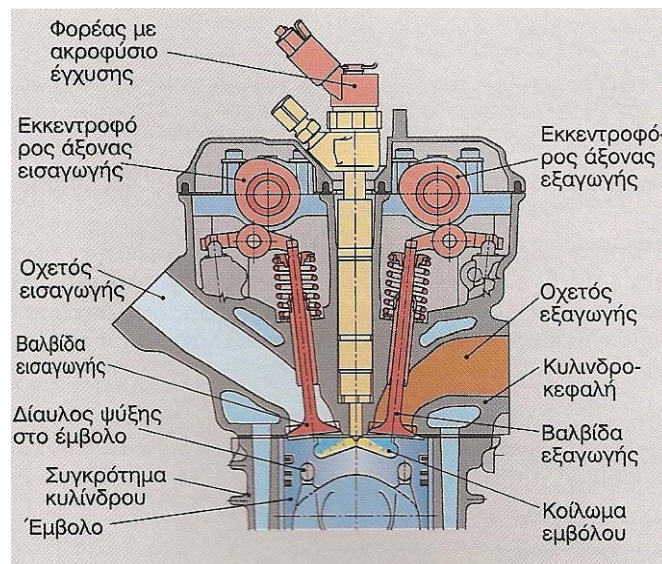
## 4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

### 4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΓΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

- Υπάρχουν δύο μέθοδοι έγχυσης του καυσίμου:
- Άμεση έγχυση σε έναν ενιαίο χώρο καύσης (κινητήρες DI, Direct Injection)
  - Έμμεση έγχυση στο δευτερεύοντα θάλαμο ενός διαιρεμένου χώρου καύσης (κινητήρες IDI, Indirect Injection)

#### 4.1.1 Άμεση Έγχυση

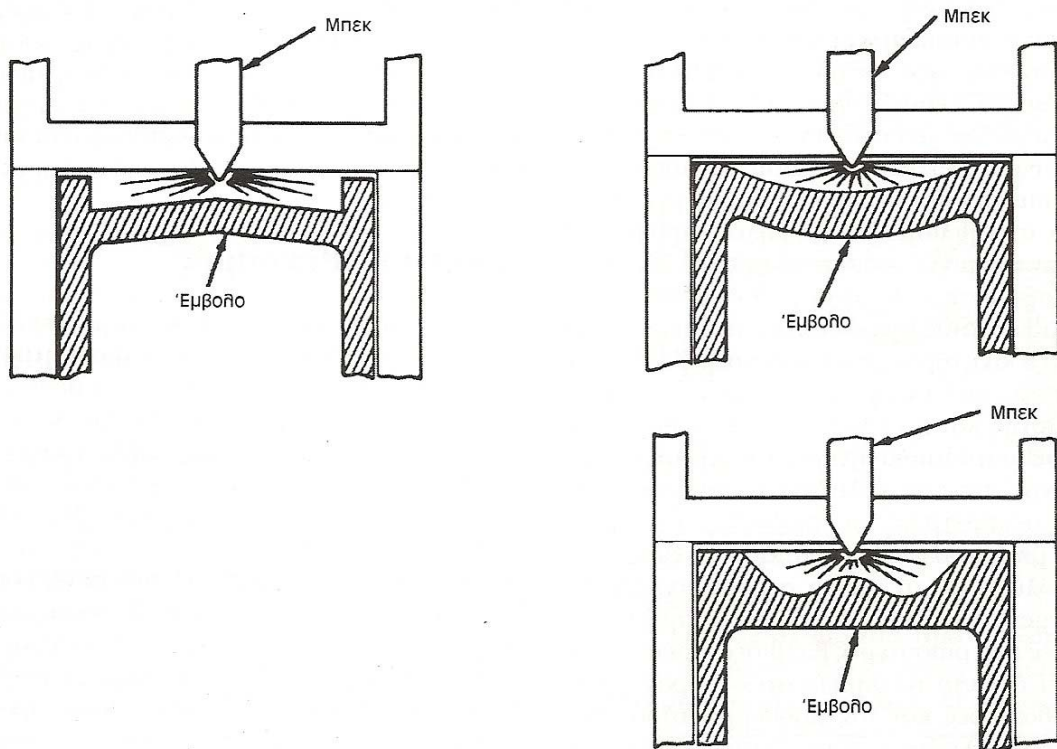
Με τη μέθοδο του άμεσου ψεκασμού (σχ. 4.1) το καύσιμο ψεκάζεται απευθείας μέσα στο θάλαμο καύσης ακριβώς πάνω από το έμβολο. Η μέθοδος αυτή συχνά αναφέρεται σαν ανοικτός θάλαμος καύσης, επειδή ο θάλαμος καύσης έχει άμεση πρόσβαση στις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.



**Σχήμα 4.1:** Πετρελαιοκινητήρας με άμεση έγχυση.

Υπάρχουν διαφορετικά σχήματα εμβόλων ώστε να παρέχονται διαφορετικοί τύποι στροβιλισμού (σχ. 4.2). Το σχήμα του εμβόλου δημιουργεί επιπλέον στροβιλισμό στον αέρα εισαγωγής, καθώς το έμβολο ανεβαίνει στο ΑΝΣ κατά το χρόνο της συμπίεσης. Σήμερα, προτιμάται το έμβολο σχήματος ωμέγα. Επιπλέον, η καύση δημιουργεί ακόμη περισσότερο στροβιλισμό. Όλος

αυτός ο στροβιλισμός είναι απαραίτητος για να εξασφαλιστεί η σωστή ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο για να έχουμε την κατάλληλη και όσο πιο ομαλή καύση γίνεται.



**Σχήμα 4.2:** Τρεις διαφορετικοί τύποι ανοικτών θαλάμων καύσης με διαφορετικά σχήματα εμβόλων.

Για να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια θερμότητας, η επιφάνεια του χώρου συμπίεσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Έτσι βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσης και επηρεάζεται θετικά η συμπεριφορά κατά την ψυχρή εκκίνηση. Με πολύ υψηλές πιέσεις (μεγαλύτερες των 2000 bar) και διάτρητα ακροφύσια επιτυγχάνονται: έγχυση με μορφή νέφους, ομοιόμορφη κατανομή καυσίμου και κυρίως δημιουργία ομοιόμορφου μείγματος. Το καύσιμο αναφλέγεται στον υπέρθερμο αέρα και καίγεται πολύ γρήγορα (ταχύτητα διάδοσης φλόγας περίπου 20m/s). Για ψυχρή εκκίνηση, αυτοί οι κινητήρες δεν χρειάζονται ειδική διάταξη ψυχρής εκκίνησης. Όμως, για τη μείωση των ρύπων κατά την εκκίνηση και στη φάση της λειτουργίας προθέρμανσης, προβλέπεται είτε διάταξη με χρονικό και θερμοκρασιακό έλεγχο είτε προθερμαντήρες πυράκτωσης.

Χαρακτηριστικά της άμεσης έγχυσης:

- Υψηλός βαθμός απόδοσης
- Μικρή ειδική κατανάλωση καυσίμου
- Σημαντική ικανότητα ψυχρής εκκίνησης

- Απλή σχεδίαση κυλινδροκεφαλής
- ‘Σκληρός’ θόρυβος λειτουργίας
- Υψηλή θερμική και μηχανική φόρτιση των μετάλλων του θαλάμου καύσεως.

#### 4.1.2 Έμμεση Έγχυση

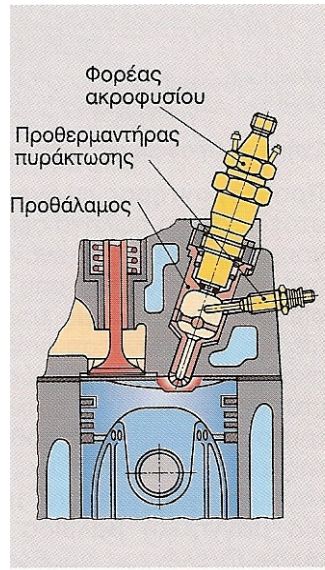
Στον έμμεσο ψεκασμό το καύσιμο εισέρχεται μέσα σε έναν προθάλαμο καύσης (βοηθητικός θάλαμος καύσης) ο οποίος επικοινωνεί μέσω ενός στενού αγωγού με τον κυρίως θάλαμο καύσης. Οι θάλαμοι καύσης αυτού του είδους ονομάζονται διμερείς θάλαμοι καύσης. Ο προθάλαμος καύσης καταλαμβάνει κατά προσέγγιση το 30% του συνολικού όγκου καύσης όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Στον προθάλαμο καύσης δεν υπάρχουν βαλβίδες εισαγωγής ή εξαγωγής. Ο αέρας ωθείται μέσω του στενού αγωγού που συνδέει τον προθάλαμο με τον κυρίως θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα να δημιουργείται ισχυρός στροβιλισμός μέσα στον προθάλαμο καύσης. Το ακροφύσιο του εγχυτήρα βρίσκεται μέσα στον προθάλαμο καύσης. Το πετρέλαιο ψεκάζεται στον προθάλαμο και εκεί αρχίζει η καύση η οποία όμως δεν μπορεί να ολοκληρωθεί αφού στον προθάλαμο δεν υπάρχει αρκετός αέρας. Τα αέρια της εκτόνωσης ωθούνται από μόνα τους έξω από τον προθάλαμο και αναφλέγουν το υπόλοιπο μείγμα που βρίσκεται στον κυρίως θάλαμο καύσης ο οποίος βρίσκεται πάνω από το έμβολο. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα μία γρήγορη και πλήρη καύση του παραμένοντος πλούσιου μείγματος.

Το σχήμα του θαλάμου καύσης επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του κινητήρα, το θόρυβο, την κατανάλωση καυσίμου και τα επίπεδα εκπομπής ρύπων.

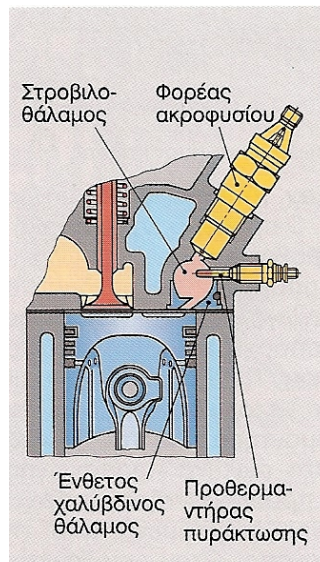
Υπάρχουν δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί προθαλάμων καύσης στο σύστημα του έμμεσου ψεκασμού:

- Ο θάλαμος προκαύσεως
- Ο (σφαιρικός) προθάλαμος στροβιλισμού.

Τέλος, οι ερευνητές ασχολούνται με την ανάπτυξη καλύτερων μεθόδων ανάμειξης του αέρα με το καύσιμο, όπως για παράδειγμα αλλαγές στην περιοχή του λαιμού (πολλαπλής εισαγωγής) ώστε να εισέρχεται περισσότερος αέρας στον κύλινδρο και κατά συνέπεια στο θάλαμο καύσης.



**Σχήμα 4.3:** Μέθοδος με θάλαμο προκαύσεως.



**Σχήμα 4.4:** Μέθοδος με στροβιλοθάλαμο.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μεθόδου με έμμεση έγχυση έναντι αυτής με άμεση έγχυση είναι:

- Ήπια καύση σε δύο βαθμίδες
- Απαλή, ήρεμη λειτουργία κινητήρα
- Υψηλότερη συμπίεση
- Υψηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου
- Αναγκαία η ύπαρξη διατάξεων ψυχρής εκκίνησης
- Μεγάλο εύρος στροφών. Ο έμμεσος ψεκασμός επιτρέπει στον πετρελαιοκινητήρα να λειτουργεί σε στροφές περισσότερες από 5000 RPM



### 4.1.3 Απαιτήσεις από τον Ψεκασμό

Αν και πιο αποδοτικοί από τους βενζινοκινητήρες, οι κινητήρες με έμμεσο ψεκασμό δεν μπορούν να πετύχουν τόσο υψηλό βαθμό απόδοσης, όσο οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού, λόγω των απωλειών ροής από τον προθάλαμο στον κυρίως θάλαμο καύσης και των σχετικά αυξημένων θερμικών απωλειών. Τα προβλήματα αυτά δεν υπάρχουν στον άμεσο ψεκασμό, με τη βοήθεια του οποίου μειώνεται η κατανάλωση σε ποσοστό 15-20%, σε σχέση με τον έμμεσο. Εφόσον το καύσιμο ψεκάζεται με υψηλή πίεση στους κυλίνδρους, μπορεί να επιτευχθεί καλή ανάμειξή του με τον αέρα. Αυτό έγινε πραγματοποιήσιμο μετά το 1950, οπότε οι πετρελαιοκινητήρες άμεσου ψεκασμού άρχισαν να αντικαθιστούν τους έμμεσο ψεκασμού, αρχικά στα φορτηγά και στα βαριά οχήματα. Γενικά ο άμεσος ψεκασμός έχει επικρατήσει στους πετρελαιοκινητήρες λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του και κυρίως λόγω του συστήματος Common-Rail που εξετάζεται στο υποκεφάλαιο 4.4.

Ο τρόπος λειτουργίας του ψεκασμού στους πετρελαιοκινητήρες θυμίζει τη λειτουργία του άμεσου ψεκασμού των βενζινοκινητήρων με τη στρωματοποιημένη καύση, μόνο που στους τελευταίους η πυκνότερη συγκέντρωση γίνεται γύρω από το μπουζί ενώ στους πετρελαιοκινητήρες η δέσμη του ψεκαζόμενου καυσίμου απλώνεται σε όλο το θάλαμο καύσης.

Όμως ο άμεσος ψεκασμός στους πετρελαιοκινητήρες πρέπει να γίνει με πολύ υψηλότερη πίεση από ότι στους βενζινοκινητήρες λόγω του ότι ο διαθέσιμος χρόνος είναι πολύ πιο μικρός αλλά και γιατί είναι απαραίτητος ένας «μηχανικός» λεπτοδιαμερισμός του πιο πτητικού καυσίμου. Για έναν αποτελεσματικό βαθμό ανάμειξης με τον αέρα πρέπει το καύσιμο, στους πετρελαιοκινητήρες, να ψεκαστεί στο θάλαμο με πίεση 350 έως 2000 bar, ανάλογα με την επιλεγμένη διαδικασία καύσης.

Στους πετρελαιοκινητήρες με έμμεσο ψεκασμό δεν χρειαζόταν και τόσο μεγάλη πίεση ψεκασμού, γιατί από τον προθάλαμο υπήρχε μία μικρή καθυστέρηση στη μετάδοση της φλόγας, οπότε ο ψεκασμός έχει μεγαλύτερο χρονικό περιθώριο για να ολοκληρωθεί (εφόσον μπορούσε να αρχίσει νωρίτερα), αλλά και ολόκληρος ο χώρος του προθαλάμου εξαιρούνταν από την επαφή με το ψυκτικό υγρό, για να μένει ζεστός και να βοηθάει στην εξαέρωση των σταγονιδίων.

Στον άμεσο ψεκασμό πρέπει η πίεση να είναι μεγαλύτερη, ειδικά στους σύγχρονους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες που θέλουν και μπορούν να έχουν υψηλότερες επιδόσεις οπότε χρειάζονται και περισσότερο καύσιμο σε κάθε κύκλο και ο διαθέσιμος χρόνος μειώνεται όσο οι στροφές ανεβαίνουν.

Μία άλλη σοβαρή απαίτηση από τα συστήματα ψεκασμού των πετρελαιοκινητήρων αφορά το χρονισμό τους, δηλαδή την επιλογή των στιγμών του ψεκασμού, η οποία πρέπει να γίνει με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Προκειμένου να κρατηθεί η κατανάλωση χαμηλά, αλλά και για να παραμείνει

εντός των επιβεβλημένων ορίων εκπομπής ρύπων (καυσαερίων και θορύβου) είναι απαραίτητο η έναρξη του ψεκασμού να ελέγχεται με ακρίβεια όχι μικρότερη από μία μοίρα περιστροφής του στροφαλοφόρου.

Τους διάφορους τύπους συστημάτων ψεκασμού που έχουν χρησιμοποιηθεί ή χρησιμοποιούνται στους πετρελαιοκινητήρες μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες.

Η πρώτη αφορά τα συστήματα όπου η δημιουργία της υψηλής πίεσης γίνεται ακριβώς τη στιγμή που πρέπει να διενεργηθεί ο ίδιος ο ψεκασμός, πράγμα που σημαίνει ότι ένα εμβολάκι ενεργοποιείται για να δημιουργήσει έναν, με ακρίβεια χρονισμένο, ωστικό παλμό στη μάζα του καυσίμου, που βρίσκεται στο σωληνάκι το οποίο συνδέει την αντλία με τον ψεκαστήρα. Αυτός ο ωστικός παλμός (που μεταδίδεται με ταχύτητα λίγο μικρότερη από αυτή του ήχου) θα ανοίξει τη βαλβίδα του μπεκ για να ψεκαστεί το πετρέλαιο στο θάλαμο καύσης. Είναι προφανές ότι σε ένα τέτοιο σύστημα τα πάντα εξαρτώνται και από την περιστροφή ενός (εκκεντροφόρου) άξονα, ο οποίος πρέπει να είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον στροφαλοφόρο του κινητήρα.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκει το σύστημα όπου η πίεση του ψεκασμού δημιουργείται ανεξάρτητα από το ρυθμό περιστροφής του κινητήρα. Στο σύστημα αυτό οι ψεκαστήρες δεν ανοίγουν υπό την πίεση κάποιου ωστικού παλμού, αλλά μόνο με κάποια εντολή της κεντρικής ηλεκτρονικής μονάδας. Το σύστημα αυτό είναι το σύστημα Common-Rail το οποίο έχει ήδη αναφερθεί και παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα 4.4.

## 4.2 ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΕΙΣ

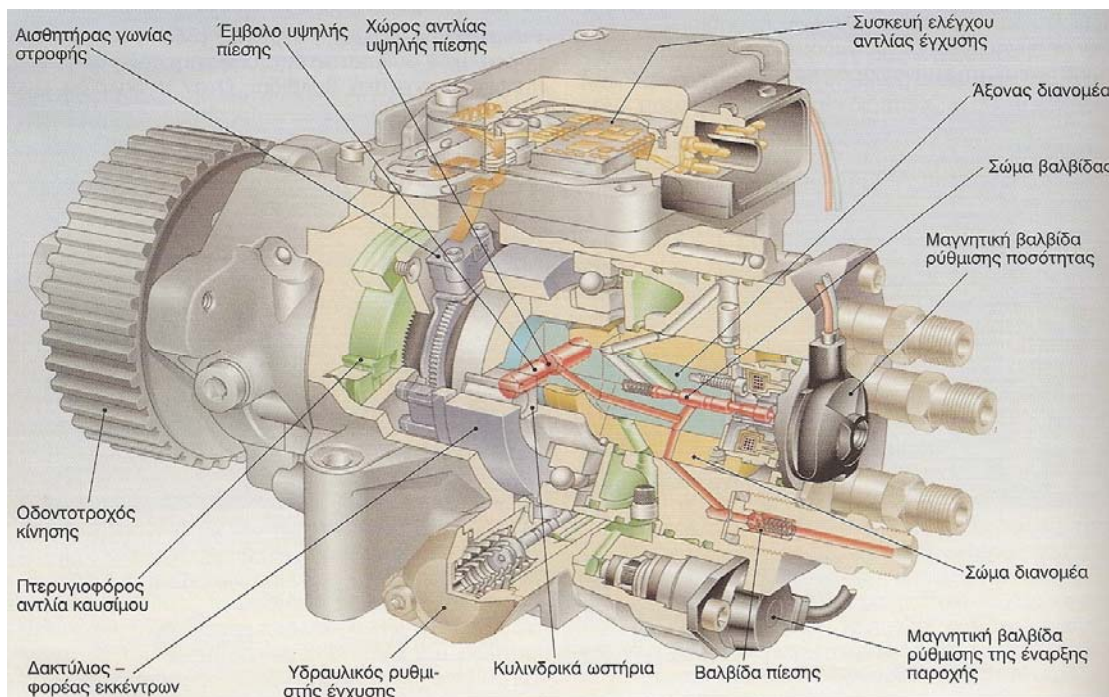
Μέχρι πολύ πρόσφατα η συνήθης τεχνική για τον ψεκασμό του καυσίμου στους πετρελαιοκινητήρες συνίστατο στη χρήση μιας αντλίας χαμηλής πίεσης (1 με 2.5 bar), η οποία έπαιρνε το καύσιμο από το ντεπόζιτο και τροφοδοτούσε την αντλία υψηλής πίεσης. Αυτή δεν ήταν τίποτα άλλο παρά μια σειρά πιστονάκια, τόσα όσοι και οι κύλινδροι του κινητήρα, που το καθένα μετέδιδε παλμικά μία ανάλογη ποσότητα καυσίμου στον κύλινδρο που του αντιστοιχούσε. Οι πρώτες αυτές αντλίες υψηλής πίεσης έμοιαζαν με μικρογραφίες σειριακών κινητήρων και ο «στροφαλοφόρος» τους ήταν σαν ένας εκκεντροφόρος του κινητήρα που τροφοδοτούσαν. Τέτοιες αντλίες βρίσκονται ακόμα σε ευρεία χρήση στους μεγάλους κινητήρες πολλών φορτηγών. Οι κινητήρες των επιβατηγών αυτοκινήτων ήδη από το 1990 τροφοδοτούνται με διαφορετικό τρόπο.

Το επόμενο εξελικτικό στάδιο των συστημάτων ψεκασμού περιλαμβάνει ένα διαφορετικό τρόπο τροφοδοσίας με υπό πίεση καύσιμο. Η λογική εξέλιξης του συστήματος επικεντρώνεται όχι τόσο στη δημιουργία της πίεσης, όσο στον τρόπο διανομής του καυσίμου στους κυλίνδρους. Εδώ, η υψηλή πίεση δημιουργείται από ένα και μοναδικό αντλητικό στοιχείο, το οποίο είναι άμεσα

συνδεδεμένο με ένα σύστημα παρόμοιο με το παλιό ντιστριμπιτέρ της ανάφλεξης των βενζινοκινητήρων. Μόνο που τώρα διανέμει πιεστικούς παλμούς καυσίμου στους κατάλληλους κυλίνδρους την κατάλληλη στιγμή, αντί για ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι αντλίες διανομέα (ή αντλίες τύπου ντιστριμπιτέρ) χρησιμοποιήθηκαν σε κινητήρες Diesel 3, 4, 5 και 6 κυλίνδρων για επιβατηγά αυτοκίνητα και μικρά φορτηγά. Το σχήμα τους είναι πιο συμπαγές από τις προηγούμενες σειριακές αντλίες και άρα πιο βολικό στην τοποθέτηση, είναι φθηνότερες και μπορούν να παρέχουν έως και 1000 bar λειτουργική πίεση. Ο χρονισμός του ψεκασμού στα συστήματα αυτά γινόταν αρχικά με μηχανικό και αργότερα με ηλεκτρομηχανικό τρόπο, με ένα σύστημα που επιβράδυνε ή επιτάχυνε τον κινητήριο εκκεντροφόρο, σε σχέση με το στροφαλοφόρο, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στους βενζινοκινητήρες με μεταβαλλόμενο χρονισμό βαλβίδων. Η ποσότητα του καυσίμου ρυθμιζόταν με βαλβίδες ανακούφισης, που άφηναν ελεγχόμενα να διαρρεύσει η παραπάνω ποσότητα καυσίμου όταν είχε ήδη ψεκαστεί η απαιτούμενη.

Στην τελευταία γενιά κινητήρων Diesel για επιβατηγά αυτοκίνητα έχει εγκαταλειφθεί η χρήση της αντλίας τύπου διανομέα και οι σχεδιαστές προχώρησαν στη χρήση δύο νέων συστημάτων ψεκασμού, τα οποία αν και παραμένουν διαμετρικά αντίθετα ως προς τη φιλοσοφία τους, εν τούτοις και τα δύο, όπως θα φανεί στις δύο επόμενες ενότητες, μπορούν να ανταποκριθούν άριστα στις ανάγκες ενός καθαρού και αποδοτικού πετρελαιοκινητήρα του σήμερα αλλά και του αύριο.

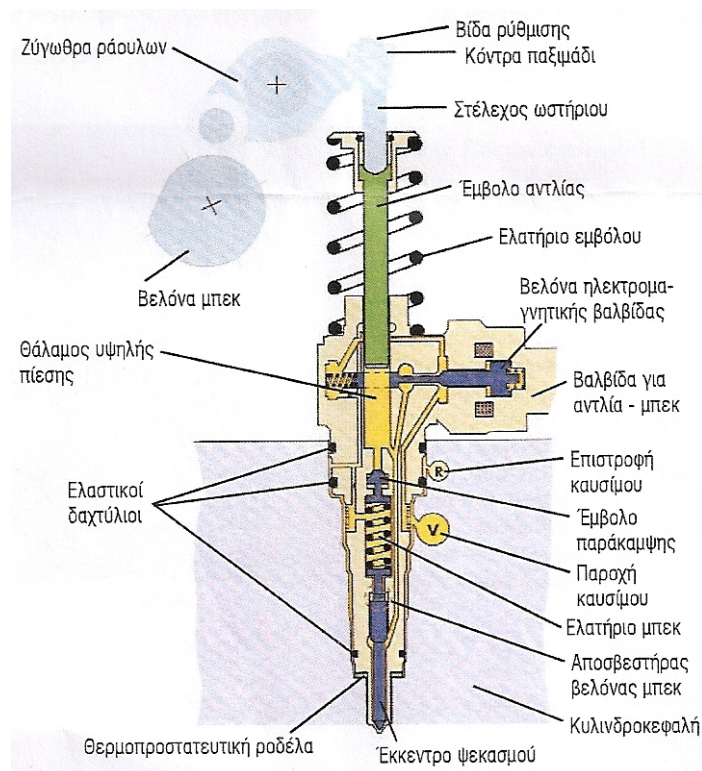


**Σχήμα 4.5:** Αντλία έγχυσης-διανομής με έμβολα ακτινικής διάταξης.

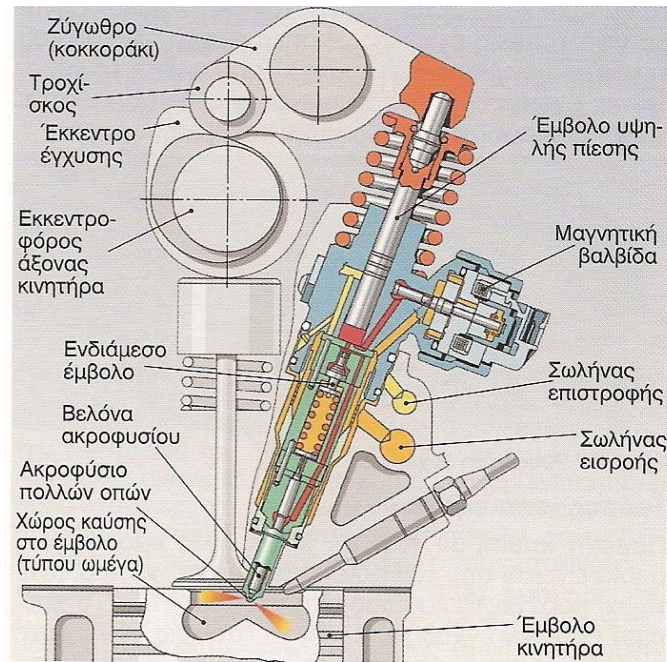
### 4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ UNIT INJECTOR

Το σύστημα Unit Injector (UIS) αναπτύχθηκε αρχικά από την εταιρεία Bosch το 1994 και πολύ σύντομα ακολούθησαν και άλλοι κατασκευαστές. Στο σύστημα Unit Injector αντί για μία αντλία (περιστροφική ή παλινδρομική) υπάρχουν σε έναν τετρακύλινδρο κινητήρα τέσσερις αντλίες, μία για κάθε κύλινδρο, με τις παρακάτω λειτουργίες:

- Δημιουργία υψηλής πίεσης καυσίμου για τον ψεκασμό
- Προέγχυση του καυσίμου
- Ψεκασμό της σωστής ποσότητας καυσίμου στη σωστή χρονική στιγμή.



Σχήμα 4.6: Δομή μιας μονάδας αντλία-ακροφύσιο.



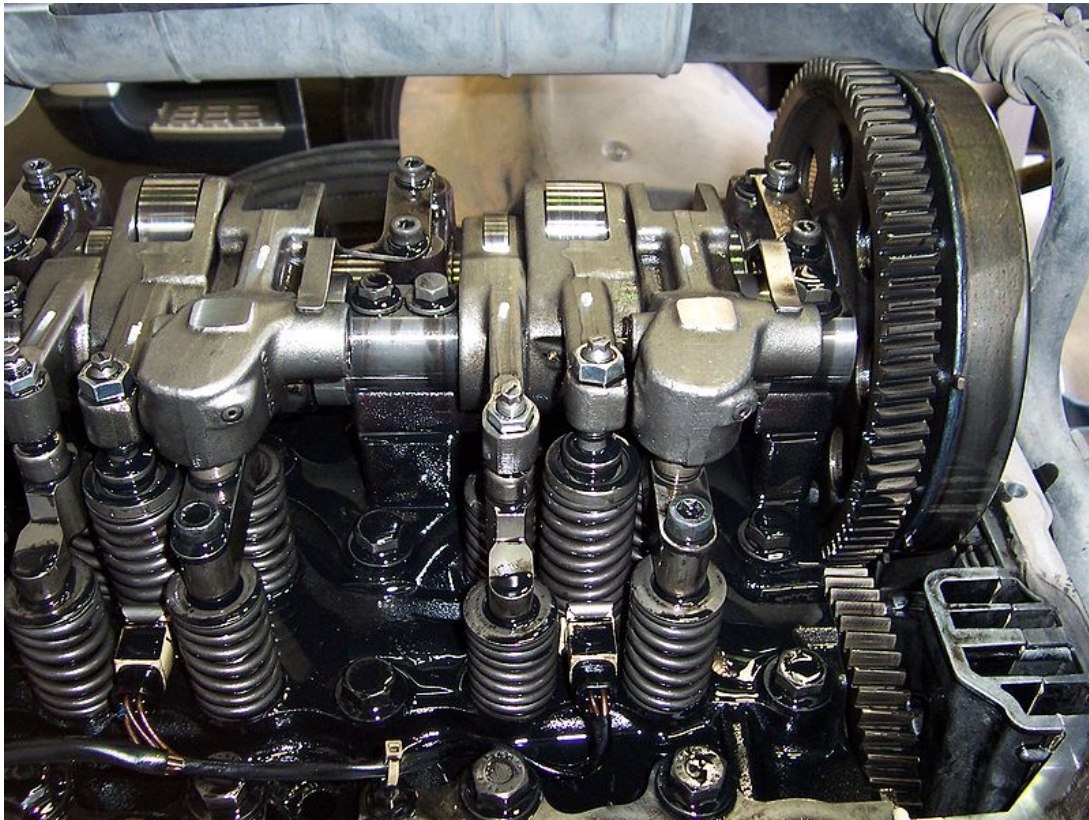
**Σχήμα 4.7:** Μονάδα αντλία-ακροφύσιο.

Κάθε μονάδα αντλίας-μπεκ (συνχά αναφέρεται ως PDE) στερεώνεται στην κυλινδροκεφαλή και παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα ο οποίος φέρει τέσσερα επιπλέον έκκεντρα κατάλληλα διαμορφωμένα για το σκοπό αυτό.

Στη φάση της προέγχυσης το έμβολο της αντλίας πιέζεται από το έκκεντρο προς τα κάτω και εκτοπίζει το καύσιμο από το θάλαμο υψηλής πίεσης στην παροχή καυσίμου. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κλείνει τη δίοδο από το θάλαμο υψηλής πίεσης προς την παροχή. Έτσι αρχίζει να αυξάνεται η πίεση του καυσίμου μέσα στο θάλαμο υψηλής πίεσης. Μόλις η πίεση φθάσει τα 180 bar υπερνικά τη δύναμη του ελατηρίου της βελόνας του μπεκ, η οποία ανασπώνεται και αρχίζει ο ψεκασμός. Λόγω της κίνησης του εμβόλου προς τα κάτω και της συνεχώς αυξανόμενης πίεσης ανοίγει το έμβολο παράκαμψης, η πίεση πέφτει και η βελόνα του μπεκ κλείνει. Έτσι τελειώνει η φάση της προέγχυσης.

Το έμβολο όμως συνεχίζει να κινείται προς τα κάτω και η πίεση αυξάνεται πάλι. Τώρα, όταν η πίεση φθάσει τα 300 bar η βελόνα του μπεκ ανασπώνεται ξανά και ψεκάζεται η κυρίως ποσότητα του καυσίμου. Εδώ η πίεση μπορεί να αυξηθεί μέχρι τα 2050 bar σε καταστάσεις που ο κινητήρας δουλεύει στις υψηλές στροφές και χρειάζεται τη μέγιστη ισχύ. Ο ψεκασμός σταματάει όταν η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα ανοίξει τη μαγνητική βαλβίδα. Τότε, το καύσιμο μπορεί να διαφύγει από την επιστροφή και η βελόνα του μπεκ κλείνει. Για την παροχή του καυσίμου στα μπεκ λειτουργούν δύο αντλίες. Μία ηλεκτρική αντλία καυσίμου που βρίσκεται μέσα στο ρεζερβουάρ και μία μηχανική αντλία καυσίμου. Η ηλεκτρική αντλία καυσίμου στέλνει το καύσιμο με πίεση 0.5 bar στην μηχανική αντλία και η

μηχανική αντλία στην παροχή του καυσίμου των μπεκ με μία πίεση περίπου 7.5 bar.



**Εικόνα 4.1:** Το unit injector Delphi E1 στον πετρελαιοκινητήρα Volvo D13A.

Τα πλεονεκτήματα του UIS είναι:

- Ελάχιστα κατάλοιπα καύσης
- Μικρή εκπομπή ρύπων
- Χαμηλή κατανάλωση καυσίμου
- Υψηλή απόδοση
- Πλήρης απουσία σωληνώσεων υψηλής πίεσης, εφόσον προκειται για μία αρκετά συμπαγή μονάδα, όπου η δημιουργία υψηλής πίεσης περιορίζεται στο χώρο κάθε μεμονωμένου ψεκαστήρα.

Τα μειονεκτήματα του UIS είναι:

- Πρέπει να βρεθεί (ή να δημιουργηθεί) χώρος στο επάνω μέρος της κυλινδροκεφαλής για την τοποθέτηση του συστήματος του κάθε κυλίνδρου αλλά και του κινητήριου εκκεντροφόρου.
- Υπάρχει μία σχετική απώλεια ενέργειας στις χαμηλές στροφές και τα μικρά φορτία, γιατί τα έκκεντρα πρέπει να πιέζουν τους ψεκαστήρες πάντα με τη μέγιστη δύναμη και η παροχή που περισσεύει να εκτονώνεται από βαλβίδες ανακούφισης.

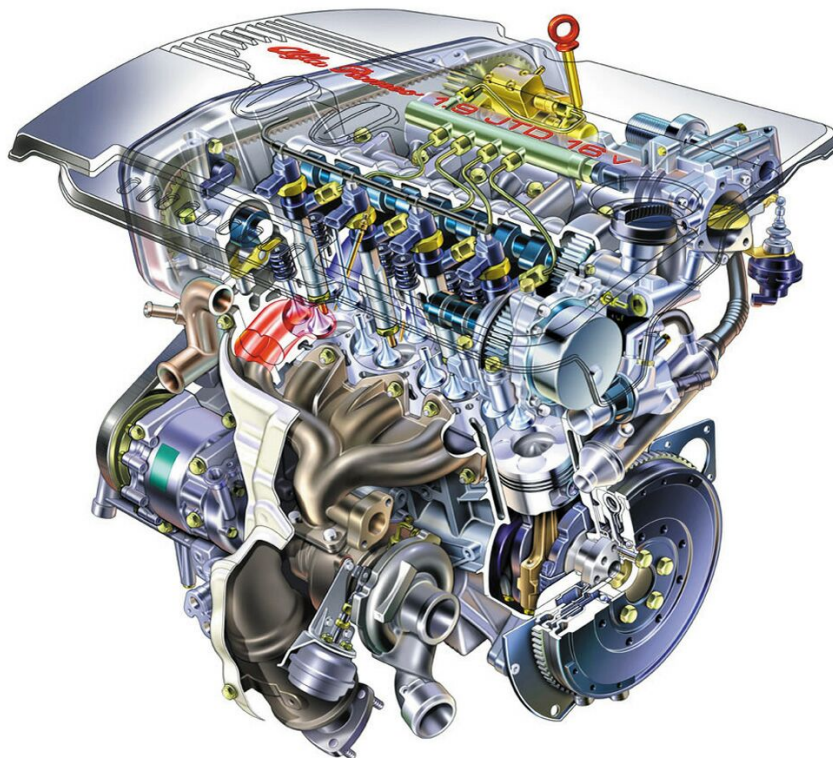
Λόγω των παραπάνω μειονεκτημάτων η πλειονότητα των μικρών πετρελαιοκινητήρων επιμένει στο Common-Rail που περιγράφεται στην

επόμενη ενότητα. Στην πραγματικότητα, η δυνατότητα υψηλής πίεσης κάνει το UIS εφαρμόσιμο στο μέλλον από οποιοδήποτε άλλο σύγχρονο σύστημα ψεκασμού, αλλά οι ειδικές απαιτήσεις τοποθέτησης, που ζητούν επανασχεδιασμό του κινητήρα, επιβραδύνουν την εφαρμογή του σε πολύ μεγάλη κλίμακα.

#### **4.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ COMMON-RAIL**

Το σύστημα ψεκασμού Common-Rail (κοινού συλλέκτη) είναι ένα σύστημα ψεκασμού υψηλής πίεσης για πετρελαιοκινητήρες. Αρχικά βρήκε εφαρμογή μόνο σε μεγάλους κινητήρες Diesel, όπως αυτούς των μεγάλων φορτηγών της Hino Motors του 1995, με συστήματα τροφοδοσίας κατασκευασμένα από την Denso. Το ουσιαστικό πρόβλημα που είχαν να αντιμετωπίσουν στην εφαρμογή τους σε μικρούς κινητήρες ήταν η δημιουργία μικρότερων σε μέγεθος εξαρτημάτων, κυρίως των μπεκ, με ταυτόχρονη ανταπόκριση στις υψηλές απαιτήσεις του συστήματος (αντοχή στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες).

Μία από τις πρώτες εταιρίες που ασχολήθηκαν ενεργά με την εξέλιξη των συστημάτων αυτών ήταν η FIAT. Η έρευνα ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '80, έπειτα από τη διαπίστωση των ανθρώπων του ομίλου ότι οι πετρελαιοκινητήρες θα αποκτούσαν ιδιαίτερη σημασία τα αμέσως επόμενα χρόνια. Το σύστημα ονομάστηκε Unijet και η έρευνα ξεκίνησε σε συνεργασία με την Magneti Marelli. Η πρώτη γενιά του συστήματος παρουσιάστηκε το 1987 ενώ η δεύτερη, η οποία δοκιμάστηκε με επιτυχία τόσο στο εργαστήριο όσο και σε αυτοκίνητα στο δρόμο, το 1989. Την άνοιξη του 1994 η FIAT υπέγραψε συμφωνία με την Bosch η οποία ανέλαβε την τελειοποίηση αλλά και τη βιομηχανική παραγωγή του Unijet. Η Bosch έκανε την κατασκευή των εξαρτημάτων και του προγράμματος λειτουργίας της ηλεκτρονικής διαχείρισης του συστήματος. Η τελική μορφή της τρίτης κατά σειράς γενιάς του Unijet έγινε μέσα στο 1997. Τα πρώτα πετρελαιοκίνητα επιβατηγά αυτοκίνητα που χρησιμοποίησαν το σύστημα Common-Rail ήταν το 1997 το μοντέλο Alfa Romeo 156 JTD και μάλιστα σε δύο εκδόσεις, έναν τετρακύλινδρο 1,9 και έναν πεντακύλινδρο 2,4 λίτρων. Ο πρώτος αποδίδει 105 ίππους και 26 kgm ροπής, ενώ ο δεύτερος 136 ίππους και 31 kgm ροπής. Αργότερα τον ίδιο χρόνο εμφανίστηκε και το μοντέλο Mercedes-Benz C 220 CDI με κινητήρα Common-Rail.



**Εικόνα 4.2:** Ο κινητήρας του Alfa Romeo 156, 1.9 JTD

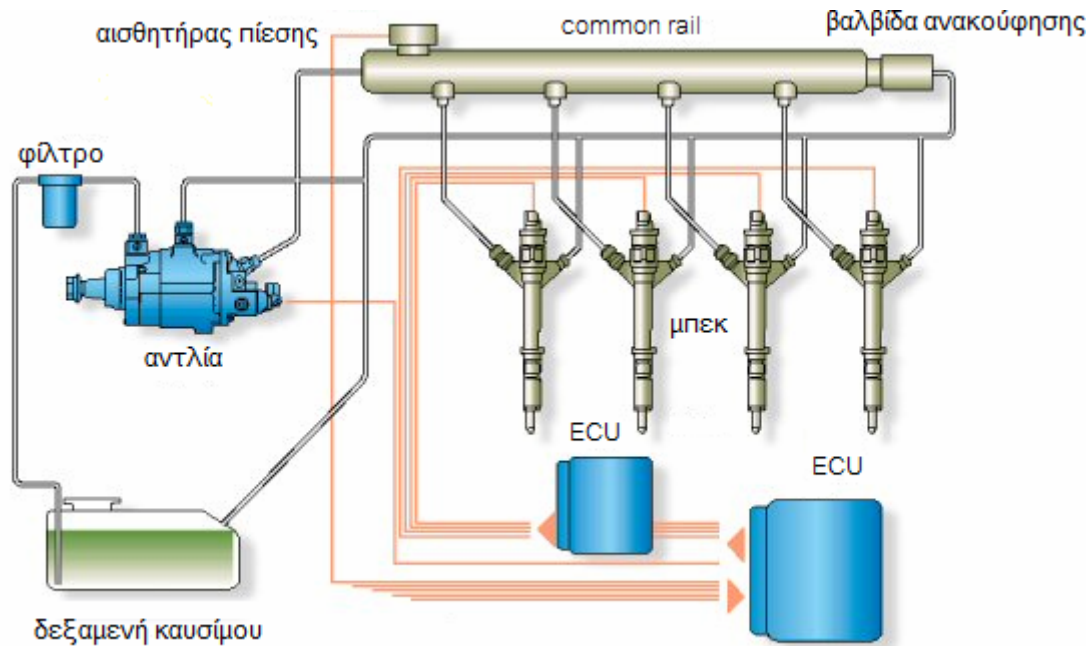
Τα μοντέλα JTD του γκρούπ Fiat, HDI του γκρούπ PSA, dci της Renault, cdi της Mercedes, TDI της VW και D4D της Toyota είναι εξοπλισμένα με κινητήρες Common rail.

Τα συστήματα ψεκασμού πριν το Common-Rail έδιναν ταυτόχρονα αύξηση της πίεσης και του χρόνου ψεκασμού χωρίς να προσφέρουν τίποτα περισσότερο. Με το σύστημα ψεκασμού Common-Rail κατάφεραν οι τεχνικοί να αποσυνδέσουν τη δημιουργία πίεσης καυσίμου από το χρόνο ψεκασμού. Η πίεση του καυσίμου δημιουργείται ανεξάρτητα από τις στροφές του κινητήρα και μπορεί σε κάθε στιγμή να ρυθμιστεί και να επιλεγεί πίεση από 250 μέχρι 1350 bar.

Ο χρόνος ψεκασμού ελέγχεται από την ηλεκτρονική μονάδα μέσα από γρήγορα ηλεκτρικά ενεργοποιούμενα μπεκ, που δίνουν τη δυνατότητα να γίνεται ψεκασμός καυσίμου κατά βούληση, για να κάνουν τον πετρελαιοκινητήρα λιγότερο ρυπογόνο, αθόρυβο και οικονομικό.

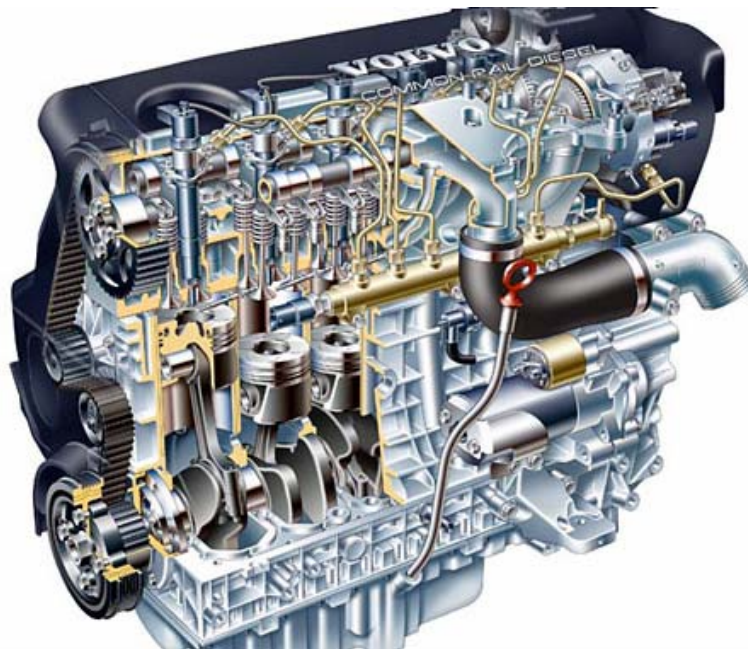
Το σύστημα έγχυσης Common-Rail αποτελείται από μία εγκατάσταση έγχυσης υψηλής πίεσης, ρυθμιζόμενης ηλεκτρονικά, με έναν κοινό σωλήνα διανομής (Common-Rail). Από αυτόν τον σωλήνα μέσω εγχυτήρων ελεγχόμενων από μαγνητικές βαλβίδες, προσάγεται το καύσιμο στους χώρους καύσης.





**Σχήμα 4.8:** Το σύστημα ψεκασμού Common-Rail.

Επειδή στον κοινό σωλήνα έχει αποταμιευτεί μία μεγάλη ποσότητα καυσίμου, σε σχέση με την εκάστοτε απαιτούμενη ποσότητα έγχυσης, αυτή η εγκατάσταση έγχυσης λέγεται και σύστημα έγχυσης με ταμιευτήρα. Ο μεγάλος όγκος του ταμιευτήρα εξασφαλίζει, μαζί με τη μεγάλη ποσότητα που προσφέρεται, μία παροχή καυσίμου στους εγχυτήρες χωρίς ουσιαστικές αυξομειώσεις της πίεσης.



**Εικόνα 4.3:** Κινητήρας diesel με common-Rail της Volvo.



**Εικόνα 4.4:** Το σύστημα Common-Rail του μοντέλου Volvo D7E 7.2L

#### **4.4.1 Δομή του συστήματος Common-Rail**

Ο εξοπλισμός της εγκατάστασης έγχυσης Common-Rail απαρτίζεται από:

- *Κύκλωμα χαμηλής πίεσης.* Το κύκλωμα υποδιαιρείται στην περιοχή πίεσης αναρρόφησης, την περιοχή προπίεσης παροχής και την επιστροφή καυσίμου. Περιλαμβάνει το δοχείο καυσίμου, την προθέρμανση καυσίμου, το φίλτρο καυσίμου, την αντλία παροχής καυσίμου, την ηλεκτρική βαλβίδα διακοπής και τον ψύκτη καυσίμου.
- *Περιοχή υψηλής πίεσης.* Απαρτίζεται από την αντλία υψηλής πίεσης, τους αγωγούς υψηλής πίεσης, τον κοινό σωλήνα και από έναν εγχυτήρα για κάθε κύλινδρο.
- *Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.* Περιλαμβάνει την ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου, τους αισθητήρες, τη ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης στον κοινό σωλήνα, τις μαγνητικές βαλβίδες των εγχυτήρων και τη βαλβίδα διακοπής.

#### **4.4.2 Λειτουργία του συστήματος Common-Rail**

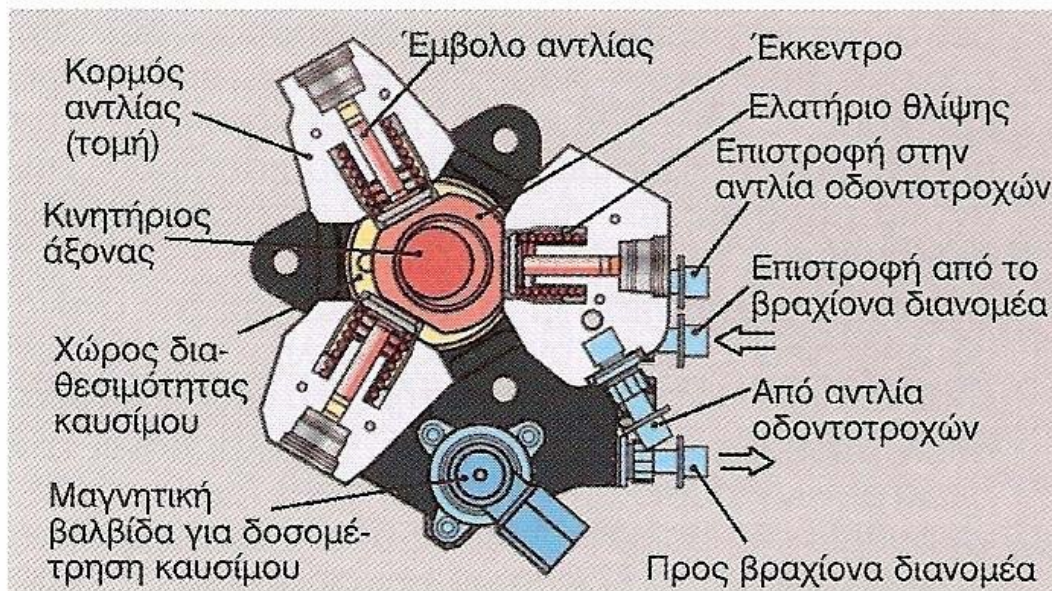
Η λειτουργία του συστήματος ψεκασμού Common-Rail στους πετρελαιοκινητήρες παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το σύστημα ψεκασμού πολλαπλών σημείων των βενζινοκινητήρων. Το καύσιμο και στις δύο περιπτώσεις μέσω ενός κεντρικού συγκεντρωτικού σωλήνα (διακλαδωτήρα) καυσίμου, προωθείται στα μπεκ ψεκασμού, η πίεση του καυσίμου και ο χρόνος

ανοίγματος των μπεκ δίνουν την ποσότητα ψεκασμού του καυσίμου. Σε μία πρώτη γενική εικόνα και τα δύο συστήματα ψεκασμού βενζίνης και Diesel φαίνονται ίδια. Υπάρχουν όμως κατασκευαστικές και λειτουργικές διαφορές.

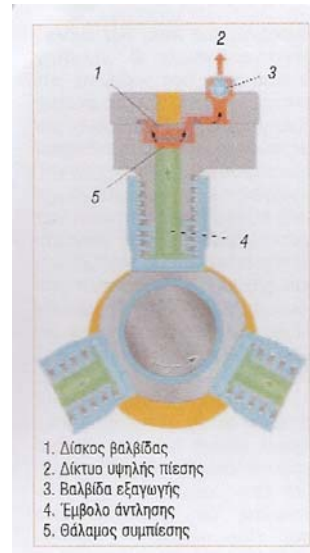
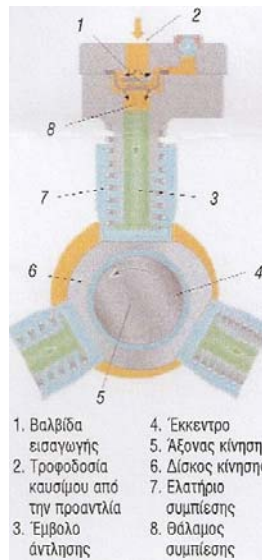
Η μεγαλύτερη διαφορά βρίσκεται στην πίεση ψεκασμού του καυσίμου, που για το σύστημα Common-Rail είναι περίπου 400 φορές μεγαλύτερη από ότι στον βενζινοκινητήρα πολλαπλών σημείων ψεκασμού, και φθάνει τα 1350 bar ή και περισσότερο σε κάποια συστήματα.

Στην περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος Common-Rail που ακολουθεί αναφέρεται σαν παράδειγμα ο κινητήρας της Mercedes CDI Common-Rail.

Στο υποσύστημα χαμηλής πίεσης, η αντλία τροφοδοσίας αναρροφά το καύσιμο από τη δεξαμενή καυσίμου, στη συνέχεια το καύσιμο περνά από τον προθερμαντήρα και από το κύριο φίλτρο καυσίμου τροφοδοτώντας την αντλία υψηλής πίεσης με μία ρυθμιζόμενη πίεση, από μία βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης, περίπου 3.5 bar.



**Σχήμα 4.9:** Αντλία υψηλής πίεσης.



**Σχήμα 4.10:** Η κίνηση αναρρόφησης και κατάθλιψης καυσίμου του περιμετρικού εμβόλου

Η προθέρμανση του καυσίμου είναι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, απαραίτητη για την καλή ροή του καυσίμου κατά τους χειμερινούς μήνες λόγω χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Απαραίτητη είναι επίσης η ψύξη του καυσίμου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αποκτά το καύσιμο από την υψηλή πίεση κατάθλιψης της αντλίας. Ο προθερμαντήρας και το ψυγείο του καυσίμου είναι τοποθετημένα σε ένα σύστημα και η απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση και την ψύξη του καυσίμου λαμβάνεται από το ψυκτικό υγρό του κινητήρα.

Η αντλία υψηλής πίεσης κινείται από ένα έκκεντρο το οποίο παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Η πίεση του καυσίμου ρυθμίζεται από μια βαλβίδα που λειτουργεί με τη σταθερή πίεση ενός ελατηρίου. Η βαλβίδα ανοίγει όταν η πίεση του καυσίμου υπερβεί τη δύναμη πίεσης του ελατηρίου της βαλβίδας και το καύσιμο που περισσεύει επιστρέφει ξανά στην είσοδο της αντλίας τροφοδοσίας. Η βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης καυσίμου της αντλίας τροφοδοσίας όταν είναι ανοικτή διακόπτει την παροχή καυσίμου της αντλίας υψηλής πίεσης και χρησιμοποιείται για τη διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα μόνο σε περίπτωση ανάγκης.

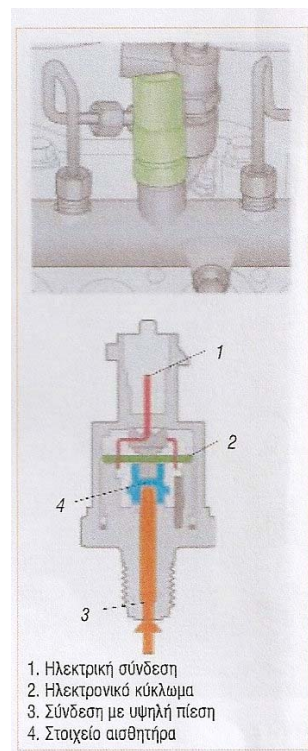
Η διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα γίνεται επιλεκτικά είτε σταματώντας τη λειτουργία των μπεκ ψεκασμού είτε από τη βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης της αντλίας υψηλής πίεσης διακόπτοντας την πίεση του καυσίμου στο υποσύστημα υψηλής πίεσης. Το υποσύστημα υψηλής πίεσης έχει σκοπό να δημιουργεί την απαραίτητη πίεση, να την αποθηκεύει και να τη ρυθμίζει.

Η υψηλή πίεση αυτή δημιουργείται από την αντλία υψηλής πίεσης (σχήμα 4.9) η οποία είναι περιστροφική και εμβολοφόρα ταυτόχρονα. Αποτελείται από τρία έμβολα που είναι τοποθετημένα ανά 120° το ένα από το άλλο περιμετρικά. Τα έμβολα με την κίνησή τους δημιουργούν την απαιτούμενη

πίεση του καυσίμου, ανεξάρτητα από τις στροφές του κινητήρα και καταθλίβουν το καύσιμο στον συγκεντρωτικό σωλήνα.

Η ρύθμιση της πίεσης γίνεται από τη βαλβίδα ρύθμισης πίεσης καυσίμου η οποία ενεργοποιείται από την ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος. Το μέγεθος της έντασης του ρεύματος της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας εξαρτάται από το μέγεθος της απαιτούμενης δύναμης ανοίγματος της βαλβίδας.

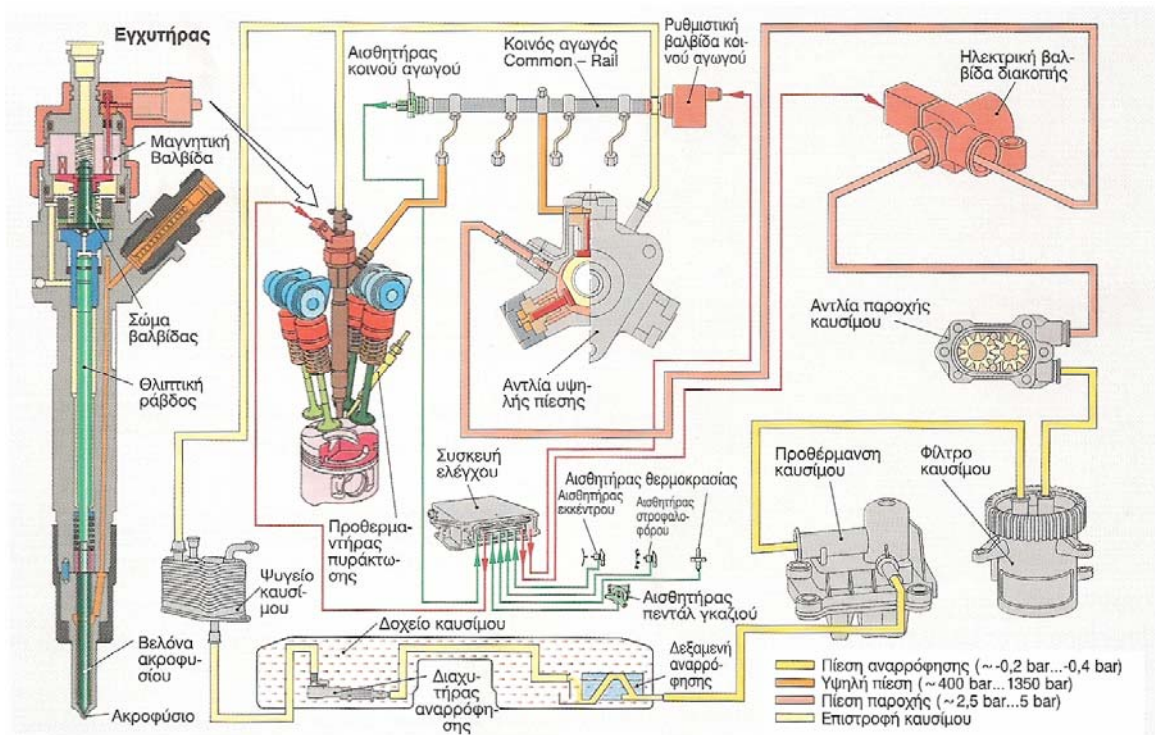
Δηλαδή, μία υψηλή ένταση ρεύματος αντιστοιχεί σε μία υψηλή τιμή πίεσης καυσίμου και το αντίθετο. Η περίσσεια του καυσίμου οδηγείται στην επιστροφή.



**Σχήμα 4.11:** Αισθητήρας πίεσης καυσίμου.

Ένας αισθητήρας μέτρησης της πίεσης του καυσίμου, που είναι κατασκευασμένος από μία μεμβράνη πίεσης και μία μεταβλητή αντίσταση, μετράει την πίεση στον συγκεντρωτικό σωλήνα καυσίμου. Η πληροφορία αυτή μεταφέρεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου σαν ένα μέγεθος τάσης ηλεκτρικού ρεύματος. Από τον συγκεντρωτικό σωλήνα, το καύσιμο καταλήγει στα μπεκ ψεκασμού. Ο συγκεντρωτικός σωλήνας μαζί με τους σωλήνες σύνδεσης των μπεκ, έχει σαν προορισμό, εκτός από τη διανομή του καυσίμου στα μπεκ, την αποθήκευση ποσότητας καυσίμου και την σταθερότητα της τιμής της πίεσης του καυσίμου.

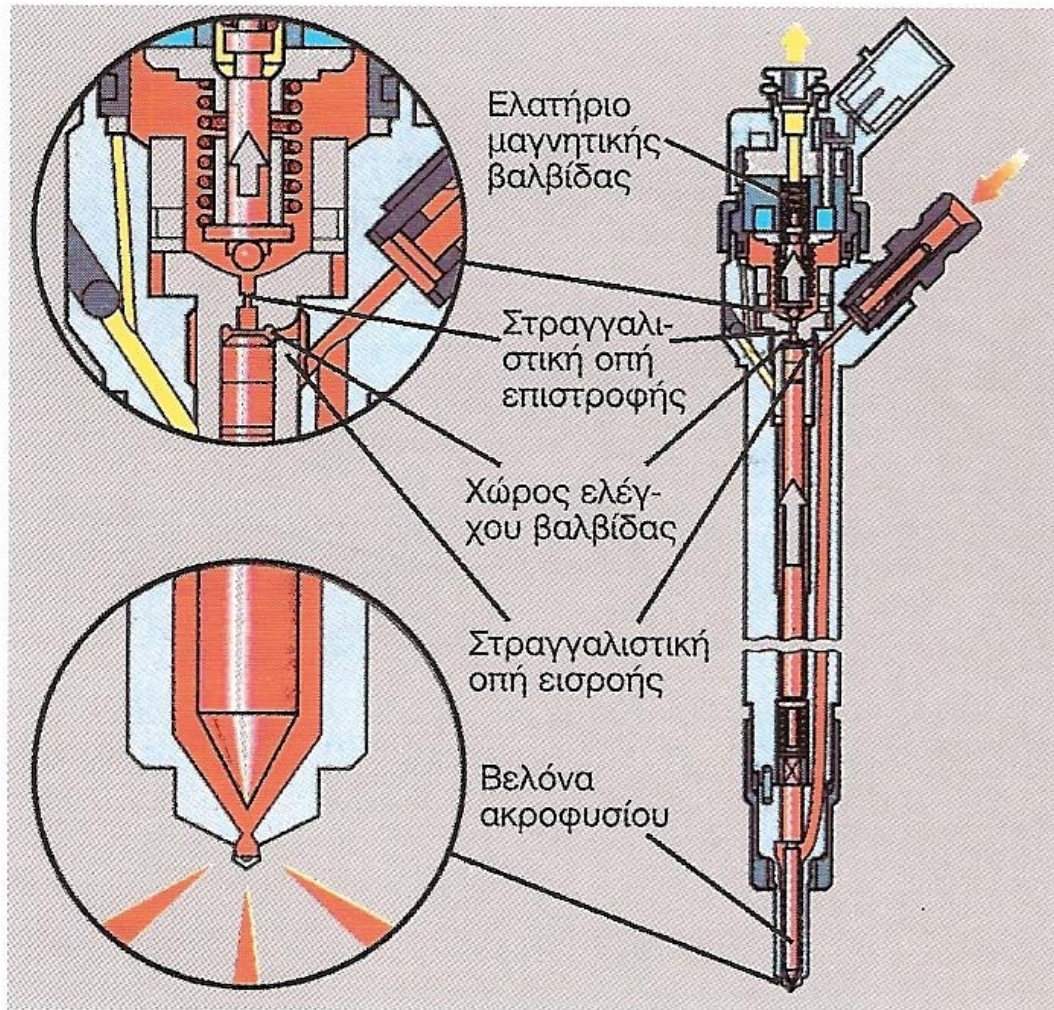
Μεταβολές στην τιμή της πίεσης του καυσίμου δημιουργούνται αφενός από την διακοπτόμενη τροφοδοσία του καυσίμου και αφετέρου από τον διακοπτόμενο ψεκασμό των μπεκ.



**Σχήμα 4.12:** Μηχανισμός μεθόδου έγχυσης Common-Rail.

Τα μπεκ ψεκασμού ενεργοποιούνται ηλεκτρικά με τη βοήθεια της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Η βελόνα όμως του μπεκ εδώ ανοίγει διαφορετικά από τη βελόνα των μπεκ των βενζινοκινητήρων. Ο ηλεκτρομαγνήτης της βαλβίδας του μπεκ επιδρά έμμεσα στη βελόνα. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βελόνας υποβοηθείται από το ίδιο το καύσιμο. Την απαιτούμενη υψηλή τάση για τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες των μπεκ την δημιουργεί η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος με τη βοήθεια ειδικής ηλεκτρονικής διάταξης πυκνωτών. Ο χρόνος που παραμένει ανοικτή η βελόνα των μπεκ εξαρτάται από τον χρόνο που στην κάθε περίπτωση υπολογίζει η ηλεκτρονική μονάδα.

Στην επιστροφή του το καύσιμο περνά από ένα ψυγείο καυσίμου γιατί από την υψηλή πίεση κατάθλιψης η θερμοκρασία του ανεβαίνει στους 130° C. Η θερμοκρασία του καυσίμου πέφτει με τη βοήθεια του ψυκτικού υγρού του κινητήρα στους 80° C και στη συνέχεια το καύσιμο επαναψύχεται σε ένα δεύτερο ψυγείο χαμηλότερης θερμοκρασίας.



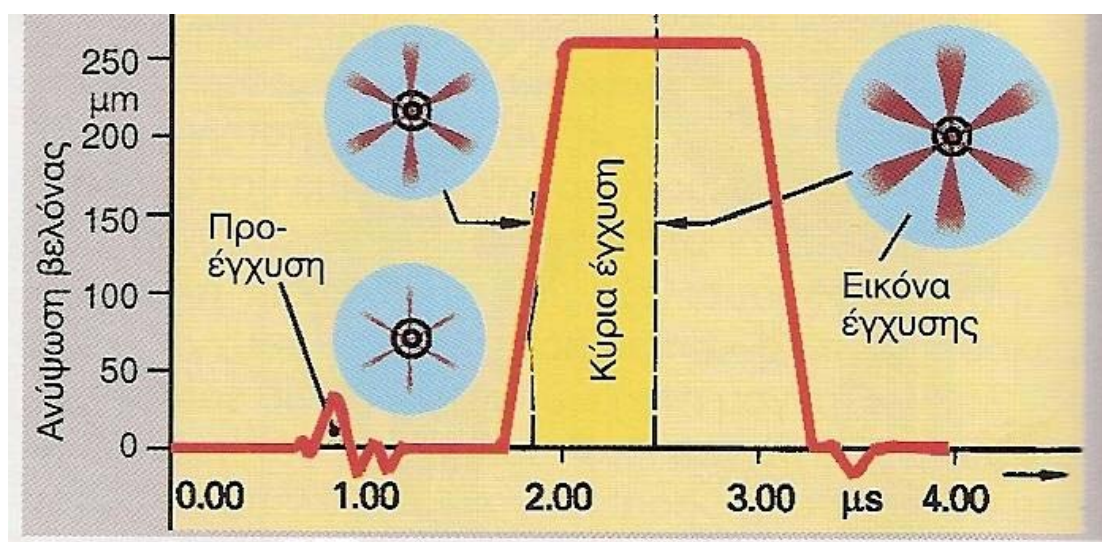
Σχήμα 4.13: Εγχυτήρας.

#### 4.4.3 Πλεονεκτήματα του Συστήματος Common-Rail

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του συστήματος ψεκασμού Common-Rail είναι:

- Η κατασκευή του συστήματος με μεμονωμένα εξαρτήματα βοηθάει στην ανεξάρτητη σχεδίαση, μελέτη και κατασκευή των εξαρτημάτων αυτών και μειώνει το κόστος κατασκευής, επισκευής και συντήρησης.
- Υπάρχει δυνατότητα να επιλέγει το σύστημα την πίεση και το χρόνο ψεκασμού.
- Με την υψηλή πίεση ψεκασμού μπορεί να γίνει σχεδόν πλήρης καύση.
- Με τη δυνατότητα πλήρη ελέγχου του ψεκασμού μπορεί να υπάρχει προέγχυση καυσίμου λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν τον κανονικό ψεκασμό, προθερμαίνοντας έτσι το χώρο καύσης.

- Η βασική προέγχυση και ανάφλεξη δεν γίνεται ακαριαία, είναι πιο «προοδευτική» και έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται ο θόρυβος λειτουργίας και τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).
- Ο ελεγχόμενος και γρήγορος ψεκασμός που πραγματοποιείται με ηλεκτρικά μπεκ, συμβάλλει στην καθαρή καύση.
- Υπάρχει δυνατότητα πριν το τέλος της καύσης να ψεκαστεί καύσιμο στον κύλινδρο με σκοπό τη μείωση των ρύπων του οξειδίου του αζώτου.



**Σχήμα 4.14:** Πορεία έγχυσης με προέγχυση.

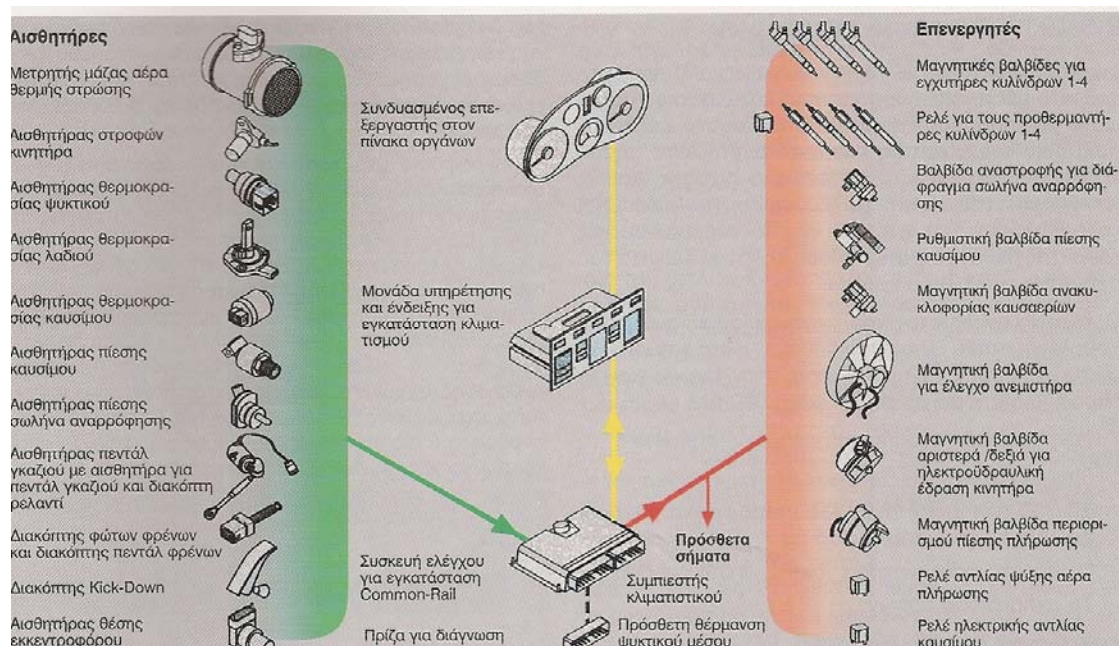
#### 4.4.4 Αισθητήρες και Επενεργητές του Συστήματος Common-Rail

Στο σύστημα Common-Rail χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων (sensors) και επενεργητών (actuators) για τον έλεγχο και τη διαχείριση του κινητήρα. Οι αισθητήρες συλλέγουν τα στοιχεία λειτουργίας π.χ. φορτίο, στροφές, θερμοκρασία λειτουργίας και τις συνθήκες περιβάλλοντος όπως θερμοκρασία αναρροφούμενου αέρα και ατμοσφαιρική πίεση. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται στη συσκευή ελέγχου (εγκέφαλος) η οποία είναι ένας μικροϋπολογιστής. Με τις πληροφορίες που στέλνονται από τους αισθητήρες και με τη βοήθεια τιμών που έχουν εισαχθεί στη μνήμη της συσκευής ελέγχου αυτή κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς και έτσι μπορεί να καθοδηγήσει ανάλογα π.χ. τους επενεργητές του συστήματος για την έγχυση του καυσίμου. Οι επενεργητές επιτρέπουν την ηλεκτρική πρόσβαση στα όργανα υψηλής πίεσης ψεκασμού και, αν χρειάζεται, στο σύστημα επαναφοράς καυσαερίων και στο σύστημα υπερτροφοδοσίας με σκοπό τη μεταβολή των τιμών των μετρούμενων μεγεθών προς τις επιθυμητές τιμές.

Το κύκλωμα διαχείρισης ενός κινητήρα Common-Rail φαίνεται στο σχήμα 4.15. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται όλοι οι αισθητήρες και οι



επενεργητές που χρησιμοποιούνται καθώς και η λειτουργία καθενός από αυτούς.



**Σχήμα 4.15:** Σχηματικό κύκλωμα διαχείρισης κινητήρα Common-Rail.

**Πίνακας 4.1:** Αισθητήρες και Επενεργητές Διαχείρισης Κινητήρα Common-Rail

Όνομα	Είδος Σήματος	Χρήση
Μετρητής μάζας αέρα θερμής στρώσης	Μεταβλητή τάση λόγω μεταβολής της αντίστασης	Για τον καθορισμό της αναρροφηθείσας μάζας αέρα και κυρίως για τη ρύθμιση των επιστρεφόμενων καυσαερίων
Επαγωγικός αισθητήρας στροφών	Εναλλασσόμενη τάση	Πληροφορίες για τις στροφές με σκοπό τον καθορισμό της εγγεόμενης ποσότητας και της έναρξης της έγχυσης
Αισθητήρες θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου και λαδιού	Μεταβλητή τάση λόγω μεταβολής της αντίστασης	Θερμοκρασία κινητήρα
Αισθητήρας θερμοκρασίας καυσίμου	Μεταβλητή τάση λόγω μεταβολής της αντίστασης	Για τον καθορισμό της εγγεόμενης μάζας

Αισθητήρας πίεσης καυσίμου	Μεταβλητή τάση λόγω μεταβολής της αντίστασης	Μέτρηση πίεσης στον κοινό σωλήνα διανομής με σκοπό τη ρύθμιση της πίεσης
Αισθητήρας πίεσης σωλήνα αναρρόφησης	Μεταβλητή τάση λόγω μεταβολής της αντίστασης	Μέτρηση της πίεσης πλήρωσης με σκοπό τη ρύθμισή της
Αισθητήρας πεντάλ γκαζιού με διακόπτη ρελαντί	Μεταβλητή τάση λόγω μεταβολής της αντίστασης και ψηφιακό σήμα τάσης	Πληροφορίες σχετικά με την περιοχή λειτουργίας με φορτίο ή ρελαντί
Διακόπτης φώτων φρένων	Ψηφιακό σήμα τάσης	Πληροφορία σχετικά με την έναρξη πέδησης
Διακόπτης Kick-Down	Ψηφιακό σήμα τάσης	Για την αλλαγή σχέσης (προς τα κάτω) στο αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων
Αισθητήρας θέσης εκκεντροφόρου	Τάση Hall	Πληροφορίες σχετικά με τη θέση του πρώτου κυλίνδρου στη φάση συμπίεσης για την έναρξη της έγχυσης
Μαγνητική βαλβίδα στον εγχυτήρα	Παλμός τάσης	Έλεγχος της εξέλιξης της έγχυσης
Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης	Παλμός τάσης	Ρύθμιση της πίεσης καυσίμου στον κοινό σωλήνα

#### 4.4.5 Επισκευή του Συστήματος Common-Rail

Στο σύστημα αυτό πρέπει να ακολουθούνται πολύ προσεκτικά οι τεχνικές οδηγίες του κατασκευαστή για την επισκευή, συντήρηση και διάγνωση βλαβών του συστήματος. Η μέτρηση τόσο υψηλών πιέσεων του καυσίμου δεν είναι δυνατή με τα συμβατικά μανόμετρα. Αντίθετα, είναι απαραίτητα ειδικά μανόμετρα για την επαλήθευση των τιμών ένδειξης του υπολογιστή. Η ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος στο πρόγραμμα αυτοδιάγνωσης έχει τη δυνατότητα ελέγχου διαφόρων παραμέτρων όπως η στιγμιαία μέτρηση της πίεσης του καυσίμου.

Οι βλάβες καταγράφονται στη μνήμη καταχώρησης βλαβών της ηλεκτρονικής μονάδας. Πριν από κάθε επισκευή πρέπει πρώτα να χρησιμοποιείται η αυτοδιάγνωση και στη συνέχεια να γίνεται η επαλήθευση των καταχωρημένων βλαβών μέσω των κατάλληλων μετρήσεων.

Στα αυτοκίνητα της Mercedes διατίθεται ο σωλήνας πλήρης ως ανταλλακτικό μαζί με το ρυθμιστή και τον αισθητήρα πίεσης, όπου μπορούν να αντικατασταθούν και ανεξάρτητα ο ρυθμιστής και ο αισθητήρας πίεσης.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών επισκευής στο υποσύστημα υψηλής πίεσης πρέπει να υπάρχει τέλεια καθαριότητα και να αλλάζονται πάντα οι χρησιμοποιημένες χάλκινες στεγανοποιητικές ροδέλες. Σε περίπτωση αντικατάστασης των μπεκ, πριν την τοποθέτηση τους, πρέπει να αλείφονται καλά με ειδική πάστα θερμικής προστασίας γιατί διαφορετικά καρβουνιάζουν και δεν ξεβιδώνονται. Ο έλεγχος των μπεκ απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή γιατί υπάρχει υψηλή τάση κατά το χρόνο εντολής ψεκασμού και γίνεται με τη μέτρηση της ωμικής αντίστασης της μαγνητικής βαλβίδας.

Για τη διάγνωση βλαβών, τον έλεγχο και την επισκευή του συστήματος Common-Rail είναι απαραίτητη η συσκευή διάγνωσης βλαβών (αποκωδικοποιητής βλαβών).

#### 4.5 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ

Ο εγχυτήρας (μπεκ) είναι ένα στοιχείο το οποίο προσάγει μία συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου από την αντλία εγχύσεως στο θάλαμο καύσης. Ο εγχυτήρας κατευθύνει το καύσιμο με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση του κινητήρα και η όσο το δυνατόν μικρότερη παραγωγή ρύπων. Ο εγχυτήρας ψεκασμού επιτελεί τους σκοπούς αυτούς με δύο τρόπους:

- Μετατρέποντας το καύσιμο σε νέφος σταγονιδίων
- Διασκορπώντας το νέφος σε συγκεκριμένη μορφή

Η μετατροπή του καυσίμου σε νέφος σταγονιδίων είναι μία διαδικασία κατά την οποία το καύσιμο διασπάται σε λεπτά σταγονίδια. Αυτό είναι απαραίτητο για να γίνει η ανάμειξη του συμπιεσμένου αέρα με το καύσιμο ώστε να σχηματιστεί το καύσιμο μείγμα. Για να αναμειχθεί ο αέρας γρήγορα με το νέφος των σταγονιδίων του καυσίμου, θα πρέπει το νέφος του καυσίμου που θα ψεκαστεί μέσα στο θάλαμο καύσης να έχει συγκεκριμένη μορφή η οποία αναφέρεται σαν μορφή νέφους ψεκασμού. Η μορφή του νέφους ψεκασμού εξαρτάται από το σχήμα του θαλάμου καύσης και τον τύπο του εγχυτήρα.

Επίσης, θα πρέπει ο εγχυτήρας να διαθέτει καλή στεγανότητα (να μη στάζει) ώστε να αποτρέπεται να εισέλθει ανεπιθύμητη ποσότητα καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης. Η διαρροή αυτή των εγχυτήρων έχει σαν αποτέλεσμα υψηλά επίπεδα ρύπων.

Ο εγχυτήρας αποτελείται από δύο μέρη:

- Τη βάση συγκράτησης
- Το ακροφύσιο ψεκασμού

Η βάση συγκράτησης υποστηρίζει το ακροφύσιο πάνω στην κυλινδροκεφαλή και μάλιστα μέσα στο θάλαμο καύσης. Το ακροφύσιο

ψεκασμού είναι το κάτω μισό του εγχυτήρα και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα προκειμένου να επιτευχθεί ο ψεκασμός του καυσίμου. Το ακροφύσιο κατευθύνει το καύσιμο μέσα στο θάλαμο καύσης. Επίσης, περιλαμβάνεται μία βαλβίδα με την έδρα της, η οποία αποτρέπει τη ροή καυσίμου όταν η βαλβίδα «κάθεται» στην έδρα της. Όταν η βαλβίδα ανασηκωθεί από την έδρα της, τότε ψεκάζεται καύσιμο.

Το ακροφύσιο πρέπει να εγχέει το καύσιμο στο χώρο καύσης με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται ένα όσο το δυνατόν καλύτερο μείγμα καυσίμου-αέρα. Έτσι, ανάλογα με τη μέθοδο καύσης και το σχήμα του χώρου καύσης πρέπει να καθορίζονται: η πίεση έγχυσης, η διάρκεια έγχυσης καθώς και η κατεύθυνση της δέσμης του καυσίμου.

Οι πιέσεις ανοίγματος του ακροφυσίου είναι σχετικά χαμηλές, μεταξύ 80 και 250 bar. Κατά τον εμβολισμό κατάθλιψης, η πίεση μέσα στον αγωγό και το ακροφύσιο μπορεί να φτάσει τα 2000 bar.

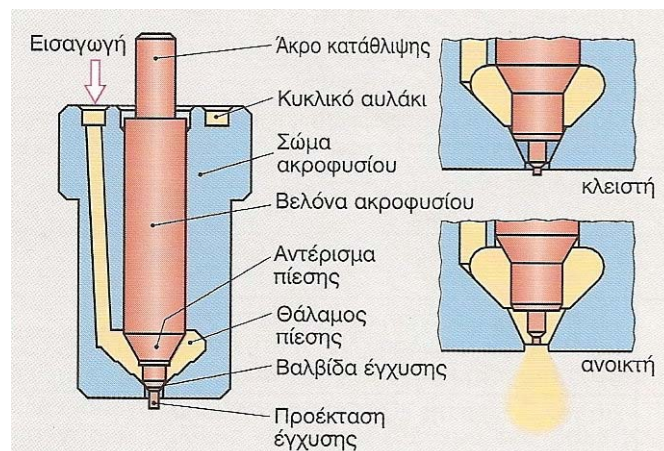
Τα ακροφύσια των εγχυτήρων επηρεάζουν σημαντικά τα εξής:

- Τη λειτουργία του κινητήρα
- Την εξέλιξη της καύσης
- Το θόρυβο του κινητήρα, ιδιαίτερα στο ρελαντί
- Το σχηματισμό ρύπων.

Διακρίνονται δύο κύρια είδη ακροφυσίων:

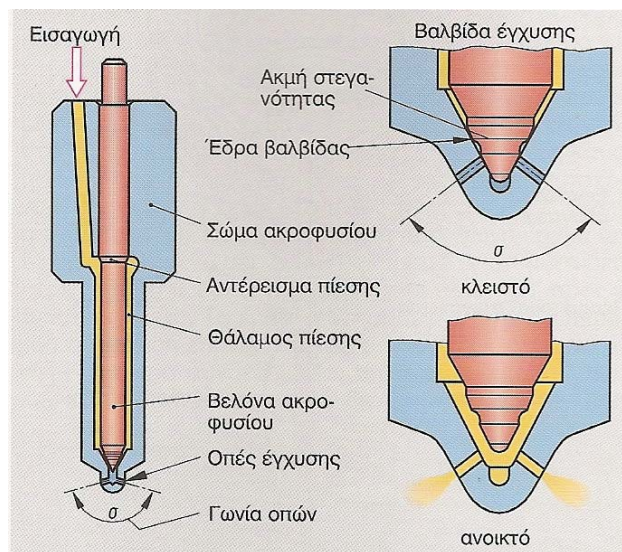
- Το ακροφύσιο με προέκταση βελόνας
- Το ακροφύσιο με οπές (διάτρητο ακροφύσιο)

Το ακροφύσιο με προέκταση βελόνας (σχήμα 4.20) χρησιμοποιείται σε κινητήρες με προθάλαμο ή στροβιλοθάλαμο. Η πίεση ανοίγματος του ακροφυσίου είναι μεταξύ 80 και 125 bar. Η βελόνα του ακροφυσίου έχει στο κάτω άκρο της μία προέκταση με ειδική διαμόρφωση, η οποία εισέρχεται μέσα στην οπή εκτόξευσης στον κορμό του ακροφυσίου. Η μορφή και οι διαστάσεις της προέκτασης επηρεάζουν τη μορφή της δέσμης έγχυσης.



**Σχήμα 4.16:** Ακροφύσιο με προέκταση βελόνας.

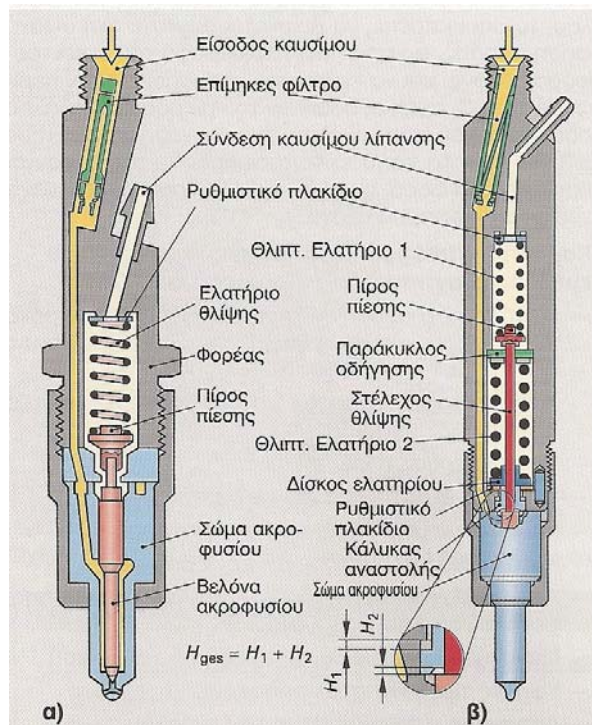
Τα διάτρητα ακροφύσια (σχήμα 4.17) χρησιμοποιούνται σε κινητήρες άμεσης έγχυσης γιατί με αυτά τα ακροφύσια πραγματοποιείται μία ιδιαίτερα λεπτή κατανομή του καυσίμου. Η πίεση ανοίγματος του ακροφυσίου είναι μεταξύ 150 και 250 bar. Η βελόνα του ακροφυσίου είναι συνήθως κωνική. Υπάρχουν ακροφύσια μιας οπής και ακροφύσια πολλών οπών. Τα ακροφύσια μιας οπής έχουν μόνο μία οπή από την οποία εκτοξεύεται το καύσιμο. Στα ακροφύσια πολλών οπών υπάρχουν συνήθως έως και 6 οπές συμμετρικά διατεταγμένες. Οι διάμετροι των οπών (περίπου 0.20 έως 0.45 mm) και το μήκος τους επηρεάζουν τη μορφή και το βάθος διείδυσης της δέσμης του καυσίμου.



**Σχήμα 4.17:** Διάτρητο ακροφύσιο.

Το ακροφύσιο είναι τοποθετημένο σε ένα φορέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.18, ο οποίος είναι κοχλιωμένος στην κυλινδροκεφαλή του κινητήρα. Ο φορέας του ακροφυσίου είναι εφοδιασμένος με ένα ή δύο θλιπτικά ελατήρια.

Αρχικά, οι εγχυτήρες διέθεταν μηχανική ενεργοποίηση. Οι σύγχρονοι εγχυτήρες είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι. Η πίεση ψεκασμού καθώς και η έναρξη και το πέρας του ψεκασμού ελέγχονται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 4.4.2.



**Σχήμα 4.18:** Φορέας ακροφυσίου ενός και δύο ελατηρίων.

Η τελευταία τεχνολογική εφαρμογή όσον αφορά τα μπεκ είναι τα πιεζοηλεκτρικά μπεκ που λειτουργούν βάση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου ή για να είμαστε πιο ακριβείς στο φαινόμενο της ηλεκτροδιαστολής. Τα πιεζοηλεκτρικά μπεκ περιέχουν εκατοντάδες πολύ μικρούς κρυστάλλους οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να διαστέλλονται όταν βρεθούν μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο και έτσι προκαλείται το άνοιγμα της βελόνας των μπεκ.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτή η καινοτομία είναι ότι τα μπεκ έχουν πολύ μικρότερο βάρος και δουλεύουν με ταχύτητα διπλάσια από αυτή των ηλεκτρομαγνητικών (φτάνουν το 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου). Τα μηχανικά μέρη έχουν ελαττωθεί κατά 75% όπως και η μάζα τους. Η αδράνεια της μάζας και οι τριβές δεν επηρεάζουν πλέον τόσο πολύ την λειτουργία τους. Ακόμα έχουν την ικανότητα σχηματισμού πιο ισχνής μορφοποίησης ψεκαζόμενου καυσίμου (fine spray pattern), το οποίο εξαερώνεται πολύ πιο εύκολα στον θάλαμο καύσης και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη αναγόμευση του κυλίνδρου.



**Εικόνα 4.5:** Πιεζοηλεκτρικό μπεκ.

Η δυνατότητα ελέγχου των μπεκ σε τέτοια ακρίβεια φέρει σαν αποτέλεσμα μια πιο βελτιωμένη και πιο ελέγξιμη διαχείριση με οφέλη την χαμηλότερη εκπομπή ρύπων την καλύτερη κατανάλωση καυσίμου, την αύξηση της ιπποδύναμης όπως και την ελάττωση του θορύβου του κινητήρα.

## 5. ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ

### 5.1 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗ ΕΙΣΡΟΗ ΑΕΡΑ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης εκτός από το διαχωρισμό τους με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιούν και τον κύκλο λειτουργίας τους, διακρίνονται και σε δύο άλλες κατηγορίες:

- Μηχανές με φυσική εισροή αέρα
- Μηχανές με βεβιασμένη εισροή αέρα.

Αυτός ο διαχωρισμός αφορά και τις βενζινομηχανές και τις πετρελαιομηχανές.

Στις μηχανές με φυσική εισροή ο αέρας κατά τη διάρκεια της εισαγωγής, εισέρχεται στους κυλίνδρους της μηχανής λόγω της υποπίεσης που δημιουργεί το έμβολο με την κίνησή του. Το πιστόνι κατεβαίνοντας από το Α. Ν. Σ. στο Κ. Ν. Σ., κατά το χρόνο εισαγωγής θα έπρεπε θεωρητικά να τραβήξει μέσα στον κύλινδρο μία ποσότητα αέρα από το περιβάλλον σε ατμοσφαιρική πίεση και με όγκο ίσο με τον κυβισμό του κυλίνδρου. Στην περίπτωση αυτή, η ποσότητα του αέρα που γεμίζει τελικά τους κυλίνδρους εξαρτάται από τις αντιστάσεις που πρέπει αυτός να υπερνικήσει κατά την κίνησή του μέσα από τους αγωγούς εισόδου και τις βαλβίδες εισαγωγής. Εξαρτάται, δηλαδή, από το πόσο ελεύθερα μπορούν οι κύλινδροι να εισπνέουν αέρα. Έτσι, στην πράξη η πραγματική ποσότητα του εισπνεόμενου αέρα είναι αισθητά μικρότερη από τη θεωρητικά αναμενόμενη και μάλιστα τα πράγματα γίνονται ακόμα χειρότερα όσο οι στροφές ανεβαίνουν, γιατί όσο λιγότερος είναι ο χρόνος, τόσο λιγότερος αέρας προλαβαίνει να εισέλθει μέσα στον κύλινδρο λόγω των τριβών και της αδράνειας της μάζας του.

Η μελέτη και ο κατάλληλος σχεδιασμός των αυλών εισαγωγής μπορεί βέβαια να αυξήσει το βαθμό πλήρωσης του κυλίνδρου και προς την κατεύθυνση αυτή έχουν γίνει μερικά τεχνολογικά άλματα, αλλά τελικά η πράξη δείχνει ότι όσο και αν βελτιωθεί η ροή πάντα θα υπάρχει ένα αξεπέραστο όριο στη μάζα του αέρα (άρα και του ψεκαζόμενου καυσίμου) η οποία μπορεί με φυσικό τρόπο να εισχωρήσει στους κυλίνδρους του κινητήρα. Το όριο αυτό δεν είναι άλλο από το μέγεθος της ατμοσφαιρικής πίεσης γιατί αυτή είναι τελικά η δύναμη η οποία σπρώχνει τον αέρα να καλύψει το κενό που αφήνει πίσω του το πιστόνι καθώς κατέρχεται. Ακόμη, η ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στους κυλίνδρους εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα και συνεπώς από τη θερμοκρασία.

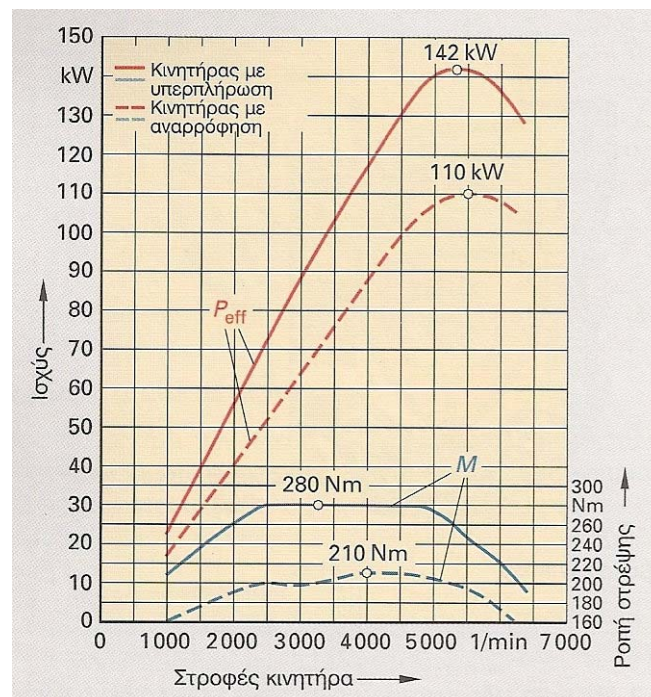
Η ισχύς ενός κινητήρα είναι ανάλογη με την ποσότητα του εισερχόμενου σε αυτόν αέρα αφού όσος περισσότερος αέρας εισέρχεται στους κυλίνδρους



τόσο περισσότερο καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για δεδομένο όγκο κυλίνδρων η ποσότητα του αέρα είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα και συνεπώς προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ισχύς ενός κινητήρα μπορεί να αυξηθεί με την προσυμπίεση του αέρα, πριν αυτός εισέλθει στους κυλίνδρους. Αυτή ακριβώς η αναγκαστική εισαγωγή ή προσυμπίεση του αέρα ονομάζεται υπερτροφοδότηση ή υπερπλήρωση του κινητήρα.

Ο βαθμός υπερτροφοδότησης δείχνει την αύξηση της πυκνότητας του αέρα σε σύγκριση με την αντίστοιχη ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα. Ο βαθμός υπερσυμπίεσης εξαρτάται από το σύστημα που εφαρμόζεται (σχέση πίεσης που επιτυγχάνεται) και μπορεί να είναι μέγιστος, με δεδομένη την αύξηση της πίεσης όταν η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα (αέρα πλήρωσης) δεν αυξάνεται ή επανέρχεται στην αρχική της τιμή με τη βοήθεια ψύξης από τον εναλλάκτη αέρα-αέρα (ψυγείου αέρα, intercooler).

Γενικά, η υπερτροφοδότηση σε όλους τους τύπους των μηχανών έχει πολύ θετικά αποτελέσματα αφού μπορεί να αυξήσει την ισχύ και τη ροπή τους (σχήμα 5.1). Έτσι, τα πλεονεκτήματά της αξιοποιούνται κατάλληλα από τους κατασκευαστές των αυτοκινήτων, είτε για να αυξήσουν την ισχύ των μηχανών που ήδη χρησιμοποιούνται σε κάποιες κατηγορίες οχημάτων, είτε για να κατασκευάζουν μικρότερες σε μέγεθος μηχανές, με μεγάλη όμως ισχύ. Ειδικά για τους πετρελαιοκινητήρες τα συστήματα υπερτροφοδότησης ήταν το μόνο μέσο ώστε να βελτιωθεί η ειδική ισχύς τους και να πλησιάσουν την ιπποδύναμη των βενζινοκινητήρων.



**Σχήμα 5.1:** Σύγκριση ισχύος και ροπής στρέψης μεταξύ κινητήρα με υπερπλήρωση και κινητήρα αναρρόφησης του ίδιου κυβισμού.

Τα ζητούμενα για το σχεδιαστή που επιλέγει να υπερτροφοδοτήσει έναν κινητήρα είναι:

- Είδος κίνησης για το συμπιεστή
- Είδος συμπιεστή
- Πίεση υπερτροφοδότησης.

Η πίεση υπερτροφοδότησης υπολογίζεται σαν ποσοστό αύξησης της ατμοσφαιρικής. Όπως είναι γνωστό η ατμοσφαιρική πίεση ορίζεται ως πίεση 1 bar. Συνεπώς για υπερτροφοδότηση 0.8 bar αυξάνεται κατά 80% η πίεση μέσα στον κύλινδρο και περίπου ισόποσα η παραγόμενη ροπή.

## **5.2 ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

Στους πετρελαιοκινητήρες, η υπερτροφοδότηση είναι περισσότερο αποδοτική από ότι στους βενζινοκινητήρες. Αυτό συμβαίνει, γιατί εδώ ο χρόνος μέσα στον οποίο πρέπει να γίνει η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα κατά τη διάρκεια της καύσης είναι πολύ μικρότερος και συνεπώς υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για παρουσία περισσότερου οξυγόνου. Δηλαδή, με την υπερτροφοδότηση ένας πετρελαιοκινητήρας μπορεί να αξιοποιήσει περισσότερο οξυγόνο και άρα να αυξήσει την ισχύ που αποδίδει. Η αύξηση του οξυγόνου στον κύλινδρο επιδρά επίσης στον περιορισμό της καθυστέρησης της αυτανάφλεξης του καυσίμου, γεγονός που βοηθά στην ομαλότερη λειτουργία της μηχανής.

Στους πετρελαιοκινητήρες ο βαθμός υπερπλήρωσης περιορίζεται από τη μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας των κινητήρων αυτών. Με σκοπό να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά, οι υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες έχουν χαμηλότερη σχέση συμπίεσης από τους αντίστοιχους ατμοσφαιρικούς. Σκοπός της υπερτροφοδότησης είναι να επιτρέψει στον κινητήρα την εισαγωγή και καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, ώστε να αυξηθεί η πίεση των καυσαερίων και άρα η αποδιδόμενη ισχύς του.

Στον πίνακα 5.1 γίνεται μία σύγκριση των κινητήρων HDi 90 και HDi 110 FAP (Diesel) με τους VTi 95 και VTi 120 (Otto) του Citroen C3 Picasso.

Οι δύο κινητήρες Diesel HDi 90 και 110 φέρουν την υπογραφή «Airdream» που χαρακτηρίζει τα πιο καθαρά αυτοκίνητα της εταιρείας. με κυβισμό 1,6 λίτρα και 16 βαλβίδες, αυτοί οι κινητήρες διαθέτουν ψεκασμό υψηλής πίεσης με Common Rail και υπερσυμπιεστή. Τα επίπεδα κατανάλωσης είναι ιδιαίτερα χαμηλά. στην έκδοση HDi 110 FAP. Η λειτουργία overboost του υπερσυμπιεστή αυξάνει στιγμιαία τη δυνατότητα επιτάχυνσης σε περίπτωση που απαιτηθεί δυνατά το πεντάλ του γκαζιού. Το φίλτρο σωματιδίων συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, αποτρέποντας την απόρριψη σωματιδίων στην πολλαπλή εξαγωγή. καταργώντας τα σωματίδια στα όρια που μπορούν να μετρηθούν.

**Πίνακας 5.1:** Τεχνικά Χαρακτηριστικά των Κινητήρων του Citroen C3 Picasso

Κινητήρας	1.4 VTi 95 Βενζίνης	1.6 VTi 120 Βενζίνης	1.6 HDi 90 Πετρελαίου	1.6 HDi 110 Πετρελαίου
Τροφοδοσία	Ηλεκτρονικός άμεσος ψεκασμός	Ηλεκτρονικός άμεσος ψεκασμός	Ηλεκτρονικός άμεσος ψεκασμός Common Rail & Τούρμπο	Ηλεκτρονικός άμεσος ψεκασμός Common Rail & Τούρμπο Μεταβλητής γεωμετρίας
Μέγιστη Ισχύς (kW/RPM)	70/6000	88/5660	67/4000	81/4000
Μέγιστη Ισχύς (HP/RPM)	95/6000	120/5660	90/4000	109/4000
Μέγιστη Ροπή (Nm/RPM)	135/4000	160/4250	215/1750	240-260/1750
Προδιαγραφές Euro	Euro 4	Euro 5	Euro 4	Euro 4
Κατανάλωση πόλης (lt/100km)	9.1-9.2	9.4-9.5	6.0-6.1	6.4-6.5
Κατανάλωση εκτός πόλης (lt/100km)	5.5-5.6	5.5-5.6	4.0-4.1	4.1-4.2
Μεικτή κατανάλωση (lt/100km)	6.8-6.9	6.9-7.0	4.7-4.8	4.9-5.0

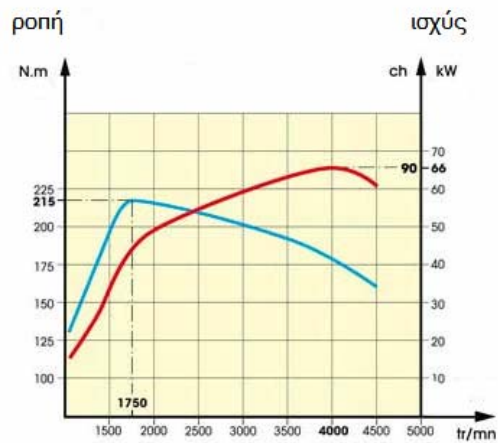
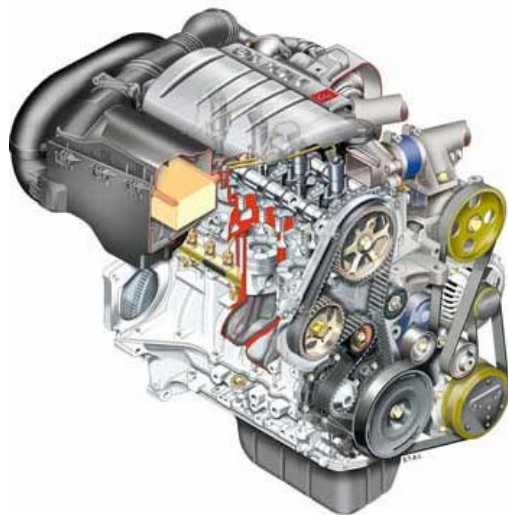
Οι δύο κινητήρες βενζίνης τελευταίας γενιάς VTi 95 και VTi 120 διαθέτουν 16 βαλβίδες με μεταβλητό χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής και έχουν σύστημα πολλαπλού ψεκασμού. Έτσι παρέχουν υψηλές αποδόσεις: 95 HP CEE για τον 1.4 και 120 HP CEE για τον 1.6, καθώς και βελτιωμένα επίπεδα κατανάλωσης.

Από τον πίνακα 5.1 και τις εικόνες 5.1 και 5.2 παρατηρούμε ότι η μέγιστη ροπή στον πετρελαιοκινητήρα εμφανίζεται σε περιοχή σχετικά χαμηλών στροφών (1750 RPM) σε αντίθεση με τον βενζινοκινητήρα όπου η μέγιστη ροπή εμφανίζεται σε περιοχή σχετικά υψηλών στροφών (4000 RPM). Επίσης, η μέγιστη ροπή του HDi 90 είναι 55% μεγαλύτερη από αυτή του VTi. Ακόμα, στην περιοχή από 1500 RPM έως 4500 RPM ο πετρελαιοκινητήρας έχει

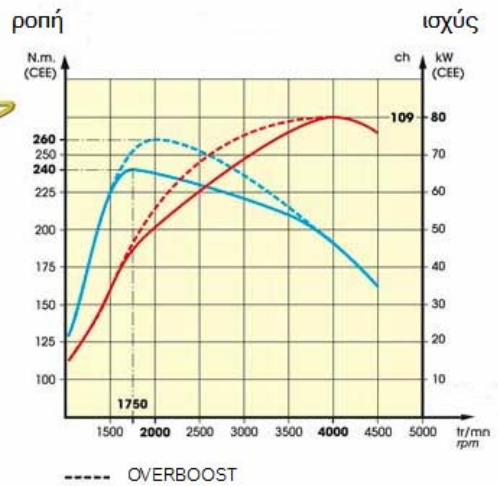
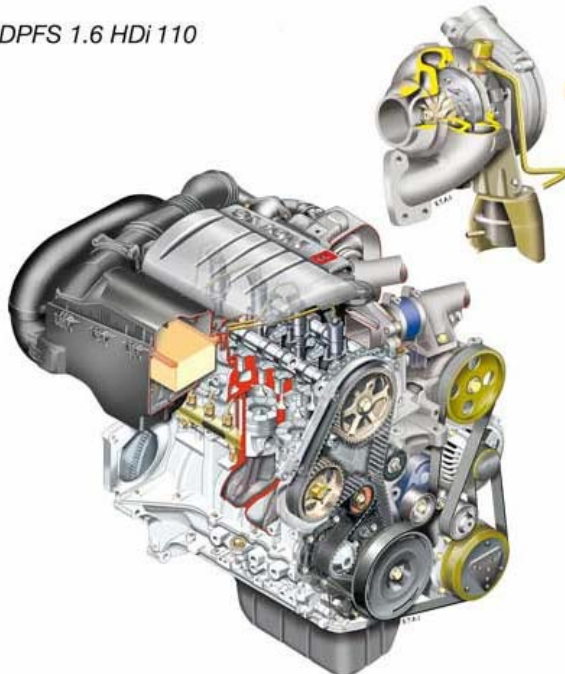
ροπή που είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ροπή του βενζινοκινητήρα. Η μέγιστη ισχύς του πετρελαιοκινητήρα είναι κατά 5% μόνο μικρότερη.

Ο HDi 110 λόγω του συστήματος overboost που έχει στο συμπιεστή αυξάνει τη ροπή του HDi 90 κατά 10% σε περιοχή στροφών από 1650 RPM έως 3750 RPM καθώς και την ισχύ από 5-15% στην περιοχή από 1750 RPM έως 3750 RPM (για τον ίδιο αριθμό στροφών).

Τέλος, οι πετρελαιοκινητήρες είναι φανερό ότι υπερέχουν πάρα πολύ στην οικονομία καυσίμου.

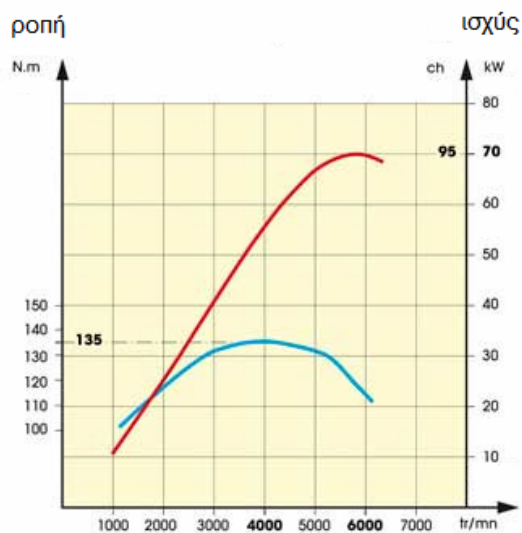


DPFS 1.6 HDi 110

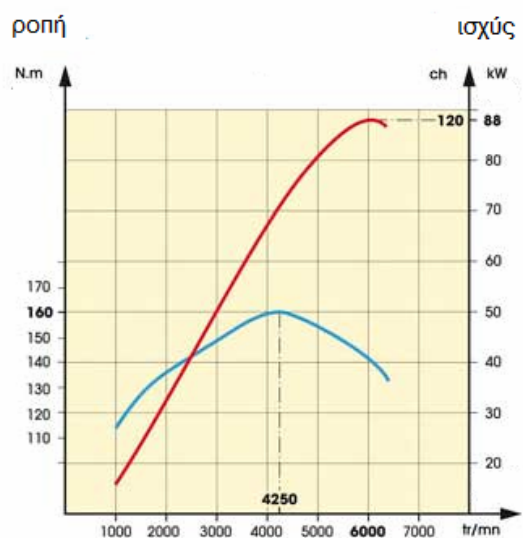


**Εικόνα 5.1:** Οι πετρελαιοκινητήρες του Citroen C3 Picasso και τα διαγράμματα ροπής και ισχύος τους.

VTi 95



VTi 120



**Εικόνα 5.2:** Οι βενζινοκινητήρες του Citroen C3 Picasso και τα διαγράμματα ροπής και ισχύος τους.

## **5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ**

### **5.3.1 Η Αύξηση της Μέσης Πίεσης**

Κάθε είδος υπερτροφοδότησης έχει σαν στόχο την αύξηση της μέσης πίεσης μέσα στον κύλινδρο, δηλαδή της πίεσης που ασκείται για να κατεβάσει το πιστόνι στη φάση παραγωγής έργου. Αυτή η αύξηση της μέσης πίεσης έχει σαν αποτέλεσμα ανάλογη αύξηση της ροπής στρέψης του κινητήρα στο δεδομένο ρυθμό περιστροφής και όταν οι στροφές ανέβουν στο μέγιστο αυξάνεται και η μέγιστη παραγόμενη ισχύς, δηλαδή, η ιπποδύναμη του κινητήρα. Η μέση πίεση που ασκείται στο πιστόνι αυξάνεται με αύξηση του βαθμού πλήρωσης ο οποίος, με δεδομένη την υπόλοιπη σχεδίαση, εξαρτάται από την πίεση με την οποία θα εξαναγκαστεί ο αέρας να μπει στον κύλινδρο. Αυτή είναι και η βασική ιδέα της υπερτροφοδότησης όπως έχει ήδη αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα.

Τα κύρια εμπόδια για την αύξηση του βαθμού πλήρωσης είναι:

- Οι αντιστάσεις ροής
- Η διαστολή του αέρα από μία πιθανή θέρμανσή του
- Ο καθαρισμός του θαλάμου από τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου.

### **5.3.2 Περιορισμοί των Συστημάτων Υπερτροφοδότησης**

Οι μηχανισμοί υπερτροφοδότησης δεν μπορούν να λειτουργήσουν με επιτυχία σε όλο το εύρος στροφών του κινητήρα. Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός ο τρόπος κίνησης του αεροσυμπιεστή και αφετέρου ο ίδιος ο συμπιεστής αέρα μπορούν να αποδώσουν καλύτερα σε ένα περιορισμένο φάσμα στροφών λειτουργίας. Πρέπει λοιπόν να προσδιοριστεί με κάποια ακρίβεια το προτιμητέο επίπεδο στροφών όπου θα επιτευχθεί καλύτερη αύξηση της μέσης πίεσης που ασκείται στο πιστόνι. Ένας ακόμα λόγος για τον περιορισμό του φάσματος ικανοποιητικής λειτουργίας ενός συστήματος υπερτροφοδότησης είναι ο χρονισμός των βαλβίδων και ειδικότερα το πιο ευαίσθητο σημείο του, το overlap. Επειδή ο αέρας μπαίνει βίαια μέσα στον κύλινδρο, εξυπακούεται ότι το overlap των βαλβίδων (δηλαδή η χρονική περίοδος που είναι όλες ανοικτές) πρέπει να μειωθεί σημαντικά αλλιώς θα υπάρξει διαφυγή αέρα (και άκαυτου καυσίμου) προς την εξαγωγή. Αυτό, όπως είναι γνωστό, μπορεί μεν να ευνοήσει την απόδοση ροπής στις μεσαίες στροφές αλλά και να περιορίσει σχετικά την απόδοση μέγιστης ισχύος στις υψηλές στροφές. Ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων που προαναφέρθηκε στους προηγούμενους κινητήρες έχει λύσει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα αυτό.

### 5.3.3 Ροπή και Ιπποδύναμη

Οι ατμοσφαιρικοί κινητήρες (κινητήρες φυσικής εισπνοής) γενικά αποδίδουν αρκετή ισχύ για να δίνουν μεγάλες τελικές ταχύτητες αλλά, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις, δεν δίνουν αρκετή ροπή για μία δυνατή επιτάχυνση. Έτσι υπάρχει συχνότερα η τάση να προτιμηθεί μία υπερτροφοδότηση κυρίως των μεσαίων στρωφών, που αυξάνει τη ροπή, εφόσον γνωρίζουμε ότι θα αυξήσει και την απόδοση ισχύος κατά κάποιον τρόπο. Αυτό βέβαια ισχύει για τα αυτοκίνητα παραγωγής και όχι για τα αγωνιστικά αυτοκίνητα όπου ενδιαφέρει κυρίως η ιπποδύναμη και όχι η συμπεριφορά στις μικρομεσαίες στροφές.

Φυσικά, εκτός από την υπερτροφοδότηση θα μπορούσε να αυξηθεί η μέση πίεση αυξάνοντας το βαθμό συμπίεσης, όμως η υπερτροφοδότηση αποδεικνύεται σε αυτήν την περίπτωση πιο αποδοτική. Αν σε έναν υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα εισχωρήσει μέσα στον κύλινδρο τόσο αέρας και τόσο καύσιμο ώστε να αυξηθεί η αρχική μέγιστη πίεση της ανάφλεξης μέχρι το όριο αντοχής του κινητήρα, το αποτέλεσμα θα είναι πολύ μεγαλύτερη αύξηση της μέσης πίεσης που ασκείται στο πιστόνι, από ότι η αύξηση του βαθμού συμπίεσης σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα. Δηλαδή, όταν η αρχική μέγιστη πίεση είναι για τους δύο κινητήρες η ίδια, ο υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας δίνει μεγαλύτερη μέση πίεση στο πιστόνι. Τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός υπερτροφοδότησής του.

### 5.3.4 Ο Βαθμός Απόδοσης

Επειδή σε έναν υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα αυξάνεται η αρχική πίεση και μπορεί να πλησιάσει επικίνδυνα το μέγιστο ανεκτό όριο πρέπει να σχεδιαστεί με σχέση συμπίεσης χαμηλότερη από έναν αντίστοιχο ατμοσφαιρικό. Αυτό δεν είναι πρόβλημα όταν η υπερτροφοδότηση λειτουργεί καλά γιατί τότε, στον υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα, η αρχική πίεση θα μπορεί να είναι το ίδιο μεγάλη και η μέση πίεση ακόμα μεγαλύτερη σε σχέση με τον αντίστοιχο ατμοσφαιρικό όπως έχει ήδη αναφερθεί. Όταν όμως η υπερτροφοδότηση δεν λειτουργεί τέλεια, ο κινητήρας θα είναι αναγκασμένος να δουλεύει σαν ένας (περίπου) ατμοσφαιρικός με σχέση συμπίεσης απαράδεκτα χαμηλή. Αυτό σημαίνει ότι και ο βαθμός απόδοσής του θα είναι πολύ χαμηλός και αυτό θα συμβαίνει κάθε φορά που οι στροφές είναι πολύ χαμηλές και το σύστημα υπερτροφοδότησης δεν έχει ενεργοποιηθεί πλήρως.

Στους πρώτους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες ο σκοπός ήταν οι υψηλές επιδόσεις χωρίς να δίνεται μεγάλη σημασία στο βαθμό απόδοσης.

Σήμερα, φαίνεται ότι επανέρχονται στο προσκήνιο οι υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες με πιο χαμηλές πιέσεις (γύρω στο 0.5 bar πάνω

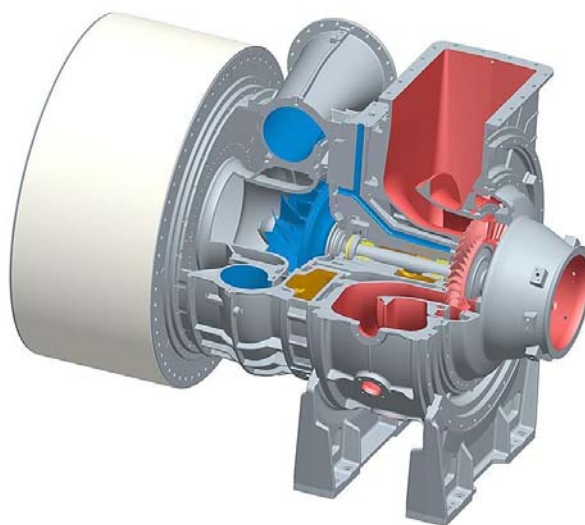
από την ατμοσφαιρική πίεση) και νέα συστήματα ελέγχου για δυνατότητα υψηλότερων σχέσεων συμπίεσης και βαθμού απόδοσης, δίνοντας καλύτερη οικονομία καυσίμου και περιορισμένα καυσαέρια. Οι σχεδιαστές συγκεντρώνουν τις προσπάθειές τους σε δύο κύριες κατευθύνσεις:

- Στους μηχανισμούς υπερτροφοδότησης με όσο γίνεται ευρύτερο φάσμα ενεργοποίησης
- Στο σχεδιασμό και την παραγωγή κινητήρων με δυνατότητα μεταβαλλόμενης σχέσης συμπίεσης, έτσι που να μπορεί είτε να αυξηθεί, όταν η υπερτροφοδότηση δεν είναι ενεργοποιημένη ώστε να κρατιέται ψηλά ο βαθμός απόδοσης, είτε να μειωθεί όταν χρειάζεται να υπερτροφοδοτηθεί ο κινητήρας ώστε να αποφεύγονται οι πολύ ψηλές αρχικές πιέσεις.

#### 5.4 ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

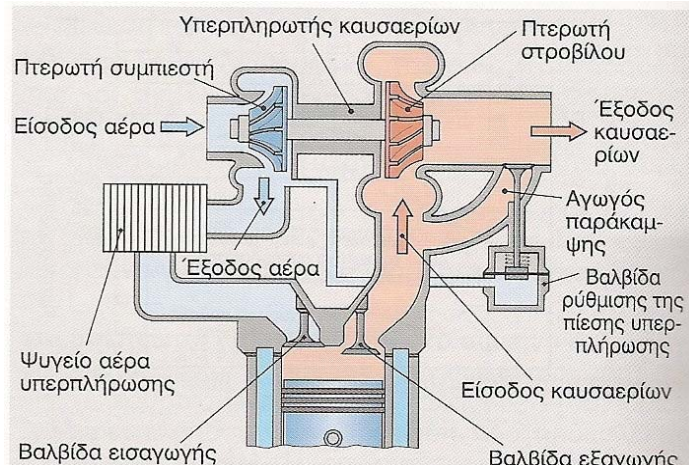
Ο πιο γνωστός και συνηθισμένος τρόπος υπερτροφοδότησης γίνεται με την εκμετάλλευση της ενέργειας των καυσαερίων. Είναι το γνωστό turbo όπου μία τουρμπίνα (αεριοστρόβιλος) παίρνει την κινητική ενέργεια των καυσαερίων, τη μετατρέπει σε περιστροφική και θέτει σε λειτουργία έναν υπερσυμπιεστή, ο οποίος πιέζει τον αέρα του περιβάλλοντος προς την εισαγωγή των κυλίνδρων. Ο υπερσυμπιεστής είναι εξίσου πιθανό να παίρνει κίνηση με μηχανικό τρόπο, είτε συνδεδεμένος κατευθείαν στη μία άκρη του στροφαλοφόρου άξονα είτε μέσω ενός οδοντωτού μίαντα, ή αλυσίδας να παίρνει κίνηση από αυτόν.

Ο συνδυασμός της τουρμπίνας που κινείται από τα καυσαέρια και του υπερσυμπιεστή προσφέρει έναν υπερσυμπιεστή καυσαερίων ή υπερσυμπιεστή εξάτμισης γνωστό και με την ονομασία στροβιλοσυμπιεστής (turbo).

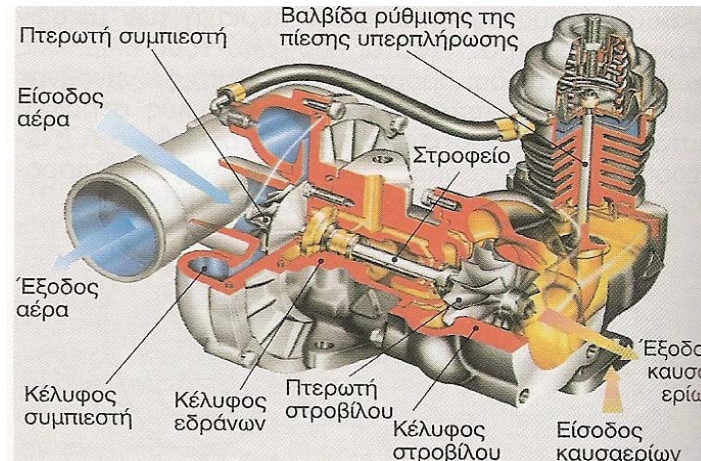


**Εικόνα 5.3:** Στροβιλοσυμπιεστής της MAN για κινητήρα Diesel.

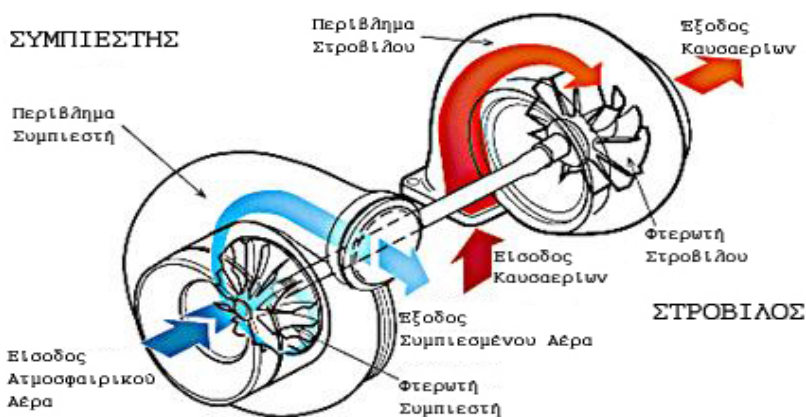




**Σχήμα 5.2:** Σχήμα κινητήρα με υπερπληρωτή καυσαερίων.



**Σχήμα 5.3:** Η δομή του στροβιλοσυμπιεστή.



**Εικόνα 5.4:** Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του στροβιλοσυμπιεστή

Το στροφείο (σχήματα 5.2 και 5.3) απαρτίζεται από την περωτή του στροβίλου και την περωτή του συμπιεστή. Τα καυσαέρια κινούν την περωτή του στροβίλου και αυτή, μέσω του άξονα, την περωτή του συμπιεστή. Ο συμπιεστής παρέχει στον κινητήρα ένα γέμισμα με νέο προσυμπίεσμένο μείγμα.



**Εικόνα 5.3:** Ο κινητήρας Turbo Diesel Duramax 6600 V8 της Isuzu.

Αυτό το είδος της υπερτροφοδότησης φαίνεται να λειτουργεί χωρίς να ξοδεύει παραπάνω ενέργεια για την κίνηση του αεροσυμπιεστή του. Δηλαδή, θεωρητικά, χρησιμοποιεί ένα ποσό ενέργειας το οποίο θα πήγαινε έτσι κι αλλιώς χαμένο από την εξάτμιση. Στην πράξη βέβαια δεν είναι ακριβώς έτσι. Και μόνο η τοποθέτηση ενός τέτοιου μηχανισμού στο σύστημα εξαγωγής σίγουρα επιβαρύνει κάπως τον κινητήρα, εφόσον αποτελεί εμπόδιο στην εξαγωγή των καυσαερίων με την πίεση που σχηματίζει στον αυλό εξαγωγής (back pressure). Παρόλα αυτά, η καμπύλη ροπής στους υπερτροφοδοτούμενους με turbo κινητήρες μπορεί να πάρει βελτιωμένες τιμές απόδοσης σε ένα δεδομένο ρυθμό περιστροφής και η κατανάλωση καυσίμου να είναι μικρότερη από τους ατμοσφαιρικούς κινητήρες με αντίστοιχη απόδοση ισχύος.

Ένα ακόμη μειονέκτημα των διατάξεων υπερτροφοδότησης turbo είναι ότι δεν έχουν ικανοποιητική απόδοση στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα αφού δεν υπάρχει ακόμη αρκετή ενέργεια (λόγω της μικρής ποσότητας των καυσαερίων) ώστε να περιστραφεί η τουρμπίνα με τις στροφές που θα έπρεπε. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται και στις απότομες αυξήσεις της

ισχύος του κινητήρα, καθώς η τουρμπίνα χρειάζεται κάποιο χρόνο προκειμένου να αποκτήσει την απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής, ώστε να αρχίσει να ωθεί περισσότερο αέρα προς τους κυλίνδρους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υστέρηση απόκρισης (turbo lag). Ειδικά στα πρώτα συστήματα turbo που αναπτύχθηκαν το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης ήταν ιδιαίτερα αισθητό γιατί το βάρος του στροβίλου και του συμπιεστή ήταν σχετικά μεγάλο και ήταν δύσκολο να υπερνικηθεί η αδράνεια της συναρμογής. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ελαφρύτερα υλικά και το πρόβλημα μειώθηκε αισθητά. Οι κινητήρες Diesel δεν παρουσιάζουν turbo lag γιατί φτάνουν σε υψηλά επίπεδα ροπής από χαμηλές στροφές με αποτέλεσμα η χρήση turbo να είναι η πιο αποδοτική λύση.

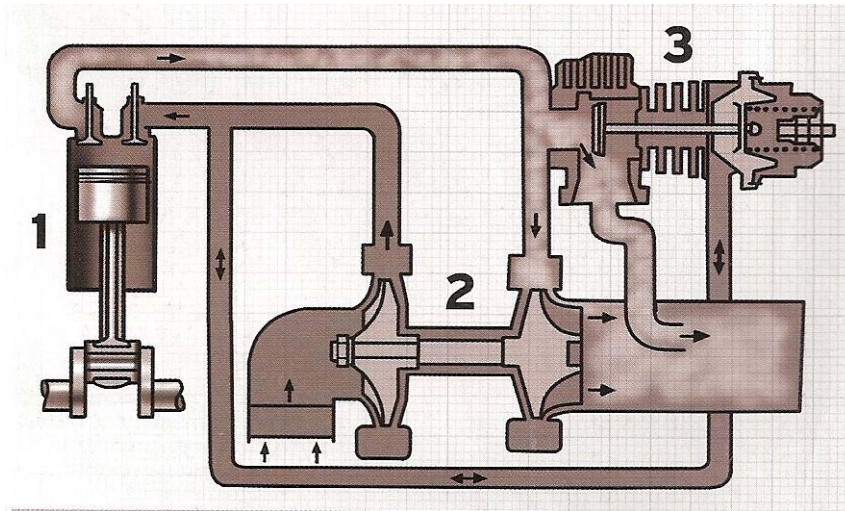
Συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα της υπερτροφοδότησης με εκμετάλλευση της ενέργειας των καυσαερίων είναι:

- Αισθητή αύξηση της ισχύος του κινητήρα
- Βελτιωμένη καμπύλη ροπής σε όλη την ωφέλιμη περιοχή στροφών του κινητήρα
- Αισθητή βελτίωση ειδικής κατανάλωσης και συνεπώς εξοικονόμηση καυσίμου σε σύγκριση με τους ατμοσφαιρικούς κινητήρες ίσης ισχύος
- Βελτίωση της ποιότητας των καυσαερίων.

Τα μειονεκτήματα της υπερτροφοδότησης με εκμετάλλευση της ενέργειας των καυσαερίων είναι:

- Η τοποθέτηση του υπερσυμπιεστή στη γραμμή των θερμών καυσαερίων απαιτεί υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Πρέπει να υπάρχει χώρος για την τοποθέτηση του υπερσυμπιεστή και του intercooler.
- Χαμηλή ροπή στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα
- Κακή (καθυστέρηση) χρονική απόκριση στις αλλαγές του φορτίου (turbo lag).

Κάθε μηχανισμός turbo χρειάζεται ένα σύστημα ελέγχου. Αν αφηνόταν να λειτουργήσει ανεξέλεγκτα θα ανέβαζε την απόδοση του κινητήρα, ο οποίος με τη σειρά του θα παρήγαγε περισσότερα καυσαέρια για την τουρμπίνα, η οποία θα μεγάλωνε περισσότερο την απόδοση του κινητήρα, ο οποίος θα παρήγαγε ακόμα περισσότερα καυσαέρια κ.ο.κ. Το άνω όριο λειτουργίας του Turbo το θέτει μία βαλβίδα διαφυγής που φροντίζει να στείλει κατευθείαν στην εξαγωγή μια ποσότητα καυσαερίων παρακάμπτοντας την τουρμπίνα. Η βαλβίδα αυτή ονομάζεται 'waste gate' και η λειτουργία της φαίνεται στο σχήμα 5.4. Στα μικρά turbo της τελευταίας γενιάς η λειτουργική σημασία της 'waste gate' έχει μειωθεί λόγω των αυξημένων δυνατοτήτων των μηχανισμών μεταβαλλόμενης λειτουργίας του turbo που παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.



**Σχήμα 5.4:** Η λειτουργία της ‘waste gate’.  
 (1) Κινητήρας, (2) Στροβιλοσυμπιεστής, (3) ‘waste gate’

Μία σημαντική εξέλιξη στην υπερτροφοδότηση ήταν η χρησιμοποίηση δύο ίδιων turbo (twin turbo) συνδεδεμένων παράλληλα σε έναν κινητήρα. Τα δύο turbo λειτουργούν συγχρόνως και μοιράζονται την ενέργεια των καυσαερίων για τη λειτουργία τους. Σε πολλές περιπτώσεις ο συμπιεσμένος αέρας που προκύπτει και από τα δύο turbo συνδυάζεται σε μία κοινή πολλαπλή εισαγωγής και στη συνέχεια στέλνεται στους κυλίνδρους. Σε άλλες περιπτώσεις, σε κάθε ένα turbo ανατίθεται η τροφοδοσία με συμπιεσμένο αέρα των μισών κυλίνδρων. Η δεύτερη περίπτωση προσφέρει ευκολία και συμμετρία στο σχεδιασμό της μηχανής.

Πρέπει να προστεθεί ότι η BMW αναμένεται να παρουσιάσει το 2011 τα μοντέλα X5 και X6 με κινητήρα 3000 cc Diesel και κωδικό 45d με τρία turbo (tri turbo) τα οποία θα αποδίδουν ιπποδύναμη 354 HP.

## 5.5 ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ TURBO

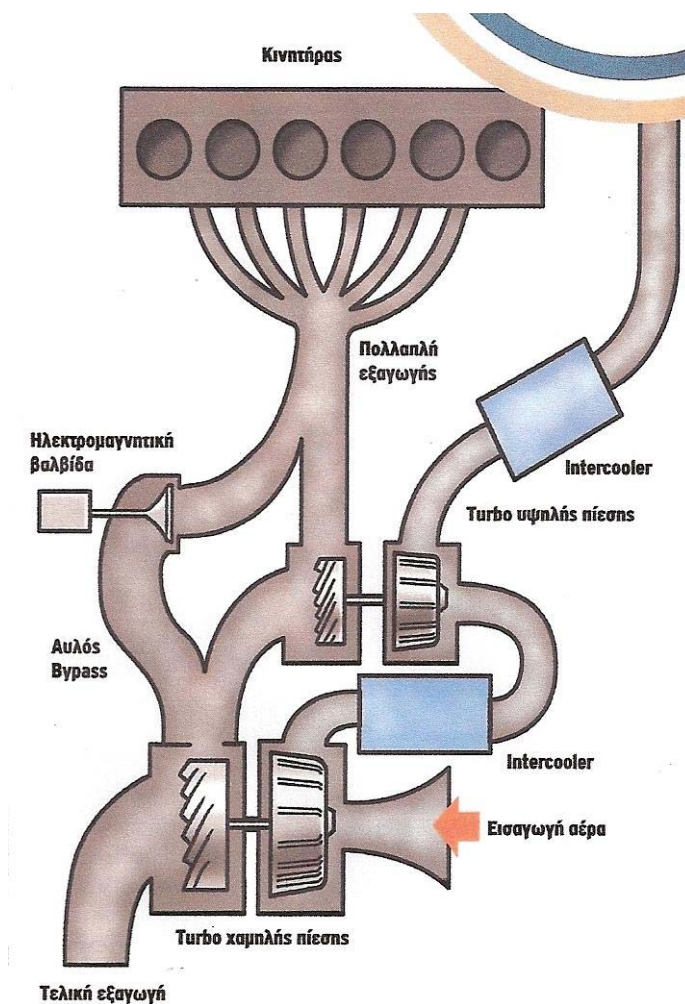
Οι τεχνικές εφαρμογές για να επιτευχθεί η μεταβαλλόμενη λειτουργία ενός συστήματος turbo περιλαμβάνουν:

- Την εφαρμογή διβάθμιων συστημάτων υπερτροφοδότησης.
- Τη δυνατότητα μεταβολής της γωνίας των περυγίων του αεροσυμπιεστή, έτσι ώστε να μπορεί να μεταβληθεί κατά βούληση της μονάδας ελέγχου η πίεση (και άρα η ποσότητα) του αέρα που αντλείται.

### 5.5.1 Διβάθμια Συστήματα Υπερτροφοδότησης

Στα συστήματα αυτά υπάρχουν δύο εν σειρά τοποθετημένοι τουρμποσυμπιεστές, ένας μικρού μεγέθους και υψηλής πίεσης και ένας μεγάλου μεγέθους, υψηλότερης παροχής και χαμηλότερης πίεσης, που είναι συνδεδεμένοι με μία γραμμή bypass και ελεγχόμενοι από βαλβίδα. Στους χαμηλούς ρυθμούς περιστροφής του κινητήρα η βαλβίδα του bypass κλείνει και όλα τα καυσαέρια περνούν από το μικρού μεγέθους turbo, το οποίο αναπτύσσει γρήγορα πίεση υπερτροφοδότησης. Όταν οι στροφές ανέβουν και τα καυσαέρια γίνουν πιο πολλά, ανοίγει η βαλβίδα και μέσω του bypass ενεργοποιείται και το μεγαλύτερου μεγέθους turbo, το οποίο θα στείλει αέρα, σε κάποιο βαθμό προσυμπιεσμένο, στον μικρότερου μεγέθους συμπιεστή.

Επειδή όμως τώρα λειτουργούν και οι δύο συμπιεστές και μάλιστα τοποθετημένοι σε σειρά, η τελική πίεση της υπερτροφοδότησης θα είναι πολύ μεγαλύτερη και θα μπορεί να ανταποκριθεί έτσι στις απαιτήσεις των πολλών στροφών, συνεχίζοντας να υπερτροφοδοτεί ικανοποιητικά τον κινητήρα.

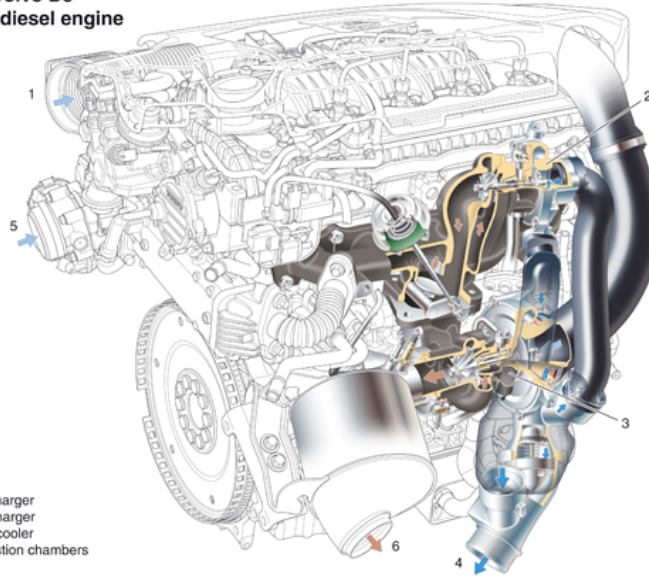


Εικόνα 5.4: Το διβάθμιο turbo.

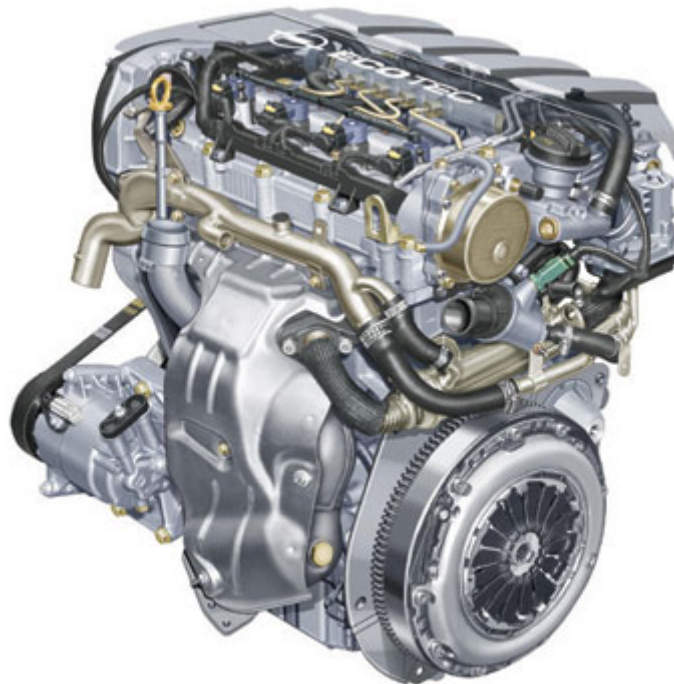
**New Volvo D5  
twin-turbo diesel engine**

2.4 litre  
Euro 5  
205 hp  
420 Nm

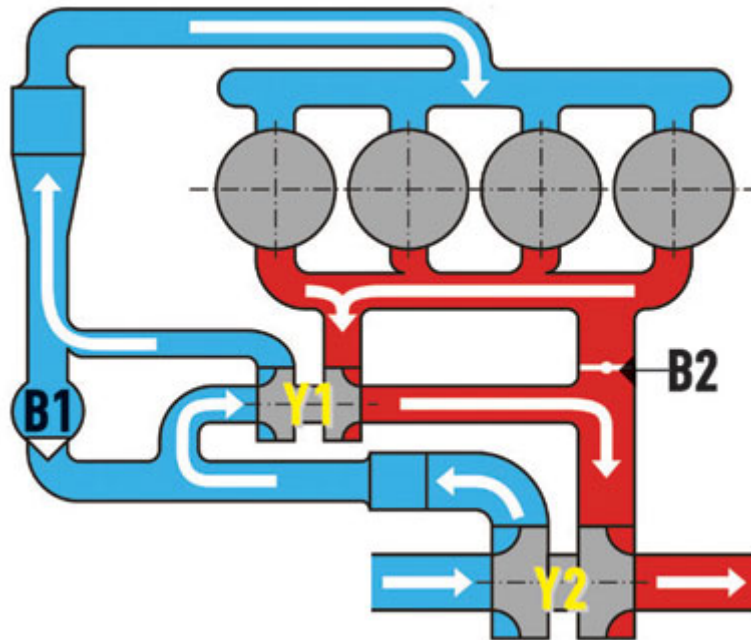
- 1 Air induction
- 2 Small turbocharger
- 3 Large turbocharger
- 4 Air to chargecooler
- 5 Air to combustion chambers
- 6 Exhaust



**Εικόνα 5.5:** Ο κινητήρας D5 της Volvo με διβάθμιο σύστημα υπερτροφοδότησης.



**Εικόνα 5.6:** Ο κινητήρας 1.9 CDTi της Opel.



**Σχήμα 5.5:** Σχηματικό διάγραμμα της λειτουργίας της διβάθμιας υπερτροφοδότησης στον κινητήρα 1.9 CDTi της Opel.

Στο εικόνα 5.6 φαίνεται ο πετρελαιοκινητήρας με διβάθμια υπερτροφοδότηση 1.9 CDTi της Opel και στο σχήμα 5.5 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του. Μέχρι τις 1.800 RPM λειτουργεί μόνο ο μικρός υπερσυμπιεστής Y1 υψηλής πίεσης και οι βαλβίδες β1 και β2 που οδηγούν στον μεγάλο υπερσυμπιεστή Y2 είναι κλειστές. Μεταξύ 1.800 και 3.000 RPM λειτουργεί ο υπερσυμπιεστής Y1 και περιστασιακά ο μεγάλος υπερσυμπιεστής Y2 γι' αυτό και ανάλογα ανοίγει η βαλβίδα β2. Πάνω από τις 3.000 RPM ανοίγει η βαλβίδα β1, ο αέρας αλλάζει διαδρομή και μέσω της επίσης ανοιχτής βαλβίδας β2 τα καυσαέρια κατευθύνονται μόνο στο μεγάλο υπερσυμπιεστή χαμηλής πίεσης Y2.

Η πρώτη τετρακύλινδρη μηχανή Diesel με διβάθμιο turbo ήταν η 2.0 lt BMW 123d (εικόνα 5.7) το 2007. Το σύστημα αυτό του διβάθμιου turbo ονομάστηκε Variable Twin Turbo (VTT) και οι επιδόσεις του είναι εντυπωσιακές. Δίνει μέγιστη ισχύ 150 kW στις 4400 RPM, μέγιστη ροπή 400 Nm στις 2000 RPM, μέση κατανάλωση καυσίμου 5.2 lt/100km, μέση εκπομπή CO<sub>2</sub> 138 g/km και επιτάχυνση από 0 σε 100 km σε 6.9 δευτερόλεπτα.



**Εικόνα 5.7:** Η BMW 123d.

### **5.5.2 Η Μεταβαλλόμενη Γεωμετρία**

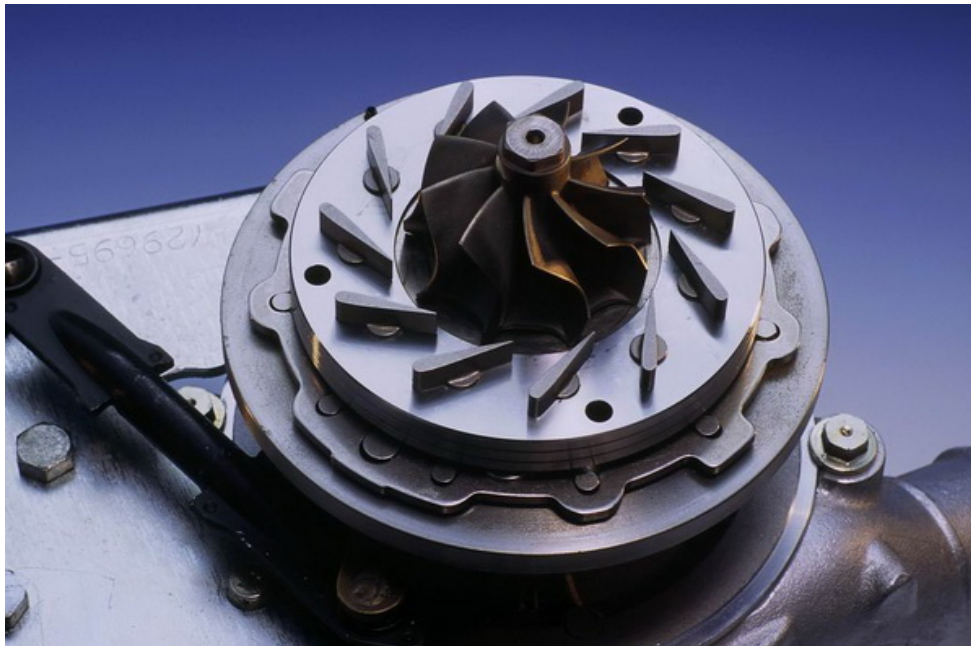
Η τελευταία γενιά των μικρών turbo χρησιμοποιεί μηχανισμούς μεταβλητής γεωμετρίας για να διατηρήσει τη γρήγορη πνοή των καυσαερίων ακόμα και στους χαμηλούς ρυθμούς περιστροφής του κινητήρα, έτσι ώστε η τουρμπίνα να περιστρέφεται σε κάποια λογική και αποδοτική ταχύτητα.

Τα συστήματα υπερτροφοδότησης με πτερύγια μεταβαλλόμενης γεωμετρίας (Variable Turbine Geometry, VTG ή Variable Nozzle Turbine, VNT) βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στους κινητήρες Diesel με στόχο την μείωση του turbo lag και την βελτιστοποίηση της ισχύος αλλά και την εφαρμογή επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων. Ένας συμβατικός στροβιλοσυμπιεστής δεν μπορεί να εκμεταλλευθεί την κινητική ενέργεια των καυσαερίων που είναι σχετικά μικρή στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Όσο πιο μικρή είναι η παροχή καυσαερίων τόσο πιο μικρή είναι η κινητική ενέργεια καθυστερώντας την περιστροφή της τουρμπίνας εμφανίζοντας το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης. Και όσο μεγαλύτερο είναι ο στρόβιλος, τόσο μεγαλύτερο είναι και η χρονική υστέρηση λόγω της αδράνειας.

Η ιδέα των συστημάτων VTG είναι σχετικά απλή. Γύρω από το στροβιλοσυμπιεστή υπάρχουν εξωτερικά πτερύγια των οποίων η κλίση μεταβάλλεται υδραυλικά ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας από τα καυσαέρια. Συγκεκριμένα, στις χαμηλές στροφές του κινητήρα τα πτερύγια «κλείνουν» μεταξύ τους φράζοντας τον δρόμο στα καυσαέρια. Έτσι, αποκτούν μεγαλύτερη ταχύτητα ροής και γυρνούν πιο γρήγορα τον στροβιλοσυμπιεστή. Όσο οι στροφές αυξάνονται τόσο αυξάνεται και ο όγκος των καυσαερίων. Σταδιακά τα πτερύγια «ανοίγουν» το



μεταξύ τους διάκενο επιτρέποντας στα καυσαέρια να περάσουν πιο εύκολα και να μειωθεί η ταχύτητα τους. Έτσι, η πίεση του στροβιλοσυμπιεστή διατηρείται στα πιο αποδοτικά επίπεδα χωρίς να κινδυνεύει από υπερπίεση.



**Εικόνα 5.8:** Turbo με πτερύγια μεταβαλλόμενης γεωμετρίας.



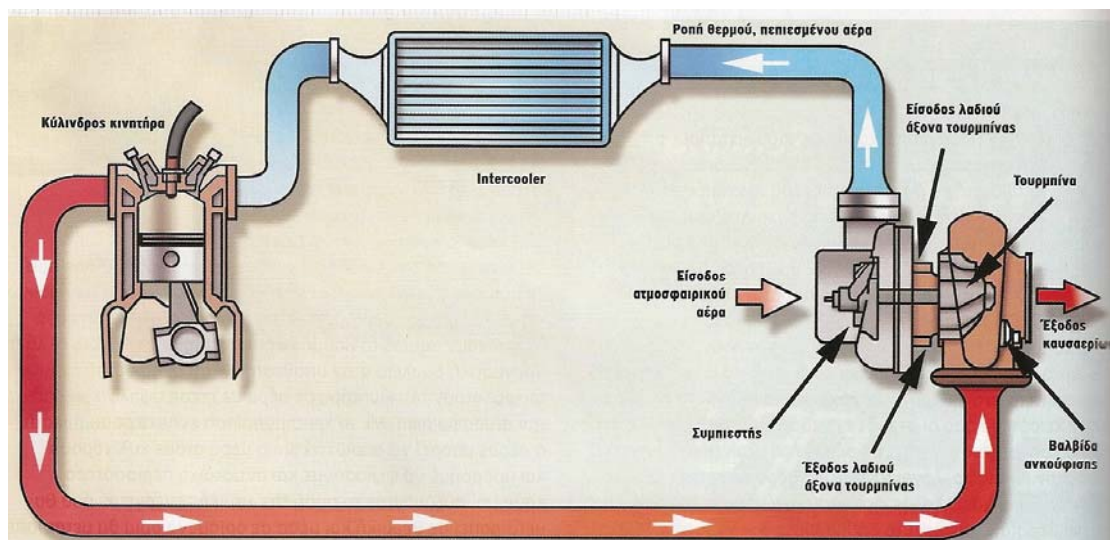
**Εικόνα 5.9:** Σύστημα υπερτροφοδότησης μεταβαλλόμενης γεωμετρίας από πετρελαιοκινητήρα της Volvo.

## 5.6 TO INTERCOOLER

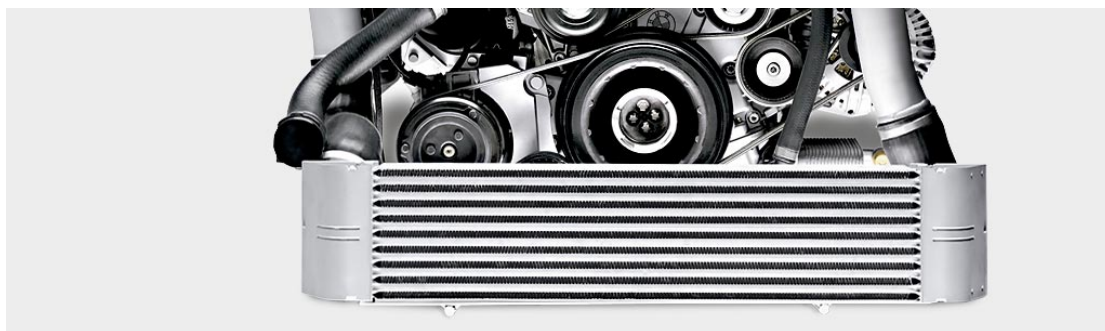
Ένα βασικό μέλημα του σχεδιαστή κινητήρων ή του μηχανικού που ασχολείται με την υπερτροφοδότηση είναι η μελέτη και η πιθανή τοποθέτηση του intercooler που σίγουρα θα επιβαρύνει με κάποιο κόστος την όλη εγκατάσταση αλλά μπορεί πραγματικά να υποκαταστήσει ακόμα και ένα μεγαλύτερο αεροσυμπιεστή (για μέγιστη απόδοση), ή να κάνει πιο αποδοτικό έναν οποιονδήποτε συμπιεστή μεσαίων στροφών, γιατί μπορεί να τον βοηθήσει να πετύχει πιο αποτελεσματική υπερπλήρωση ακόμα και τότε που λόγω χαμηλού ρυθμού περιστροφής δεν θα παρείχε μεγάλη ποσότητα αέρα.

Το intercooler είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας. Η μεγάλη επιφάνεια των ευθερμαγωγών τοιχωμάτων του βοηθάει στη μετάδοση της θερμότητας από τον συμπιεσμένο αέρα της υπερτροφοδοσίας στον ψυχρότερο αέρα του περιβάλλοντος και η χρήση του έχει υπολογιστεί ότι μπορεί να βελτιώσει την απόδοση κάθε υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα έως και κατά 20%.

Η χρήση του intercooler γίνεται για να λυθεί το πρόβλημα της θερμοκρασίας του αέρα, που όταν συμπιεστεί για να σπρωχτεί μέσα στους κυλίνδρους μπορεί να φτάσει έως και τους 1000 °C. Ειδικά για πιέσεις υπερτροφοδότησης από 0.4 bar και πάνω, η χρήση του intercooler είναι επιβεβλημένη. Η μείωση της θερμοκρασίας του συμπιεσμένου αέρα μέσω του intercooler κρατάει αφενός «δροσερό» τον κινητήρα και αφετέρου βοηθάει στην καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου.



**Εικόνα 5.10:** Σχηματική παράσταση μιας τυπικής εγκατάστασης turbo-intercooler.



**Εικόνα 5.11:** Intercooler της BMW.

Η χρήση του Intercooler επηρεάζει πολύ θετικά τις επιδόσεις του κινητήρα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται για σύγκριση η ιπποδύναμη και η μέγιστη ροπή του VW CADDY 2.0 SDI (χωρίς turbo) και του VW CADDY 2.0 TDI (με turbo και intercooler).

Πίνακας 5.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του VW CADDY 2.0 lt χωρίς turbo και με turbo-intercooler

	VW CADDY 2.0 lt SDI	VW CADDY 2.0 lt TDI
Ιπποδύναμη (kW)	51	104
Στροφές μέγιστης ισχύς (RPM)	4000	4000
Μέγιστη Ροπή (Nm)	140	326
Στροφές μέγιστης ροπής (RPM)	2200	1750

## 6. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα καυσαέρια του κινητήρα Diesel αποτελούνται από αέρια, ημι-πτητικά και σωματιδιακά οργανικά συστατικά που παράγονται μέσω της καύσης του πετρελαίου. Η ακριβής σύσταση των καυσαερίων εξαρτάται από τις παραμέτρους λειτουργίας, όπως η ταχύτητα περιστροφής, το φορτίο του κινητήρα, ο τύπος του κινητήρα, η σύσταση του καυσίμου, η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος και η σχετική υγρασία.

οι κυριότεροι ρύποι που παράγονται από τους πετρελαιοκινητήρες είναι:

- τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ )
- το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ )
- οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $\text{HC}$ )
- τα σωματίδια αιθάλης (particulate matter,  $\text{PM}$ )
- το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )

Η εφαρμογή όλο και πιο αυστηρών προδιαγραφών για τα όρια εκπομπής ρύπων από κινητήρες Diesel, αλλά και η συνεχής μείωση των διαθέσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, επιβάλλουν την ανάπτυξη μιας σειράς πρωτοποριακών τεχνολογιών με στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργικής συμπεριφοράς, αλλά και τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων κινητήρων Diesel.

Οι τεχνολογίες αυτές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, στις πρωτογενείς (ή εσωτερικές) μεθόδους που έχουν σαν στόχο τη μείωση του σχηματισμού των ρύπων στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης (internal measures) και στις δευτερογενείς (ή εξωτερικές) που περιορίζουν τους εκπεμπόμενους ρύπους χρησιμοποιώντας συστήματα περιστολής στην εξαγωγή του κινητήρα (exhaust gas treatment).

Επίσης, οι μέθοδοι μείωσης των ρύπων μπορούν να χωρισθούν, σε αυτές που έχουν ως στόχο τη μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (και μέσω αυτής, τη μείωση των εκπομπών  $\text{CO}_2$  αλλά και των υπόλοιπων ρύπων) και σε εκείνες που αποσκοπούν αποκλειστικά στην περιστολή των εκπεμπόμενων ρύπων, με πιθανά αρνητικά αποτελέσματα στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κινητήρα.

Οι διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες μείωσης των ρύπων και βελτίωσης της λειτουργικής απόδοσης των κινητήρων Diesel περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

## 6.2 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Είναι γνωστό ότι ο σχηματισμός ρύπων στο εσωτερικό του κινητήρα Diesel ελέγχεται από τη χρονική εξέλιξη της καύσης. Οι πρωτογενείς μέθοδοι είναι μέθοδοι πρόληψης. Αποτελούν επεμβάσεις στη διαδικασία της καύσης με σκοπό, μέσω του ελέγχου της, το περιορισμό του σχηματισμού των ρύπων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ετερογενή καύση ενός κινητήρα Diesel είναι:

- Η Έγχυση του Καυσίμου
- Η Κίνηση του Αέρα στο Εσωτερικό του Κυλίνδρου.
- Η Γεωμετρία του Θαλάμου Καύσης
- Ο Λόγος Συμπίεσης
- Η Ποσότητα του Αέρα στο Θάλαμο Καύσης
- Η Σύνθεση του μίγματος

Στη συνέχεια θα εξεταστούν όλοι αυτοί οι παράγοντες και ο τρόπος που επιδρούν στην εκπομπή ρύπων.

### 6.2.1 Έλεγχος του Συστήματος Έγχυσης του Καυσίμου

Ο σκοπός των παρεμβάσεων που γίνονται στο σύστημα έγχυσης του καυσίμου είναι η τροποποίηση του ρυθμού καύσης και ειδικότερα η μεταβολή των ποσοστών της συνολικής ποσότητας καυσίμου που καίγονται υπό συνθήκες προανάμειξης και διάχυσης. Οι σημαντικότερες μέθοδοι ελέγχου του συστήματος έγχυσης παρουσιάζονται στη συνέχεια.

#### A) Προπορεία Έγχυσης

Είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μείωση των εκπομπών  $\text{NO}_x$ . Η μείωση της καθυστέρησης έγχυσης, δηλαδή η μετατόπιση του μηχανισμού της καύσης προς το στάδιο της συμπίεσης, προκαλεί μείωση της ποσότητας του καυσίμου που καίγεται στην ανεξέλεγκτη καύση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας και άρα τον περιορισμό του σχηματισμού  $\text{NO}_x$  μέσα στη θάλαμο καύσης.

Βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι η μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης οδηγεί σε σημαντική αύξηση των εκπομπών αιθάλης και μέτρια αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Οι εκπομπές αιθάλης εξαρτώνται άμεσα και από το φορτίο. Στα χαμηλά φορτία η μείωση της καθυστέρησης έγχυσης έχει άκρως αρνητική επίδραση ενώ στα υψηλά φορτία παρουσιάζεται μικρή μείωση εκπομπών.

#### B) Πίεση Έγχυσης

Η αύξηση της πίεσης έγχυσης προκαλεί μείωση του σχηματισμού αιθάλης και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, λόγω της βελτίωσης του διασκορπισμού του καυσίμου και της μείωσης του χρόνου ψεκασμού. Το μέγεθος των σταγονιδίων του καυσίμου μειώνεται δραστικά με την αύξηση της

πίεσης εγχύσεως και συνεπώς εξατμίζονται ευκολότερα και επιπλέον η ίδια ποσότητα καυσίμου εγχέεται γρηγορότερα. Από αυτό το γεγονός εξηγείται η απαίτηση για υψηλές πιέσεις έγχυσης (ως 2500 bar για κινητήρες Diesel βαρέως τύπου).

Γ) Ρυθμός έγχυσης καυσίμου-Χρήση εξελιγμένων συστημάτων έγχυσης

Η τεχνική αυτή απαιτεί την τροποποίηση του συστήματος έγχυσης και συνήθως περιλαμβάνει:

- Τον έλεγχο του ρυθμού έγχυσης καυσίμου, εφαρμόζοντας διάφορα προφίλ.
- Την εφαρμογή πιλοτικής έγχυσης καυσίμου (pilot injection).
- Την έγχυση μιάς ποσότητας καυσίμου μετά τη κύρια έγχυση (post injection) για τον έλεγχο της αιθάλης.
- Τη σχεδίαση διαφορετικών ακροφυσίων του εγχυτήρα (π.χ. αριθμός οπών).

Με τη χρήση συστημάτων έγχυσης Common-Rail οι εκπομπές ρύπων και η οικονομία καυσίμου βελτιώνονται σημαντικά. Αφού ξεπεράστηκαν τα προβλήματα του ηλεκτρονικού αυτόματου ελέγχου χρησιμοποιείται πλέον εκτενώς το σύστημα Common Rail σε κινητήρες Diesel.

## 6.2.2 Έλεγχος του Συστήματος Εισαγωγής Αέρα

A) Υπερπλήρωση

Ο βασικός άξονας της λειτουργίας ενός συστήματος υπερπλήρωσης είναι ο έλεγχος της παροχής του αέρα και η ταχεία απόκριση τους κατά την αλλαγή των συνθηκών λειτουργίας (φορτίο ή ταχύτητα περιστροφής) του κινητήρα. Κατά την αλλαγή από ένα σημείο λειτουργίας σε άλλο η διαφοροποίηση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών και της παροχής του αέρα εισαγωγής που απαιτείται, επιτυγχάνεται με το σωστό συνδυασμό υπερπληρωτή και κινητήρα (turbo-matching). Το επιτυχές ταίριασμα υπερπληρωτή και στροβίλου εξασφαλίζει εκτός των άλλων την μακροχρόνια και αποδοτική λειτουργία του κινητήρα.

Η αύξηση της πίεσης υπερπλήρωσης προκαλεί αύξηση του λόγου αέρα-καυσίμου με λογική συνέπεια την μείωση των εκπομπών της αιθάλης και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Το μειονέκτημα των αυξημένων, μόνο κατά τις απότομες αλλαγές φορτίου, εκπομπών αιθάλης αντιμετωπίζεται με τη χρήση ρυθμιστή καυσίμου, ενώ αυτό των σημαντικά αυξημένων εκπομπών οξειδίων του αζώτου αντιμετωπίζεται με την ψύξη του αέρα υπερπληρώσεως, για την αποτροπή υψηλών θερμοκρασιών του αέρα υπερπληρώσεως.

B) Μεταβλητός Χρονισμός Βαλβίδων

Μια τεχνική ελέγχου της ποσότητας του αέρα που εισάγεται στον κινητήρα (ογκομετρικός βαθμός απόδοσης), είναι ο μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων. Τα σύγχρονα συστήματα προσφέρουν όχι μόνο μεταβλητό χρονισμό

ανοίγματος και κλεισίματος βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, αλλά και μεταβλητή βύθιση, όπως επίσης και συνδυασμό όλων αυτών. Στους κινητήρες Diesel ο μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων οδηγεί, σε μείωση των  $\text{NO}_x$  και σε συνδυασμό με χρήση του EGR, βελτιώνεται η ισχύς, η ειδική κατανάλωση και η δυναμική απόκριση του υπερπληρωτή.

### 6.2.3 Σύνθεση του Μείγματος

Με την εφαρμογή κάποιας από τις μεθόδους που πρόκειται να αναφερθούν παρακάτω μεταβάλλεται η σύνθεση του μίγματος, το οποίο εισέρχεται στον κύλινδρο του κινητήρα. Ως γνωστόν, η ποσότητα του διατιθέμενου οξυγόνου για την διαδικασία της καύσης έχει σημαντική επίπτωση στην απόδοση και τις εκπομπές ρύπων του κινητήρα.

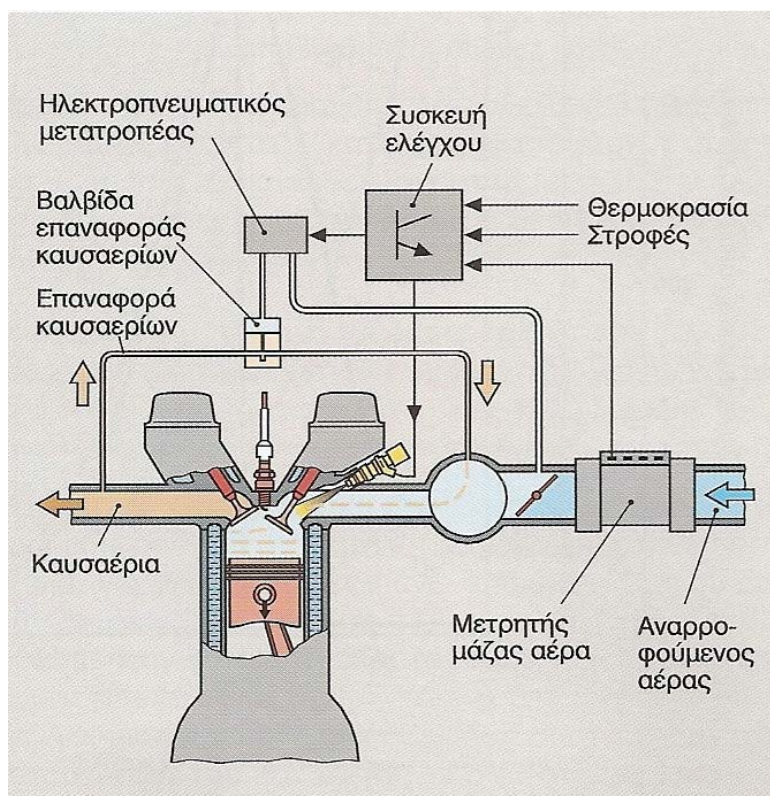
Με τη χρήση μεθόδων όπως η επανακυκλοφορία καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation) μπορεί να μειωθεί η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, του παγιδευμένου στον κύλινδρο αερίου. Την ακριβώς αντίθετη επίδραση στην απόδοση και τις εκπομπές ρύπων μπορεί να επιτύχει ο εμπλουτισμός του αέρα εισαγωγής σε οξυγόνο. Αυτές οι δύο τεχνικές θα εξηγηθούν αναλυτικά στις δύο επόμενες ενότητες.

### 6.2.4 Επανακυκλοφορία των Καυσαερίων

Η τεχνική της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation, EGR) δεν είναι νέα τεχνική. Για διάφορους όμως λόγους η επανακυκλοφορία μέρους της ποσότητας των καυσαερίων που παράγονται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας και η ανάμιξη τους με τον αέρα εισαγωγής έχει γίνει προσφάτως απαραίτητη, για την επίτευξη χαμηλότερων επιπέδων εκπομπών  $\text{NO}_x$ .

Τα οξείδια του αζώτου μειώνονται, εξαιτίας της μείωσης του ποσοστού οξυγόνου του ρεύματος αέρα, λόγω της υποκατάστασης του από τα καυσαέρια, αλλά και λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης από την αύξηση της θερμοχωρητικότητας του καύσιμου μείγματος. Η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, ενώ η μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών αιθάλης.

Το ποσοστό EGR ορίζεται ως το επί τοις εκατό ποσοστό του λόγου της μάζας του καυσαερίου που επανακυκλοφορεί προς τη συνολική μάζα που εισέρχεται και παγιδεύεται στον κύλινδρο (μάζα αέρα συν μάζα καυσαερίου που επανακυκλοφορεί).



**Εικόνα 6.1:** Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος EGR.

Η εισαγωγή του EGR στον θάλαμο καύσης μιας πολκύλινδρης μηχανής είναι μια περίπλοκη και απαιτητική διαδικασία. Υπάρχουν δύο τρόποι χρήσης καυσαερίων, ο εσωτερικός και ο εξωτερικός.

Ο εσωτερικός (internal EGR) δεν αποτελεί ουσιαστικά επανακυκλοφορία του καυσαερίου, αλλά αύξηση της ποσότητας του παραμένουστος μετά την καύση, καυσαερίου (residual gas) μέσα στον κύλινδρο, το οποίο τελικά καταλαμβάνει συγκεκριμένο χώρο στον θάλαμο καύσης.

Η πιο συνηθισμένη τεχνική είναι της εξωτερικής επανακυκλοφορίας καυσαερίου, το οποίο διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων από την εξαγωγή στην εισαγωγή και εφαρμόζεται με σύστημα υψηλής πίεσης ή με σύστημα χαμηλής πίεσης. Εντούτοις, η εφαρμογή εξωτερικού EGR θέτει διάφορα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Συγκεκριμένα, η υψηλή αποδοτικότητα των σύγχρονων συστημάτων υπερπλήρωσης, έχει συχνά ως συνέπεια, η πίεση της πολλαπλής εισαγωγής να είναι υψηλότερη από την πίεση της πολλαπλής εξαγωγής, το οποίο πρέπει να ξεπεραστεί στα συστήματα υψηλής πίεσης.

Όπως δηλώνεται και από το όνομα, στο σύστημα αυτό υπάρχει σύνδεση της εξαγωγής του καυσαερίου πριν τον στρόβιλο με την εισαγωγή του αέρα μετά τον συμπιεστή. Τόσο πριν το στρόβιλο όσο και μετά το συμπιεστή οι πιέσεις είναι συγκριτικά μεγαλύτερες και για το λόγο αυτό ο βρόχος που δημιουργείται αποκαλείται βρόχος υψηλής πίεσης.

Η ροή των καυσαερίων ρυθμίζεται μέσω κατάλληλης ρυθμιστικής δικλείδας (EGR valve) και επιτυγχάνεται μόνο όταν η πίεση των καυσαερίων



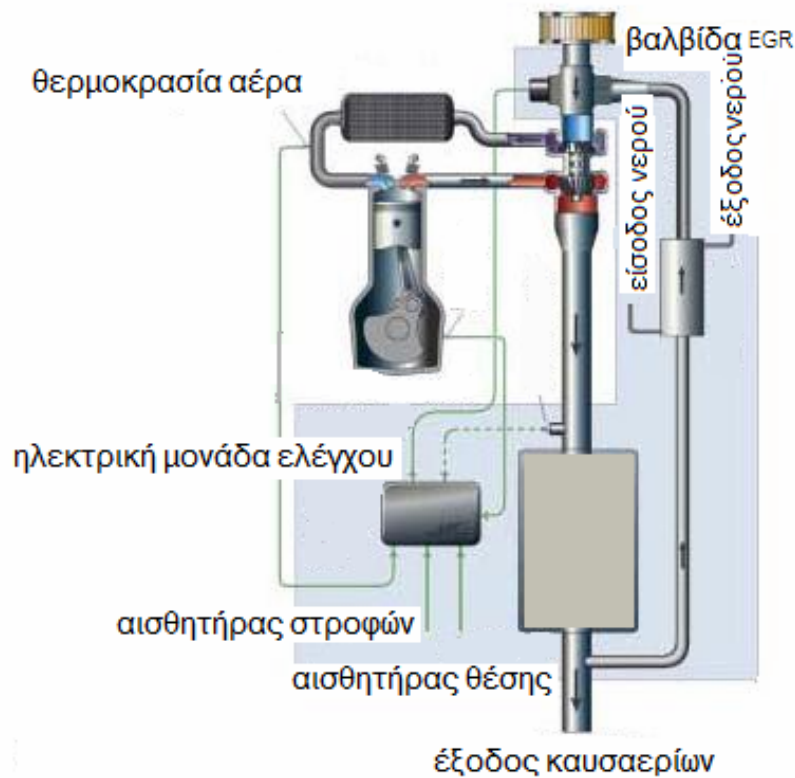
προ του στροβίλου (back pressure) είναι υψηλότερη της πίεσης του αέρα μετά το συμπιεστή. Έτσι, μια βοηθητική συσκευή είναι απαραίτητη για την αύξηση της πίεσης των καυσαερίων προ του στροβίλου, η οποία επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

- Με κατάλληλη ρύθμιση της παρακαμπτήριας βαλβίδας του στροβιλο-υπερπληρωτή.
- Με χρήση στροβίλου μεταβλητής γεωμετρίας (VGT).

Γενικά, απαιτούνται υψηλά ποσοστά EGR, τα οποία συνήθως αυξάνονται με τη μείωση του φορτίου, για σημαντικές μειώσεις των εκπομπών NO<sub>x</sub>. Παρόλα αυτά λόγω των αρνητικών συνεπειών του EGR στην ειδική κατανάλωση και την αιθάλη υπάρχει άνω όριο χρήσης της επανακυκλοφορίας, το οποίο κυμαίνεται περίπου στο 30%.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2, στο σύστημα χαμηλής πίεσης το ρεύμα των επανακυκλοφορούντων καυσαερίων λαμβάνεται έπειτα από τον στροβίλο και αναμειγνύεται με το φρέσκο αέρα σε κατάλληλο σημείο πριν τον συμπιεστή. Αυτή η μέθοδος θα απέτρεπε την υπερβολική πίεση προ του στροβίλου για την ροή του EGR και αυτό διότι η πίεση των καυσαερίων πριν τον στροβίλο είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (που επικρατεί συνήθως στην είσοδο του συμπιεστή) δημιουργώντας έτσι την απαραίτητη ροή.

Εντούτοις, αν και τα καυσαέρια περιέχουν κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και νερό, στην πραγματικότητα η σύνθεση τους περιλαμβάνει αιθάλη, καθώς επίσης και οξείδια του θείου (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>) και σε ορισμένες θερμοκρασίες και πιέσεις, θεικό οξύ. Με το σύστημα χαμηλής πίεσης τα θερμά καυσαέρια διέρχονται μέσα από τα πτερύγια του συμπιεστή και του ψυγείου αέρος (intercooler), τα τμήματα αργιλίου των οποίων δεν θα είχαν μακρά ζωή εάν εκτίθονταν στη μόλυνση από τις διαβρωτικές ενώσεις και τις επικαθήσεις από τα σωματίδια. Για το λόγο αυτό το πλέον χρησιμοποιούμενο σύστημα επανακυκλοφορίας των καυσαερίων είναι αυτό της υψηλής πίεσης.



**Εικόνα 6.2:** Σύστημα EGR χαμηλής πίεσης και φίλτρο σωματιδίων.

Η αύξηση της επανακυκλοφορίας καυσαερίου είναι μια αποτελεσματική μέθοδος μείωσης των εκπομπών  $\text{NO}_x$  με ισχυρή αρνητική επίπτωση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου. Μεγάλο μειονέκτημα εντούτοις αποτελεί η σημαντική αύξηση στις σωματιδιακές εκπομπές.

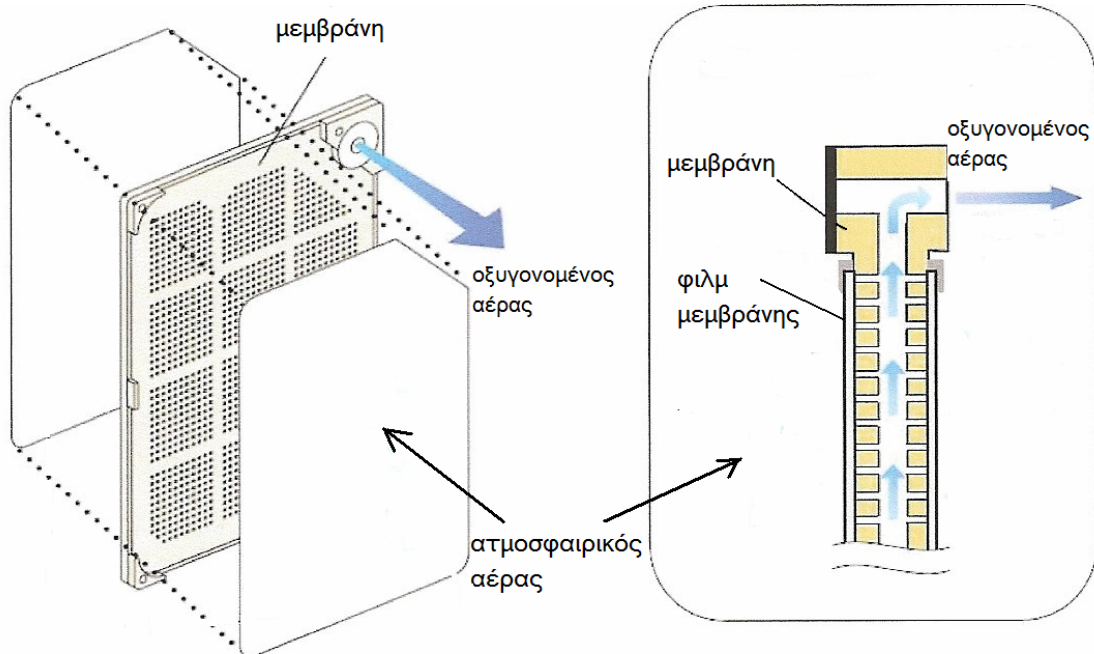
### 6.2.5 Μεμβράνες Διαχωρισμού Οξυγόνου και Αζώτου

Όπως προαναφέρθηκε οι κυριότεροι ρύποι ενός κινητήρα Diesel είναι τα οξείδια του αζώτου και η αιθάλη. Η επανακυκλοφορία των καυσαερίων, η οποία περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, είναι μία από τις πολλές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τη μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου. Ο εμπλουτισμός του αέρα εισαγωγής σε οξυγόνο (Oxygen Enrichment) που εξετάζεται εδώ είναι μία μέθοδος μείωσης των εκπομπών της αιθάλης, του άλλου πολύ σημαντικού ρύπου των κινητήρων Diesel.

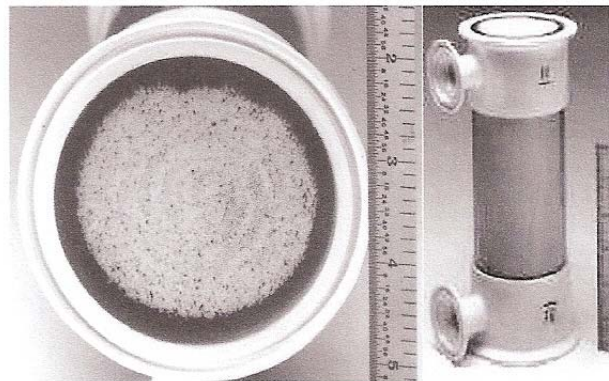
Έχει αποδειχθεί ότι ένας ιδιαίτερα αποδοτικός τρόπος για την βελτίωση της καύσης και την παράλληλη μείωση των εκπομπών σωματιδίων, είναι η αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας οξυγόνου στη περιοχή όπου εξελίσσεται η καύση.

Η αύξηση του γραμμομοριακού κλάσματος οξυγόνου στον αέρα εισαγωγής μπορεί να επιτευχθεί πρακτικά με τη χρήση μεμβρανών διαχωρισμού, οι οποίες διαχωρίζουν το μίγμα  $\text{O}_2$  και  $\text{N}_2$  του αέρα, με

αποτέλεσμα την παραγωγή ποσότητας αέρα με ποσοστό οξυγόνου μεγαλύτερο αυτού που είχε ο αέρας στην είσοδο της μεμβράνης. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος διαχωρισμού βασίζεται στην εκλεκτική διείσδυση των μορίων διαμέσου στοιχείων (modules) από πολυμερικές μεμβράνες (εικόνα 6.3).



**Εικόνα 6.3:** Η λειτουργία της μεμβράνης διαχωρισμού οξυγόνου και αζώτου.



**Εικόνα 6.4:** Τυπική μεμβράνη διαχωρισμού οξυγόνου και αζώτου.

Για να αναγκαστεί ο αέρας να περάσει διαμέσου της μεμβράνης απαιτείται η εφαρμογή διαφοράς πίεσης. Ο αέρας αντλείται στο ένα άκρο του στοιχείου και αναγκάζεται λόγω υψηλότερης πίεσης να διαπεράσει κατά μήκος μιας πλευράς της μεμβράνης με συνέπεια την διάλυση και την διάχυση των μορίων του (οξυγόνου και αζώτου). Επειδή το εγγενές ποσοστό διάλυσης-

διάχυσης του οξυγόνου είναι μεγαλύτερο από αυτό του αζώτου, το οξυγόνο διασκορπίζεται γρηγορότερα και ο αέρας γίνεται εμπλουτισμένος σε οξυγόνο στο ρεύμα χαμηλής πίεσεως, το οποίο ονομάζεται διαπερατό ρεύμα. Αυτό διοχετεύεται στο σύστημα εισαγωγής της μηχανής.

Στη περίπτωση των κινητήρων φυσικής αναπνοής η απαιτούμενη διαφορά πίεσης μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση συμπιεστή ή αντλίας κενού. Αντίθετα, στη περίπτωση των υπερπληρωμένων κινητήρων μπορεί για το σκοπό αυτό να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος ο υπερπληρωτής. Το μέγεθος της διάταξης διαχωρισμού εξαρτάται από το πάχος της μεμβράνης και την σειρά των στοιχείων. Αυτό ορίζει το τελικό μέγεθος της μεμβράνης διαχωρισμού (και έτσι το βάρος της), όπως επίσης και το μέγεθος του συμπιεστή (ή της αντλίας κενού) και τις απαιτήσεις για κατανάλωση ισχύος.

Στους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες η μεμβράνη μπορεί να τοποθετηθεί μετά τον συμπιεστή του συστήματος υπερπλήρωσης ή πριν από αυτόν. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για τη λειτουργία του συστήματος διαχωρισμού όταν αυτό τοποθετείται μετά το συμπιεστή έδειξαν ότι αυτή η επιλογή δεν είναι καθόλου συμφέρουσα αφού οδηγεί σε σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης. Η τοποθέτηση της μεμβράνης διαχωρισμού πριν το συμπιεστή του συστήματος υπερπλήρωσης είναι πιο σωστή αν και αυτή οδηγεί σε μείωση του συντελεστή απόδοσης. Εναλλακτική τεχνική αποτελεί η χρήση αντλίας κενού μετά τη μεμβράνη που επιτρέπει στον αέρα να διαπεράσει τη μεμβράνη με ελάχιστη διαφορά πίεσης. Αυτή η τεχνική είναι πιο αποδοτική αφού απαιτεί μικρά ποσά ενέργειας. Μοναδικό μειονέκτημα αυτής της τεχνικής αποτελεί η ανάγκη μεγαλύτερης επιφάνειας της μεμβράνης.

Οι μεμβράνες είναι η μόνη πρακτική μέθοδος για τη μετατροπή της σύνθεσης του αέρα. Έτσι, η επιτυχία της τεχνικής εμπλουτισμού του αέρα εισαγωγής σε οξυγόνο εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα μιας αξιόπιστης, συμπαγούς, και οικονομικής μεμβράνης για την παραγωγή της επιθυμητής σύνθεσης αέρα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε κινητήρα και η δυνατότητα εφαρμογής της σε αυτόν. Τα προηγούμενα χρόνια η ανάπτυξη μίας μεμβράνης με τα παραπάνω χαρακτηριστικά δεν είχε προχωρήσει, λόγω της έλλειψης μικρών και φθηνών συσκευών που θα είχαν τη δυνατότητα να εγκατασταθούν σε συστήματα μεταφορών για την εξαγωγή οξυγόνου από τον αέρα. Παρόλο που το οξυγόνο υπάρχει άφθονο στον αέρα, ο διαχωρισμός του χωρίς υπερβολικό κόστος και η παροχή του στην εισαγωγή του αέρα στον κινητήρα ήταν προβληματική και με περιορισμένη επιτυχία.

Τα τελευταία χρόνια όμως υπήρξε σημαντική τεχνική πρόοδος στην ανάπτυξη συσκευών ενίσχυσης του αέρα με οξυγόνο, όπως είναι οι ημιπερατές μεμβράνες διαχωρισμού, που επιτρέπουν τη μείωση του μεγέθους των στοιχείων και της κινητήριας ισχύος που απαιτείται. Η χρήση ημιπερατών μεμβρανών είναι η πιο βιώσιμη τεχνική που διατίθεται σήμερα για το διαχωρισμό των αερίων, που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι μεμβράνες πρέπει να

αναπτυχθούν περαιτέρω και να βελτιστοποιηθούν, για να προσαρμοστούν στις συνθήκες εισαγωγής κινητήρων Diesel, όμως καθώς οι τεχνολογίες αυτές ωριμάζουν, η ενίσχυση του αέρα με οξυγόνο γίνεται ολοένα και πιο ελκυστική από οικονομικής άποψης και αξιόπιστη σε λειτουργία.

Οι συνέπειες του εμπλουτισμού του αέρα εισαγωγής σε οξυγόνο στις εκπομπές ρύπων έχουν ως εξής:

- Μείωση των εκπομπών HC και CO.
- Δραστική μείωση της αιθάλης.
- Οι εκπομπές NO αυξάνονται αναλογικά με το οξυγόνο που προστίθεται φτάνοντας σε ένα όριο κορεσμού για συγκέντρωση οξυγόνου στον αέρα εισαγωγής της τάξης του 40%.
- Οι εκπομπές NO<sub>2</sub> αυξάνονται χωρίς άνω όριο.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το πιο σημαντικό πρόβλημα που προκαλεί η αύξηση του ποσοστού οξυγόνου στον αέρα εισαγωγής, είναι η υπερβολική αύξηση των εκπομπών NO<sub>x</sub>, σε σχέση με τη συμβατική λειτουργία. Έτσι απαιτείται ο συνδυασμός της μεθόδου εμπλουτισμού του αέρα σε οξυγόνο με κάποια άλλη μέθοδο η οποία θα μειώνει τις εκπομπές NO<sub>x</sub>.

### 6.2.6 Έγχυση Νερού ή Χρήση Γαλακτώματος Νερού Καυσίμου

Μια άλλη εναλλακτική μέθοδος που επιτυγχάνει παρόμοια αποτελέσματα με την επανακυκλοφορία καυσαερίων στην απόδοση και τις εκπομπές ρύπων του κινητήρα, είναι η χρήση νερού με σκοπό, κυρίως την μείωση της θερμοκρασίας, αλλά και την αλλαγή της σύνθεσης του μείγματος. Η μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub> με τη χρήση νερού, οφείλεται κυρίως στην αυξημένη ειδική θερμοχωρητικότητα του σε σχέση με αυτήν του κοινού καυσίμου Diesel. Όμως πέραν αυτού η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του νερού επιδρά στο ρυθμό της ατμοποίησης του καυσίμου, ο οποίος με τη σειρά του αυξάνει τον διασκορπισμό του καυσίμου και τον ρυθμό ανάμειξης αυτού με τον αέρα, οδηγώντας σε μείωση των τοπικών θερμοκρασιών λόγω του πιο ομοιόμορφου χαρακτήρα της καύσης.

Η έγχυση νερού γίνεται στην αναρρόφηση του κινητήρα (αποδοτική και απλή στην εφαρμογή της) ή στο θάλαμο καύσης (σχετικά υψηλό κόστος). Οι δύο μέθοδοι εγκυμονούν κινδύνους για τα δομικά στοιχεία του κινητήρα, λόγω των σταγονιδίων του νερού που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωσή. Με τον όρο υδατικό γαλάκτωμα, εννοούμε ουσιαστικά το μίγμα καυσίμου με νερό, το οποίο όμως μακροσκοπικά φαίνεται ομογενές. Η ιδιαιτερότητά του είναι ότι τα συστατικά του δεν είναι αναμίξιμα σε μοριακό επίπεδο, όπως για παράδειγμα είναι τα συστατικά ενός καυσίμου του εμπορίου, που αποτελείται από μια σειρά διαφορετικών καυσίμων. Το μίγμα αποτελείται κατά κανόνα από νερό συγκέντρωσης μεταξύ 5% κατά βάρος και καύσιμο Diesel.

Η επίδραση της χρήσης του γαλακτώματος, είναι περισσότερο ισχυρή συγκρινόμενη με αυτή της χρήσης έγχυσης νερού, το οποίο προσάγεται από την αναρρόφηση του κινητήρα, διότι το νερό έρχεται σε άμεση επαφή με το καύσιμο. Για το λόγο αυτό, στατιστικά απαιτείται περίπου μισή ποσότητα νερού με τη μορφή γαλακτώματος, σε σχέση με αυτή που απαιτείται με τη μέθοδο της έγχυσης στην αναρρόφηση για την επίτευξη της ίδιας μείωσης των εκπομπών NO<sub>x</sub>.

### **6.3 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Οι δευτερογενείς μέθοδοι μείωσης των ρύπων είναι μέθοδοι περιστολής των σχηματισμένων ρύπων. Αποσκοπούν στην παγίδευση, ή την μετατροπή σε φιλικότερες προς το περιβάλλον ουσίες, των ήδη σχηματισμένων ανεπιθύμητων ρύπων κατά την εξαγωγή τους από τον κινητήρα. Η χρήση συστημάτων επεξεργασίας καυσαερίων στην εξαγωγή του κινητήρα δεν αποτελεί ιδιαίτερα σωστή λύση (είναι προτιμότερη η χρήση πρωτογενών μεθόδων) δημιουργώντας μειώσεις στην απόδοση, αλλά είναι σε πολλές περιπτώσεις αναγκαία ώστε οι κινητήρες Diesel να πληρούν τα διεθνή όρια εκπομπής ρύπων.

Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι η αύξηση του κόστους και του όγκου της συνολικής εγκατάστασης και το γεγονός ότι δεν είναι ευχερής η προσαρμογή των συστημάτων αυτών στον κινητήρα. Αν και κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές περιστολής των εκπομπών NO<sub>x</sub>, η εφαρμογή τους σε κινητήρες Diesel ενέχει πολλά προβλήματα. Ο κύριος λόγος είναι ότι λόγω του φτωχού σε καύσιμο μείγματος στους κινητήρες Diesel το καυσαέριο εξέρχεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και με υψηλή συγκέντρωση σε οξυγόνο.

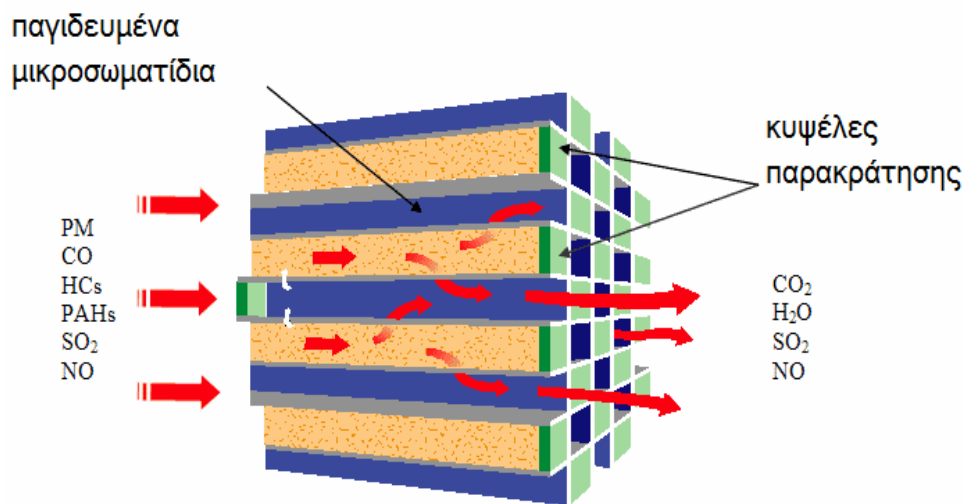
Μοναδική μέθοδος με ευρεία εφαρμογή είναι η μέθοδος Εκλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Catalytic Reduction, SCR). Προβλήματα λόγω των συνθηκών αναγέννησης και της πρόκλησης αυξημένης κατανάλωσης καυσίμου αντιμετωπίζουν και οι μέθοδοι περιστολής σωματιδιακών εκπομπών. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή των φίλτρων σωματιδίων πετρελαίου (Diesel Particulate Filter, DPF) τα οποία αναφέρονται και ως παγίδες αιθάλης ή παγίδες καπνού.

#### **6.3.2 Οι Παγίδες Αιθάλης**

Οι παγίδες αιθάλης (particulate ή soot traps) είναι ουσιαστικά φίλτρα που συγκρατούν τα σωματίδια της αιθάλης και στη συνέχεια τα οξειδώνουν. Οι παγίδες αυτές τοποθετούνται στον σωλήνα εξαγωγής των καυσαερίων μέσα από τον οποίο διέρχονται τα θερμά καυσαέρια.



**Εικόνα 6.5:** Φίλτρο Σωματιδίων Πετρελαίου



**Εικόνα 6.6:** Η λειτουργία του φίλτρου σωματιδίων πετρελαίου.

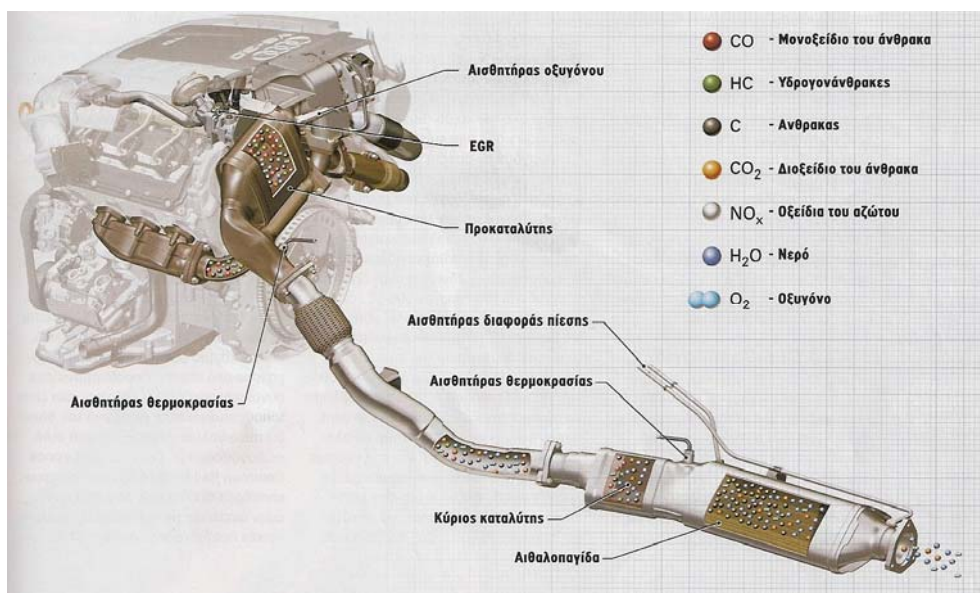
Η τεχνολογία των παγίδων αιθάλης στους κινητήρες Diesel παρουσιάζει κάποια πρακτικά προβλήματα τα κυριότερα εκ των οποίων παρατίθενται παρακάτω:

- Βασικό πρόβλημα είναι η τοποθέτηση τους στον σωλήνα της εξαγωγής η οποία μειώνει την πίεση εξόδου, αφού ουσιαστικά αποτελεί ένα εμπόδιο στη διέλευση των καυσαερίων. Για την ομαλή ροή λοιπόν των καυσαερίων απαιτείται αυξημένη πίεση από τον κινητήρα. Αυτό γιατί από ένα σημείο και μετά η ποσότητα των συγκεντρωμένων σωματιδίων είναι τόσο μεγάλη (φόρτιση παγίδας), που φράσσει τη δίοδο των καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα, εμποδίζοντας τη ροή τους. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η παραγόμενη από τον κινητήρα ισχύς, το έλλειμμα της οποίας για να αντισταθμιστεί απαιτεί επιπλέον παροχή καυσίμου στον κινητήρα (αύξηση φορτίου).

- Το φίλτρο ακόμα και καθαρό (μικρή συγκέντρωση των σωματιδίων) μειώνει την ταχύτητα καυσαερίων του κινητήρα με τις προαναφερθείσες επιπτώσεις.
- Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα Diesel, τα σωματίδια αιθάλης που παγιδεύονται δεν μπορούν να αναφλεγούν και να οξειδωθούν.

Για το λόγο αυτό μία σημαντική διεργασία για την λειτουργία της παγίδας αποτελεί η λεγόμενη αναγέννηση της. Αυτή συνιστάται στην λεγόμενη καύση των παγιδευμένων σε αυτή σωματιδίων, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την ανύψωση της θερμοκρασίας στο σημείο αναφλέξεως της αιθάλης για όσο διάστημα παρέρχονται τα πλούσια σε αέρα καυσαέρια. Τα σωματίδια της αιθάλης αναφλέγονται σε θερμοκρασία της τάξης των 500-600 °C, η οποία όμως είναι ανώτερη από τις συνήθεις θερμοκρασίες εξόδου των καυσαερίων κινητήρων Diesel.

Έτσι για να λυθεί το πρόβλημα, θα πρέπει στη διάρκεια της αναγέννησης, είτε να γίνει εξωτερική θέρμανση των καυσαερίων (θετική αναγέννηση), είτε να επιτευχθεί ανάφλεξη σε αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας κατάλληλο, ενεργό, καταλυτικό υλικό (καταλυτική αναγέννηση). Η θετική αναγέννηση γίνεται με απευθείας ψεκασμό καυσίμου στο ρεύμα εξαγωγής.

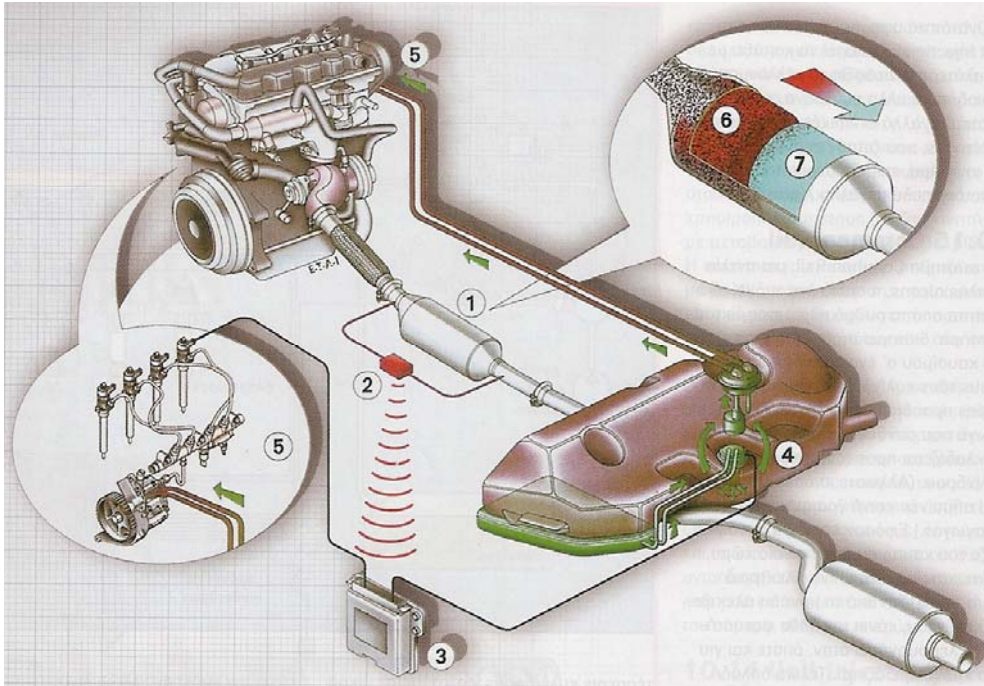


**Εικόνα 6.7:** Σύστημα εξαγωγής με φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων της Audi

Στην καταλυτική αναγέννηση το καταλυτικό υλικό μπορεί είτε να εμποτισθεί στην πορώδη κεραμική επίστρωση του υλικού υποστηρίξεως της παγίδας, είτε να εισαχθεί σαν πρόσθετο μέσα στο καύσιμο, επιφέροντας μείωση της θερμοκρασίας αναφλέξεως των σωματιδίων σε χαμηλά επίπεδα, έως και 200 °C.



Με κατάλληλη σχεδίαση και τοποθέτηση της παγίδας αιθάλης, η διαδικασία αναγέννησης της γίνεται μόνη της και μπορεί σε μεγάλη έκταση να είναι αυτορυθμιζόμενη. Σε μια καλώς σχεδιασμένη παγίδα η μείωση της αιθάλης μπορεί να φτάσει σε επίπεδα άνω του 70%, κατά το στάδιο που δεν αρχίζει να εμφανίζει προβλήματα.



**Εικόνα 6.8:** Το σύστημα αναγεννούμενης αιθαλοπαγίδας της PSA.

Η PSA (Peugeot-Citroen) ήταν η πρώτη που έβαλε σε γραμμή παραγωγής το σύστημα αναγεννούμενης αιθαλοπαγίδας, για επιβατηγά αυτοκίνητα, πρώτα στο Peugeot 607 και μετά στο Citroen C5. Η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος της PSA βασίζεται αφενός στη χρήση ενός ειδικού πρόσθετου στο καύσιμο κι αφετέρου στον έξτρα ψεκασμό μιας ποσότητας καυσίμου που ανεβάζει τη θερμοκρασία της αιθαλοπαγίδας όταν η μονάδα ελέγχου αποφασίσει ότι ήρθε η ώρα για «αναγέννηση».

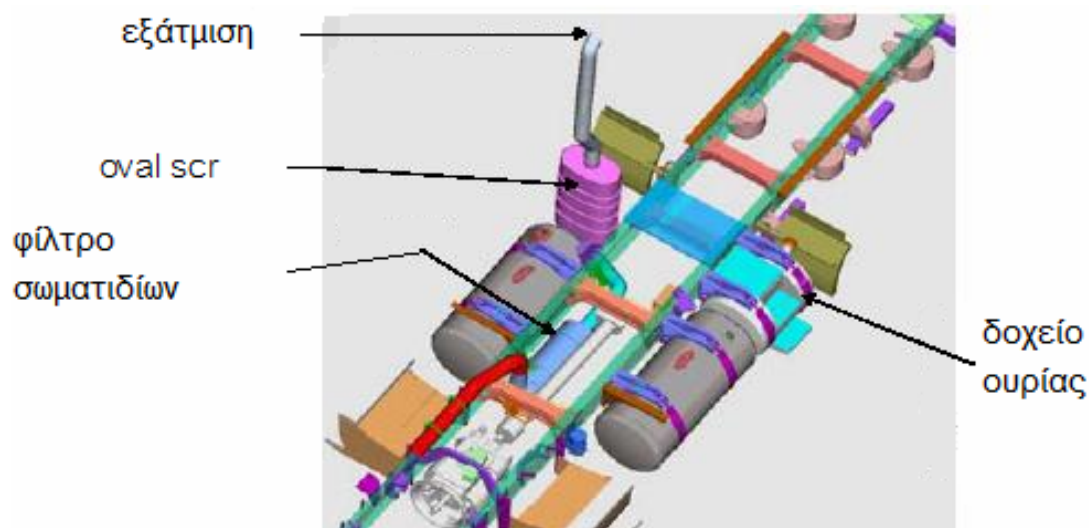
Το σύστημα αποτελείται:

- 1) φίλτρο σωματιδίων
- 2) αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης
- 3) μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου
- 4) ψεκασμός χημικού πρόσθετου στο καύσιμο όταν κρίνεται αναγκαίο
- 5) ειδική εντολή προς τους ψεκαστήρες όταν και όποτε πρέπει να γίνει αναγέννηση

### 6.3.2 Η Μέθοδος SCR

Τα συστήματα SCR έχουν ιδιαίτερα μεγάλους βαθμούς μετατροπής του  $\text{NO}_x$  των καυσαερίων, που προσεγγίζουν έως και την τιμή 95%. Ένας καταλυτικός μετατροπέας για μηχανές Diesel έχει προβλήματα στη λειτουργία του λόγω της περίσσειας οξυγόνου στα καυσαέρια. Αυτό αντιμετωπίζεται με την ανάμειξη των καυσαερίων του κινητήρα με φορέα μείωσης όπως είναι η αμμωνία.

Για λόγους δοσομετρίας και ασφάλειας, η αμμωνία εγχέεται σαν διάλυμα νερού-ουρίας (AdBlue), το οποίο διασπάται στον καταλυτικό μετατροπέα σε αμμωνία και διοξείδιο του άνθρακα, ατμοποιείται και σχηματίζει ομοιογενές μείγμα με τα καυσαέρια. Το μείγμα αυτό ρέει μέσα από στρώματα καταλυτικού μετατροπέα (catalytic converter), ώστε να γίνουν οι αντιδράσεις απονίτρωσης του καυσαερίου. Σε κάθε περίπτωση το αναγωγικό μέσο πρέπει να είναι αρκετά καθαρό για την αποφυγή του φραξίματος της επιφάνειας του καταλύτη.



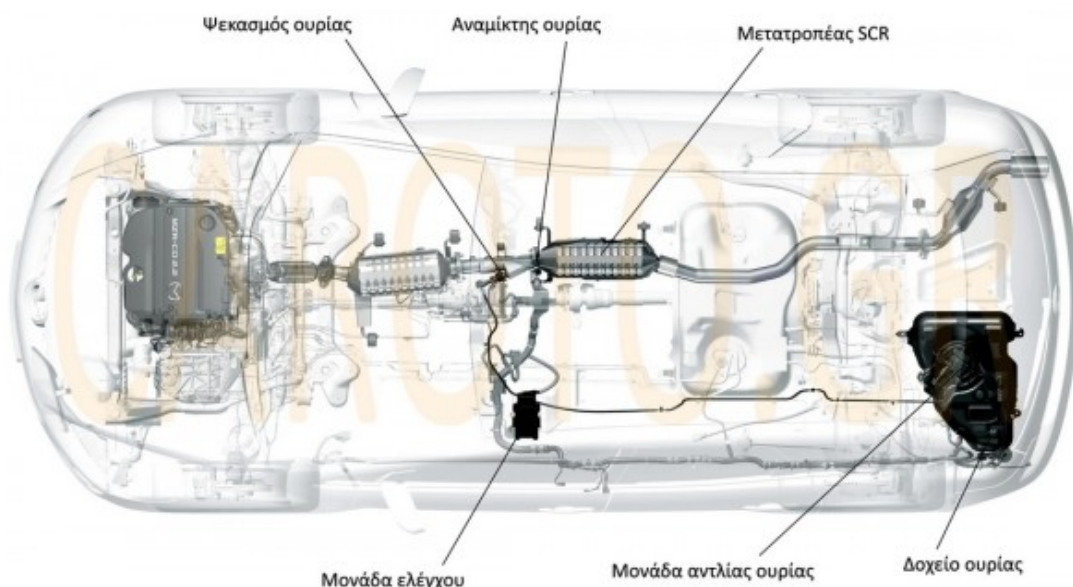
**Εικόνα 6.9:** Το σύστημα SCR.

Εκτός του μετατροπέα ένα σύστημα SCR αποτελείται επίσης από τον εγχυτήρα του διαλύματος ουρίας και έναν καταλύτη οξείδωσης. Η βασική λειτουργία του καταλύτη οξείδωσης είναι η μετατροπή του μονοξειδίου του άνθρακα και των άκαυστων υδρογονανθράκων σε διοξείδιο του άνθρακα (εικόνα 6.10).



**Εικόνα 6.10:** Η λειτουργία του οξειδωτικού καταλύτη.

Για να πραγματοποιηθεί η καταλυτική αντίδραση απονίτρωσης με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης πρέπει το μείγμα των καυσαερίων και του υδατικού διαλύματος αμμωνίας να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 300 °C (μεταξύ 300 °C και 400 °C). Αν η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από 400 °C γίνεται καύση της αμμωνίας ενώ αν είναι μικρότερη των 300 °C συμβαίνει πολύ μικρότερη ταχύτητα αντίδρασης και συνεπώς πολύ μικρή απόδοση του συστήματος. Υπάρχουν και περιπτώσεις που απαιτείται θέρμανση του καυσαερίου για να λειτουργεί ικανοποιητικά ο καταλύτης SCR όπως κατά την εκκίνηση του κινητήρα όπου τα καυσαέρια είναι κρύα ή κατά τη λειτουργία σε χαμηλό φορτίο.



**Εικόνα 6.11:** Η λειτουργία του SCR.

Η λειτουργία ενός συστήματος SCR ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Το σύστημα ξεκινά να λειτουργεί αφού ο μετατροπέας SCR έχει φτάσει στην θερμοκρασία λειτουργίας. Αυτό υπολογίζεται από την τιμή του αισθητήρα θερμοκρασίας καυσαερίων. Αφού επιτευχθεί η θερμοκρασία

λειτουργίας η αντλία ουρίας ενεργοποιείται και εφαρμόζει πίεση στο μπεκ ψεκασμού ουρίας.

- Η μονάδα ελέγχου SCR υπολογίζει την ποσότητα AdBlue που χρειάζεται για τον καθαρισμό των ρύπων καυσαερίων, σύμφωνα με το εκπεμπόμενο  $\text{NO}_x$ . Η εκπεμπόμενη ποσότητα  $\text{NO}_x$  υπολογίζεται από τη μονάδα ελέγχου του συστήματος ισχύος σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.
- Όταν επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες το μπεκ ψεκασμού ουρίας εισάγει το AdBlue μέσα στην καυτή ροή καυσαερίων όπου αρχίζει να εξατμίζεται. Με θερμόλυση (μια χημική αντίδραση κατά την οποία μια χημική ουσία διασπάται τουλάχιστον σε δύο χημικές ουσίες όταν θερμαίνεται) και υδρόλυση (μια χημική αντίδραση κατά την οποία ένα ή περισσότερα μόρια νερού διαχωρίζονται σε ιόντα υδρογόνου και υδροξειδίου) το AdBlue ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ) αποσυντίθεται σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και σε διοξείδιο του άνθρακα.
- Ένας αναμείκτης μπροστά από τον μετατροπέα SCR ενισχύει τη χημική αντίδραση και παρέχει μια πιο ίση διανομή αμμωνίας στον μετατροπέα SCR και αυξάνει την αποτελεσματικότητά του. Μετά την πλήρη αποσύνθεση του AdBlue η αμμωνία συσσωρεύεται στις διόδους του καταλύτη τύπου ζεόλιθου ενώ το διοξείδιο του άνθρακα απλά ρέει. Εάν το  $\text{NO}_x$  περάσει διαμέσου των διόδων, αντιδρά χημικά με την αμμωνία και μετατρέπεται σε ακίνδυνο άζωτο και νερό.
- Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας υπάρχει μια μετατόπιση αμμωνίας που δεν αποθηκεύεται στον καταλύτη τύπου ζεόλιθου. Για την αποφυγή εκπομπής αμμωνίας, έχει τοποθετηθεί ένας καταλύτης ολίσθησης στο περίβλημα του μετατροπέα SCR με κίνηση προς τα κάτω από τον καταλύτη τύπου ζεόλιθου. Αυτός ο καταλύτης ολίσθησης προκαλεί οξείδωση στην αμμωνία και την μετατρέπει σε ακίνδυνο άζωτο και νερό.

## 6.4 ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ

Το βιοντήζελ (Biodiesel) ή αλλιώς βιολογικό πετρέλαιο είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας επειδή δεν προέρχεται από ορυκτό αργό πετρέλαιο αλλά από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη.

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης βιοντήζελ σαν καύσιμο μεταφορών είναι ότι μπορεί να παρουσιάσει μείωση στις εκπομπές αερίων και του φαινομένου του θερμοκηπίου σε σχέση με τη χρήση συμβατικού πετρελαίου. Η χρήση 100% βιοντήζελ (πράγμα σπάνιο) μπορεί να μειώσει τις καθαρές εκπομπές  $\text{CO}_2$  κατά 40-50%, αντίστοιχα η χρήση μίγματος 5% μειώνει το  $\text{CO}_2$  κατά 2 έως 2.5%.

Το βιοντήζελ μπορεί να μειώσει τις εκπομπές και κάποιων άλλων ρύπων από τα οχήματα, παρόλο που αυτό εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα και τις

προδιαγραφές του καυσίμου. Το βιοντήζελ αποτελεί μια νέα ενεργειακή πηγή, αποσκοπώντας στη μείωση των εισαγωγών αργού πετρελαίου για την ενίσχυση της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού στην Ευρώπη.

## 6.5 ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

Για πρώτη φορά επιβλήθηκαν όρια στις εκπομπές ρύπων από κινητήρες Diesel βαρέων οχημάτων το 1973 στην Καλιφόρνια και το 1974 η εφαρμογή τους επεκτάθηκε σε όλες τις Η.Π.Α. Τα όρια εκπομπής ρύπων που ισχύουν στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. βασίζονται σε διαφορετικούς κύκλους εργαστηριακών δοκιμών και έτσι δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα. Πάντως, επικρατεί η τάση για σταδιακή επιβολή όλο και πιο αυστηρών προδιαγραφών, για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων και συνεπώς, για την ανάπτυξη περιβαλλοντικά φιλικότερων κινητήρων τόσο στις Η.Π.Α όσο και στην Ευρώπη.

Όσον αφορά την Ευρώπη, από το 1990 και μετά τα όρια εκπομπών καυσαερίων των αυτοκινήτων καθορίζονται από τη νομοθεσία Euro στο νομοθετημένο κύκλο οδήγησης NEDC (New European Driving Cycle) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σήμερα, όλα τα καινούργια επιβατηγά αυτοκίνητα της Ελληνικής αγοράς για να λάβουν έγκριση θα πρέπει να τηρούν τα όρια εκπομπών ρύπων που ορίζει το πρότυπο Euro 4.

Όσον αφορά τον κύκλο δοκιμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι εκπομπές NO<sub>x</sub>, HC, CO και μικροσωματιδίων ρυθμίζονται σύμφωνα με διαφορετικά πρότυπα, ανάλογα με τον τύπο του οχήματος, ενώ ο έλεγχος της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές γίνεται με τυποποιημένους "Κύκλους Εντός Πόλης, Εκτός Πόλης, Συνδιαστικό" που έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Οχήματα που δεν τηρούν τις προδιαγραφές δεν μπορούν να ταξινομηθούν στα κράτη μέλη της Ε.Ε. ενώ τα νέα πρότυπα δεν ισχύουν για οχήματα που βρίσκονται ήδη στη κυκλοφορία.

Η εναρμόνιση ενός κινητήρα με το προβλεπόμενο όριο πριν το 2000 γινόταν χρησιμοποιώντας τον κύκλο δοκιμών των 13 σημείων μόνιμης λειτουργίας που ονομαζόταν ECER-49. Από το 2000 και μετά αυτός ο κύκλος δοκιμών αντικαταστάθηκε από δυο νέους κύκλους: έναν ευρωπαϊκό κύκλο για κινητήρες παραγωγής ισχύος (European Stationary Cycle, ESC) και ένα αντίστοιχο κύκλο μεταβατικής λειτουργίας (European Transient Cycle, ETC).

Οι κινητήρες Diesel θα είναι στο στόχαστρο του μελλοντικού Euro 6 το οποίο θα μπει σε ισχύ από το Σεπτέμβριο του 2014 ορίζοντας αυστηρότερα όρια στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου και στους υδρογονάνθρακες. Από το Σεπτέμβριο του 2015 όλα τα αυτοκίνητα που ταξινομούνται και πωλούνται στην Ελλάδα θα πρέπει απαραίτητα να έχουν εξασφαλίσει έγκριση Euro 6.

**Πίνακας 6.1:** Πρότυπα Ευρωπαϊκής Ένωσης για εκπομπές ρύπων πετρελαιοκίνητων επιβατηγών αυτοκινήτων (σε g/km)

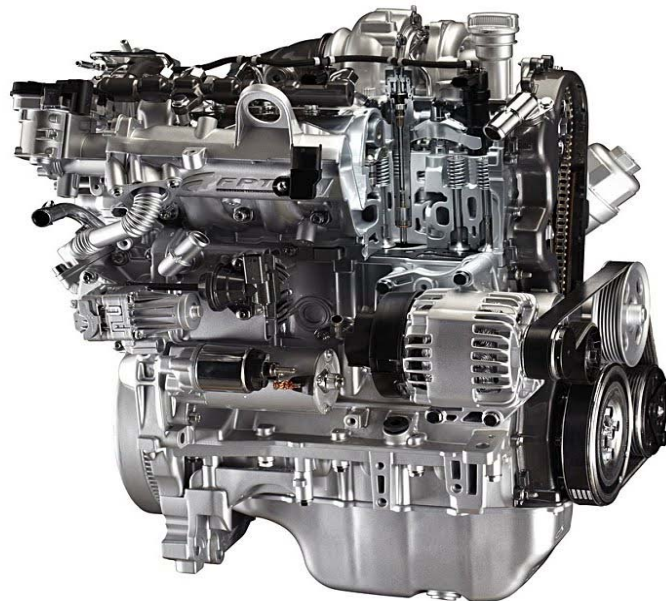
Πρότυπο	Ημερομηνία Έναρξης Ισχύος	CO	HC + NO <sub>x</sub>	PM
Euro 1	Ιούλιος 1992	2.72	0.97	0.14
Euro 2	Ιανουάριος 1996	0.64	0.7 (0.9)	0.08 (0.1)
Euro 3	Ιανουάριος 2000	0.5	0.56	0.05
Euro 4	Ιανουάριος 2005	0.5	0.3	0.025
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	0.5	0.23	0.005
Euro 6	Σεπτέμβριος 2014	0.5	0.17	0.005

Οι αριθμοί σε παρένθεση αφορούν τα πιο ελαστικά όρια που τέθηκαν το 1996 για να ενισχύσουν τη χρήση των κινητήρων άμεσης έγχυσης.

## 7. ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

### 7.1 Ο ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ MULTIJET

Ένας από τους μικρότερους σε κυβισμό κινητήρες Diesel που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 2005 είναι ο τετρακύλινδρος Multijet της Fiat, τεχνολογίας Common Rail με πίεση ψεκασμού καυσίμου 1400 bar, 4 κυλίνδρων και χωρητικότητα μόλις 1248 cm<sup>3</sup>. Η ειδική του ισχύς είναι από τις καλύτερες που έχει να επιδείξει ένας κινητήρας Diesel καθώς η απόδοση του Multijet φτάνει μέχρι και τους 105 PS στις 4000 RPM και τα 20,4Kgm ροπής στις 2000 RPM. Η τουρμπίνα του είναι σταθερής γεωμετρίας ενώ υπάρχει κύκλωμα ανακύκλωσης των καυσαερίων (EGR).



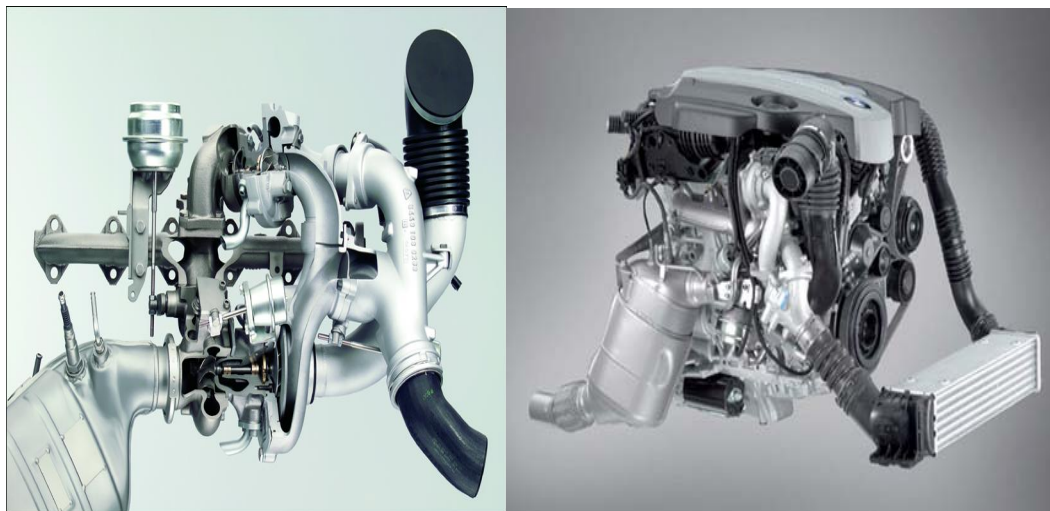
**Εικόνα 7.1:** Ο κινητήρας Diesel Multijet II της FIAT.

Ουσιαστικά ο Multijet αποτελεί την εξέλιξη των γνωστών Diesel της Fiat Unijet και ανήκει στη δεύτερη γενιά όπου έχουν την δυνατότητα να ψεκάζουν έως και 8 ψεκασμούς ανά κύκλο. Οι πολλαπλοί ψεκασμοί έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση του κροταλίσματος του κινητήρα, προσφέροντας μειωμένους ρύπους και ομαλότερη λειτουργία που προσεγγίζει των βενζινοκινητήρων. Η εξελιγμένη μονάδα του Multijet επιτρέπει μικροψεκασμούς με αποστάσεις μόλις 150 χιλιοστών του δευτερολέπτου και τον ψεκασμό ποσοτήτων που δεν ξεπερνά το 1cm<sup>3</sup>. Η μείωση των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των ψεκασμών

βελτιστοποιεί την εισαγωγή του καυσίμου στον κύλινδρο κάνοντας πιο ομαλή τη διαδικασία της καύσης με θετικά αποτελέσματα στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές ρύπων.

## 7.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL ΤΗΣ BMW

Οι εξακύλινδροι σε σειρά κινητήρες Diesel χωρητικότητας 3000cc σε μοντέλα της BMW αποτελούν ένα τέλειο συνδυασμό υψηλών επιδόσεων και οικονομικής λειτουργίας.



**Εικόνα 7.2:** Ο κινητήρας της BMW στη σειρά 535d με διβάθμιο τούρμπο.

**Πίνακας 7.1:** Τεχνικά Χαρακτηριστικά των BMW 525d, 530d, 535d

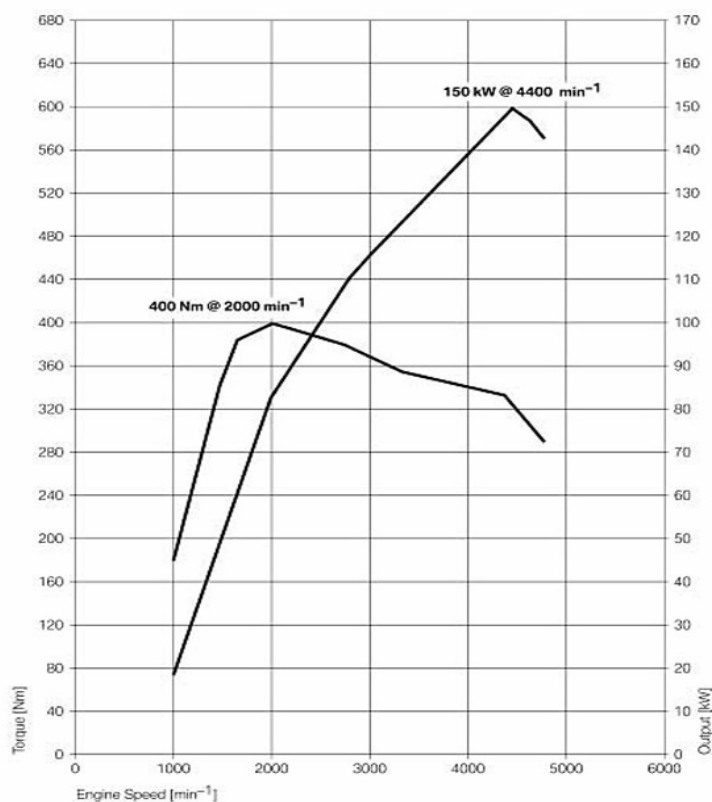
Μοντέλο	525d Τούρμπο Χαμηλής Πίεσης	530d Τούρμπο Υψηλής Πίεσης	535d Διβάθμιο τούρμπο
Μέγιστη Ισχύς (HP/RPM)	197/4000	235/4000	286/4400
Μέγιστη Ροπή (Nm/RPM)	400/3250	500/3000	580/2250
Κατανάλωση στην πόλη (lt/100km)	8.2	8.6	9.0
Κατανάλωση εκτός πόλης (lt/100km)	5	5.1	5.4
Μεικτή Κατανάλωση (lt/100km)	6.2	6.4	6.7



Εκπομπές CO <sub>2</sub> (g/km)	165	170	178
------------------------------------	-----	-----	-----

Η BMW 535d αποδίδει ροπή 580 Nm, η BMW 530d αποδίδει 500 Nm, ενώ η BMW 525d αποδίδει 400 Nm. Αυτές οι τιμές ροπής επιτυγχάνονται με τη βελτιωμένη γεωμετρία του θαλάμου καύσης, το σύστημα ψεκασμού Common Rail δεύτερης γενιάς και την υπερπλήρωση με δύο υπερτροφοδότες στη BMW 535d. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών αυτών μοντέλων της BMW φαίνονται στον πίνακα 7.1.

Επίσης αξιοσημείωτη είναι η αναφορά σε αντίστοιχης τεχνολογίας κινητήρες της ίδιας εταιρίας με 4 κυλίνδρους και χωρητικότητα 1997cc. Στο σχήμα 7.1 διακρίνονται τα διαγράμματα ροπής, ισχύος του κινητήρα με διβάθμιο τούρμπο.



**Σχήμα 7.1:** Διαγράμματα ροπής και ισχύος της BMW 123d

### 7.3 Ο ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ V6 ΤΗΣ MERCEDES

Ο κινητήρας Diesel V6 αποτελεί το νέο επίτευγμα της Mercedes στα 3,2 λίτρα. Με τους 6 κυλίνδρους σε διάταξη V ξεχωρίζει κυρίως για την εφαρμοσμένη τεχνολογία του παρά για την απόδοσή του, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν είναι ένας από τους καλύτερους κινητήρες σε απόδοση στην κατηγορία του. Εφοδιασμένος με σύστημα ψεκασμού Common Rail 3ης γενιάς ο κινητήρας της Mercedes αντί μαγνητικών βαλβίδων διαθέτει στους ψεκαστήρες με πιεζοκεραμικούς κρυστάλλους των οποίων η κρυσταλλική δομή αλλάζει μέσα με μικροδευτερόλεπτα όταν δέχονται ηλεκτρικό φορτίο.



**Εικόνα 7.3:** Ο νέος εξακύλινδρος κινητήρας Diesel της Mercedes.

Χάρη στους πιεζοκεραμικούς κρυστάλλους αυξήθηκε ο αριθμός των ψεκασμών σε κάθε φάση της καύσης που φτάνουν τους πέντε από τρεις στην προηγούμενη τεχνολογία. Σημαντική είναι και η προσθήκη των υδραυλικών ψεκαστήρων που διαθέτουν μύτες με οκτώ τρύπες αντί για επτά και εξασφαλίζουν καλύτερη κατανομή του καυσίμου στο θάλαμο καύσης καθώς και πιο αποδοτική αναλογία μείγματος αέρα/καυσίμου.

Στον κινητήρα χρησιμοποιείται και ένα turbo μεταβλητής γεωμετρίας. Το συγκεκριμένο turbo χάρη στην προηγμένη ηλεκτρονική διαχείριση μπορεί να αλλάξει με υψηλή ταχύτητα και ακρίβεια τη γωνία των πτερυγίων της τουρμπίνας αυξάνοντας την πίεση την ιδανική στιγμή σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο όγκο καυσαερίων επιτυγχάνοντας αποδοτικότερη πλήρωση των κυλίνδρων, περισσότερη ροπή σε χαμηλότερο φάσμα στροφών αλλά και μειωμένες εκπομπές ρύπων. Αποτέλεσμα αυτών είναι τα 510 Nm ροπής διαθέσιμα μόλις από τις 1.600 RPM. αλλά και 224 ίπποι (στον κινητήρα E 320 CDI V6).

Ο κινητήρας V6 των 3,2 λίτρων είναι ο πρώτος κινητήρας Diesel που στην κατασκευή του έχει γίνει τόσο εκτεταμένη χρήση αλουμινίου. Όλος ο στροφαλοθάλαμος είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο αλλά και οι κεφαλές των κυλίνδρων, τα καλύμματα κεφαλής των κυλίνδρων, οι μπιέλες ακόμα και η αντλία ψύξης ενώ σε αρκετά τμήματα έχουν κατασκευαστεί από πλαστικό υψηλής αντοχής μειώνοντας ακόμα περισσότερο το βάρος

#### 7.4 Η ΚΑΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Μια σημαντική πρόοδος στον τομέα της καύσης στους πετρελαιοκινητήρες είναι η διαδικασία καύσης κλειστού βρόχου που επιτεύχθηκε πρόσφατα από την GM μετά από πολλά χρόνια προσπαθειών. Στην καύση κλειστού βρόχου ένας αισθητήρας στο θάλαμο καύσης μέτρα τις συνθήκες πίεσης σε πραγματικό χρόνο, και οι μετρήσεις ενσωματώνονται στο σύστημα ελέγχου για τον ψεκασμό.

Αυτή η διαδικασία κλειστού βρόχου εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2009 σε ένα πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο V6 κινητήρα της GM που αποδίδει μέγιστη ισχύ 184kW/250Hp και μέγιστη ροπή 550Nm. Η διαδικασία του κλειστού βρόχου δείχνει πολύ αποτελεσματική στον έλεγχο της καύσης και έτσι η GM Powertrain Europe εργάζεται για μια νέα γενιά πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων που θα αναδείξουν την τεχνολογία αυτή έχοντας αξιοσημείωτη απόδοση.



**Εικόνα 7.4:** Ο κινητήρας turbo Diesel V6 της GM.

Η προαναφερθείσα καινοτομική τεχνολογία ονομάστηκε στα τέλη του 2009 από την OPEL ως Cleantech η οποία ελέγχει την καύση μέσω ενός

ηλεκτρονικού συστήματος κλειστού βρόγχου και για πρώτη φορά εφαρμόζεται σε τετρακύλινδρο κινητήρα χωρητικότητας 1956cc, ισχύος 160PS, ροπής 35,7Kgm στο μοντέλο Insignia Sports Tourer. Το συγκεκριμένο αυτοκίνητο ανήκει στην κατηγορία station wagon για να καλύπτει υψηλές μεταφορικές ανάγκες. Παρόλα αυτά η εταιρία αποφάσισε να του δώσει ένα δυναμισμό (σχήμα 7.6) και αυτή η προσπάθεια φαίνεται και από την ονομασία Sports Tourer που σημαίνει ταξιδιώτης με ‘σπορ’ ανησυχίες στην οδήγησή του.



**Εικόνα 7.5:** Το Opel Insignia Sports Tourer.

Στον συγκεκριμένο κινητήρα αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των πιέσεων της καύσης στα 180 bar σε κάθε κύλινδρο μέχρι ένα εκατομμύριο φορές το λεπτό, με ακρίβεια 98%. Τα δεδομένα αποστέλλονται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου του κινητήρα και ο ψεκασμός καυσίμου ρυθμίζεται συνεχώς. Αυτό το σύστημα κλειστού βρόγχου διασφαλίζει ότι ο κινητήρας παραμένει πάντα εντός ενός ιδανικού εύρους λειτουργίας, για μέγιστη απόδοση ισχύος και ελάχιστες εκπομπές καυσαερίων, βελτιώνοντας την κατανάλωση (4,5lt/100Km) και μειώνοντας το θόρυβο καύσης.

Η σταθερότητα της διαδικασίας καύσης σε βάθος χρόνου είναι ένα ακόμα πλεονέκτημα της μέτρησης πίεσης με πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες. Σε όλη τη διάρκεια ζωής του κινητήρα, αντισταθμίζει παράγοντες φθοράς, όπως ανακρίβειες στη μέτρηση καυσίμου, ανοχές εξαρτημάτων, διαφορετικές ποιότητες καυσίμου και συνθήκες λειτουργίας με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη αξιοπιστία των μετάλλων .

## **7.5 TO SMART FORTWO CDI**

Το νέο τρικύλινδρο smart με μόλις 799cc και κατανάλωση 3,3 λίτρα ανά 100χλμ και εκπομπές ρύπων των 88g CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο, κατατάσσεται στα πιο

οικονομικά αυτοκίνητα πώλης στον κόσμο. Με πλήρες γέμισμα 33 λίτρων καυσίμου, το νέο Smart των 45 HP (33 kW) έχει αυτονομία για περίπου 1000 χιλιόμετρα. Έτσι, με δεδομένο ότι ένας μέσος οδηγός κάνει 15000 km το χρόνο, το Fortwo θα απαιτήσει μόλις 15 γεμίσματα το χρόνο.

**Πίνακας 7.2:** Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Smart Fortwo CDI.

Κυβισμός	799 cc
Ισχύς	33 kW (45 HP)
Μέγιστη Ροπή	110 Nm στις 2000-2500 RPM
0-100 km/h	19.8 s
Μέγιστη Ταχύτητα	135 km/h
Μεικτή Κατανάλωση Καυσίμου	3.3 lt/100km
Εκπομπές CO <sub>2</sub>	88 g/km



**Εικόνα 7.6:** Ο κινητήρας του Smart Fortwo CDI.



**Εικόνα 7.7:** Το Smart Fortwo.

Οι μηχανικοί της Smart, βελτίωσαν τον ήδη επιτυχημένο κινητήρα του απερχόμενου μοντέλου του 2000 και τον βελτίωσαν κατά 10% την ισχύ και τη ροπή, ενώ ταυτόχρονα μείωσαν την κατανάλωση περίπου κατά 13%. Το νέο Smart Fortwo CDI προσφέρει έτσι ένα συνδυασμό της ευελιξίας, της οικονομίας και της περιβαλλοντικής συμβατότητας καλύπτοντας και προδιαγραφές EURO 6 (εφαρμόσιμες από το 2012) που είναι μοναδικό στην κατηγορία αυτή.

## **7.6 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ BLUEMOTION ΤΗΣ VW**

Η τεχνολογική πλατφόρμα BlueMotion Technologies είναι η πρόταση της VW για αυτοκίνητα φιλικότερα προς το περιβάλλον με έμφαση στη μειωμένη κατανάλωση καυσίμων και στη μείωση των ρύπων. Η πλατφόρμα BlueMotion Technologies αποτελείται από 4 πυλώνες τεχνολογικών καινοτομιών που δημιουργούν τη γκάμα αυτοκινήτων της VW με τις χαμηλότερες εκπομπές ρύπων. Πρόκειται για τις: BlueMotion, BlueMotion Technology, BlueTDI και TSI EcoFuel.

Οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές κατανάλωσης και ρύπων που πετυχαίνουν οι εκδόσεις BlueMotion οφείλονται στην αρμονική συνεργασία των κινητήρων TDI Common Rail με άλλες τεχνολογίες όπως:

- Η ένδειξη προτεινόμενης επιλογής σχέσης Gear Recommendation. Στην οθόνη πολλαπλών ενδείξεων του καντράν ο υπολογιστής ενημερώνει τον οδηγό πότε να αλλάξει σχέση μετάδοσης για την σωστότερη εκμετάλλευση του κινητήρα σε σχέση με το φορτίο του.
- Το σύστημα Stop-Start του κινητήρα. Όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση, απεμπλέκοντας το συμπλέκτη, το σύστημα Stop-Start σβήνει τον κινητήρα. Πατώντας τον συμπλέκτη, το σύστημα Stop-Start ενεργοποιεί και πάλι το κινητήρα και επιλέγοντας την 1η σχέση, το όχημα ξεκινά. Με το σύστημα

Stop-Start επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης και των ρύπων όταν το αυτοκίνητο βρίσκεται σε στάση σύνηθες σε κίνηση μέσα στην πόλη.

- το σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Κατά τη φάση επιβράδυνσης του οχήματος, πατώντας φρένο ή αφήνοντας το γκάζι, ο εναλλάκτης, μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική φορτίζοντας τη μπαταρία. Έτσι, το δυναμό ενεργοποιείται μόνο όταν χρειάζεται και δεν επιβαρύνει την λειτουργία του κινητήρα, όπως συμβαίνει σήμερα στα συμβατικά αυτοκίνητα. Ένα ειδικό λογισμικό, ελέγχει την τάση της μπαταρίας και ενεργοποιεί το δυναμό μόνο όταν αυτό χρειάζεται, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και καύσιμο ενώ παράλληλα μειώνει τις εκπομπές ρύπων.
- τα ελαστικά πολύ χαμηλής τριβής κύλισης.
- το κιβώτιο ταχυτήτων μακρύτερων σχέσεων μετάδοσης για την πιο ομαλή επιτάχυνση.
- της ειδικής σχεδίασης και βελτιωμένης σε αεροδυναμική ζάντες πολύ ελαφρού κράμματος.

Τα μοντέλα BlueTDI αντιπροσωπεύουν τα «καθαρότερα» πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα στις κατηγορίες τους, αφού πληρούν ήδη τις προδιαγραφές ρύπων Euro 6.



**Εικόνα 7.8:** Το VW Polo BlueMotion.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Polo BlueMotion, που εφοδιάζεται με ένα τρικύλινδρο πετρελαιοκινητήρα 1.2 λίτρων με απόδοση 75 ίππους, ροπή 180 Nm στις 2000 RPM και μέση κατανάλωση 3.3 lt/100 km. Συγκρινόμενο με το απλό Polo με 4-κύλινδρο κινητήρα TDI 1600cc ισχύος 75 PS το Bluemotion καταναλώνει 0.9 lt/100 km λιγότερα ενώ έχει και 20% λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> (87 g/km). Επιπλέον, εφοδιάζεται με φίλτρο κατακράτησης μικροσωματιδίων

DPF για τη μείωση της αιθάλης. Σύμφωνα με τη VW, το Polo BlueMotion είναι το πιο οικονομικό 5θέσιο αυτοκίνητο στον κόσμο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το νέο μοντέλο BlueMotion διαθέτει σύστημα ανάκτησης ενέργειας μέσω του φρεναρίσματος, ζάντες πολύ ελαφρού κράματος, λάστιχα μειωμένης τριβής κύλισης καθώς και βελτιωμένη αεροδυναμική. Συγκεκριμένα, μια νέα μάσκα μπροστά εισαγωγής αέρα, διαφορετικοί προφυλακτήρες εμπρός και πίσω, αεροτομή στην πίσω πόρτα, διακριτικά πλευρικά μαρσπιέ, ειδικά σχεδιασμένες για ζάντες αλουμινίου 15 ιντσών, ανάρτηση χαμηλότερη κατά 15 mm βελτιώνουν την αεροδυναμική του αμαξώματος με συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης που για το Polo είναι  $C_d=0.26$ .

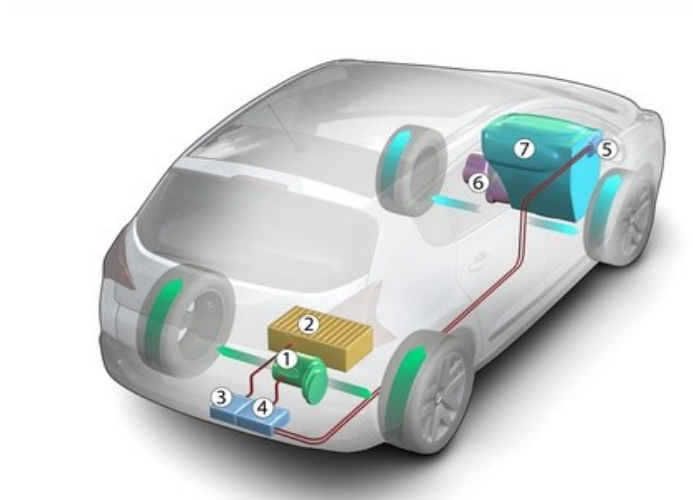
## 7.7 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ –ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΜΙΛΟΥ PSA.

Το Peugeot 3008 μπορεί να εξοπλιστεί με τέσσερις κινητήρες πετρελαίου. Με σεβασμό στο περιβάλλον όλοι οι κινητήρες πετρελαίου της Peugeot είναι εξοπλισμένοι με φίλτρο παρακράτησης μικροσωματιδίων (FAP), περιορίζοντάς τα στο ελάχιστο. Οι κινητήρες αυτοί με σειρά εκπομπής g/km CO<sub>2</sub> είναι:

- 1,6 lt HDi 16V 110 ίπποι BVA6. Αυτός ο κινητήρας των 1560 cc, 110 ίππων ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές νόρμες EURO 4 εκπέμποντας μόλις 130 g/km CO<sub>2</sub>. Το σειριακό κιβώτιο ταχυτήτων, χάρις στην ηλεκτρονική ρύθμιση, αλλάζει εύκολα ταχύτητες, ενώ εξασφαλίζει μειωμένη κατανάλωση καυσίμου σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό κιβώτιο ταχυτήτων.
- 1,6 lt HDi 16V 110 ίπποι BVM6. Αυτός ο κινητήρας των 1560 cc, 110 ίππων ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές νόρμες Euro 4 εκπέμποντας 137 g/km CO<sub>2</sub>.
- 2,0 lt HDi 16V 150 ίπποι BVM6. Αυτός ο κινητήρας των 1997 cc, 150 ίππων ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές νόρμες Euro 5 εκπέμποντας 146 g/km CO<sub>2</sub>.
- 2,0 lt HDi 16V 163 ίπποι BVA6. Αυτός ο κινητήρας των 1997 cc διατίθεται με ένα αυτόματο σειριακό κιβώτιο ταχυτήτων και ανταποκρίνεται ήδη στις περιβαλλοντικές νόρμες Euro 5 εκπέμποντας 148 g/km CO<sub>2</sub>.

Όσον αφορά στην πολυσυζητημένη τετρακίνητη έκδοσή του, αυτή θα παρουσιαστεί το 2011 και θα είναι υβριδική. Για πρώτη φορά υπάρχει συνδυασμός πετρελαιοκινητήρα 2 λίτρων HDi (με απόδοση 163 ίππων) και ηλεκτροκινητήρα με μέγιστη ισχύ 27kW (37 ίπποι) και μέγιστη ροπή 300Nm στον εμπρός άξονα και 200Nm στον πίσω.





**Εικόνα 7.9:** Το 3008 με υβριδική τεχνολογία τετρακίνησης.

Η καινοτομική τεχνολογία υβριδικού με Diesel κινητήρα ονομάζεται HYbrid4, βασίζεται στην προηγμένη τεχνογνωσία της Peugeot στους κινητήρες HDi που αναφέρθηκαν, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα Peugeot (εικόνα 7.10) και την τελειοποίηση των υφιστάμενων τεχνολογιών όπως και της VW (ηλεκτρονικά ελεγχόμενο μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων 6-σχέσεων, σύστημα Stop & Start κ.α).



**Εικόνα 7.10:** Το ηλεκτροκίνητο μοντέλο 1008

Βασίζεται επίσης σε μία παράλληλη αρχιτεκτονική (εικόνα 7.9), εναλλάσσει τη λειτουργία του κινητήρα HDi και του ηλεκτρικού κινητήρα για να διασφαλίσει την μέγιστη αποτελεσματικότητα ανάλογα με τον τρόπο που οδηγείται το αυτοκίνητο, στην πόλη ή στον αυτοκινητόδρομο. Όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα, οι δύο μονάδες παραγωγής ενέργειας προσφέρουν αυξημένες επιδόσεις. Αποτέλεσμα η πραγματική καινοτομία αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμου και εκπομπών CO<sub>2</sub> οι οποίες είναι μειωμένες κατά περίπου 35 % στον μεικτό κύκλο, σε σχέση με το ήδη υπάρχον όχημα με χρήση μόνο του Diesel κινητήρα.

Με τη λύση HYbrid4, η καινοτομική τοποθέτηση του ηλεκτρικού κινητήρα στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου προσφέρει νέα οφέλη, τετρακίνηση χωρίς το μειονέκτημα της μηχανικής σύνδεσης των αξόνων και διασφαλίζει τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα χάρη στην παρουσία ενός χώρου κινητήρα εμπρός, που μπορεί να φιλοξενήσει διαφορετικούς συμβατικούς κινητήρες και προσφέρει το πλεονέκτημα της προσαρμοστικότητας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έντυπη μορφή:

1. Καλογήρου Ι., Γεωργουδάκης Ι. και Μαυρίδης Κ., *Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης*, εκδόσεις Ίων 2004.
2. Μαυρίδης Κ., *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης*, εκδόσεις Ίων 2007.
3. Συλλογικό έργο, *Τεχνολογία Αυτοκινήτου 1: Μηχανές Εσωτερικής Καύσης*, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις 2004.
4. Bennett S., *Υδρομηχανικά Συστήματα Ψεκασμού Πετρελαιοκινητήρων Φορτηγών και Βαρέων Οχημάτων*, εκδόσεις Ίων 2003.
5. Cengel Y and Boles M, *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς*, τόμος Β', εκδόσεις Τζιόλα 1998.
6. Ralbovsky E., *Εισαγωγή στους Πετρελαιοκινητήρες Αυτοκινήτων*, εκδόσεις Ίων 2003.

Περιοδικά:

1. Drive / τεύχη Μαΐου, Ιουλίου και Αυγούστου 2005

Ηλεκτρονική μορφή:

1. <http://www.tosynergeio.gr>
2. <http://en.wikipedia.org>
3. <http://www.technicalreview.gr>
4. <http://www.anl.gov>

