



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

---

**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ  
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ  
ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΣΗΣ**

**Όνομα φοιτητή: Κωνσταντίνος Κεφάλας**

**A.M. 080063**

**Επιβλέπων καθηγητής: Ματζίнос Παναγιώτης**

**Τμήμα Οχημάτων, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**

**ATEI Θεσσαλονίκης**

**Εαρινό εξάμηνο 2012 - 2013**

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Πετρέλαιο .....	5
1.1. Ιδιότητες πετρελαίου, αποθήκευση και επικινδυνότητά του: .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ιστορική Αναδρομή .....	9
2.1. Ιστορική αναδρομή σε εικόνες: .....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αρχές λειτουργίας πετρελαιοκινητήρων .....	14
3.1. Βασικά εξαρτήματα .....	14
3.2 Οι χρόνοι του κινητήρα: .....	17
3.2.1 Τετράχρονος κινητήρας (4-Χ): .....	17
3.3 Χρονισμός των βαλβίδων .....	19
3.3.1 Χρονισμός Βαλβίδας Εισαγωγής .....	19
3.3.2 Χρονισμός Βαλβίδας Εξαγωγής .....	19
3.4 Συμπίεση: .....	20
3.5 Σχέση συμπίεσης .....	20
3.6 Διαδικασία καύσης .....	20
3.7 Ισχύς και στρόφες .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδιασμοί Θαλάμων Καύσεως .....	22
4.1 Άμεσος Ψεκασμός .....	22
4.2 Έμμεσος Ψεκασμός .....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου πετρελαιοκινητήρων .....	24
5.1 Εμβολοφόρος (εν σειρά) αντλία τύπου Bosch .....	24
5.2 Περιστροφικές αντλίες .....	27
5.2.1. Πρώτες περιστροφικές αντλίες .....	27
5.2.2. Σύγχρονες περιστροφικές αντλίες .....	30
5.2.3. Έλεγχος αντλίας .....	32
5.3 Μηχανικοί εγχυτήρες (μπεκ) .....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σύστημα ψεκασμού Common Rail .....	37
6.1 Περιγραφή και λειτουργία του συστήματος .....	39
6.2 Κύκλωμα χαμηλής πίεσης καυσίμου .....	42
6.3 Κύκλωμα υψηλής πίεσης .....	45
6.4 Κύκλωμα επιστρεφόμενων καυσίμων: .....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Unit Injector System (UIS).....	58
7.1 Unit Injector: .....	58
7.2 Τρόπος λειτουργίας:.....	59
7.3 Πλεονεκτήματα του UIS:.....	60
7.4 Τύποι UIN:.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Unit Pump System (UPS).....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Ρύποι πετρελαιοκινητήρων .....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Τεχνικές Αντιρύπανσης.....	65
10.1 Σύστημα ανακύκλωσης καυσαερίων: .....	66
10.2 Μέθοδος ελαχιστοποίησης ρύπων σε χαμηλά και μεσαία φορτία με σύστημα LTC: ..	68
10.3 Ολοκληρωμένη διάταξη Urea-SCR: .....	69
10.4 Οξειδωτικός καταλύτης: .....	71
10.5 Αναγωγικοί καταλύτες SCR (Selective Catalytic Reduction): .....	73
10.6 Αναγωγικοί καταλύτες HC-SCR (HydroCarbon-Selective Catalytic Reduction):.....	73
10.7 Καταλύτες UREA-SCR και διάλυμα AdBlue:.....	74
10.8 Καταλύτες DeNO <sub>x</sub> Υδρογόνου: .....	75
10.9 Non –Thermal-Plasma: .....	75
10.10 Χρονοπαγίδες: .....	76
10.11 TOYOTA SYSTEM DPNR: .....	78
10.12 Mercedes E 320 HC-SCR:.....	80
10.13 Mercedes Vision GL 320 Bluetec: .....	81
10.14 Μια προσέγγιση από τη honda: .....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : Συμπεράσματα .....	84
Βιβλιογραφία:.....	85

## Περίληψη

Στην παρόν μελέτη που αφορά τους πετρελαιοκινητήρες και την εξέλιξη γίνεται μια ιστορική αναδρομή που αφορά στην ανακάλυψη και τη χρήση των πετρελαιοκινητήρων. Επίσης, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο πετρέλαιο, πώς παράγεται και ποιες είναι οι ιδιότητές του.

Στην συνέχεια, περιγράφεται η αρχή λειτουργίας των πετρελαιοκινητήρων και το παλιό σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου καθώς και τα βασικότερα εξαρτήματα του όπως οι εγχυτήρες (μπεκ), οι εμβολοφόρες και οι περιστροφικές αντλίες.

Στη συνέχεια, γίνεται εκτεταμένη αναφορά, όπως δηλώνει και ο τίτλος της μελέτης, στη λειτουργία σύγχρονων πετρελαιοκινητήρων. Περιγράφονται τα συστήματα ψεκασμού common rail, unit injector και unit pump.

Στα τελευταία κεφάλαια αναφέρονται οι ρύποι των πετρελαιοκινητήρων και τα αίτια δημιουργίας τους καθώς επίσης και κάποιες τεχνικές αντιμετώπισης τους π.χ. καταλύτες και κάποια ολοκληρωμένα συστήματα που χρησιμοποιούν μερικές εταιρίες όπως η Mercedes, Toyota και Honda.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο (diesel) όπως και η βενζίνη που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες οχημάτων, λαμβάνονται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου (σχήμα 1.1).

Στο διυλιστήριο κατά την κλασματική απόσταξη, το αργό πετρέλαιο διαχωρίζεται σε τρία βασικά συστατικά:

- την βενζίνη,
- τα ενδιάμεσα συστατικά
- στα κατάλοιπα (μαζούτ, πίσσα, κωκ)

Το πετρέλαιο προέρχεται από την ομάδα των ενδιάμεσων συστατικών. Η απόδοση ενός κινητήρα επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα του πετρελαίου, γι' αυτό και η γνώση των χαρακτηριστικών του είναι απαραίτητη για τη σωστή διάγνωση της λειτουργίας του πετρελαιοκινητήρα.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες (ποιότητες) κατάταξης του πετρελαίου, οι οποίες βασίζονται στο ιξώδες του και στο σημείο ανάφλεξης του. Στην 1<sup>η</sup> κατηγορία ανήκει η κηροζίνη (φωτιστικό πετρέλαιο) η οποία έχει χαμηλό ιξώδες, υψηλή πτητικότητα, χαμηλή περιεκτικότητα σε παραφίνη και χαμηλή θερμαντική ικανότητα (kcal ανά lt) από ότι το πετρέλαιο της 2<sup>ης</sup> κατηγορίας. Στη 2<sup>η</sup> κατηγορία ανήκει το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται για την κίνηση όλων των πετρελαιοκίνητων οχημάτων.



Σχήμα 1.1

### **1.1. Ιδιότητες πετρελαίου, αποθήκευση και επικινδυνότητά του:**

Το πετρέλαιο έχει πολλές διαφορετικές ιδιότητες από την βενζίνη. Έχει μεγαλύτερη θερμαντική ικανότητα (θερμική ενέργεια), μεγαλύτερο ειδικό βάρος και ιξώδες. Επίσης είναι πιο ευαίσθητο στις χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος.

#### **Θερμική ενέργεια:**

Όταν το πετρέλαιο καίγεται, κατά την διάρκεια της καύσης αποδεσμεύεται θερμότητα. Η τιμή της θερμικής ενέργειας στο μετρικό σύστημα μετράται σε kcal και είναι η θερμότητα που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ενός λίτρου νερού κατά ένα βαθμό Calcium. Επίσης στο αγγλοσαξονικό σύστημα μετράται σε BTU και είναι η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ενός pound (lb) νερού κατά ένα βαθμό Fahrenheit.

Όσο πιο ψιλή θερμική ενέργεια περιέχει το καύσιμο, τόσο περισσότερη ενέργεια απελευθερώνει. Αν δυο πανομοιότυποι κινητήρες χρησιμοποιούν δυο διαφορετικά καύσιμα, αυτός που τροφοδοτείται με καύσιμο που έχει υψηλότερη θερμική ενέργεια, θα είναι πιο οικονομικός γιατί θα παράγει την ίδια ισχύ με λιγότερο καύσιμο. Σε ψυχρά κλίματα τα μίγματα καυσίμων έχουν χαμηλότερη θερμική ενέργεια με αποτέλεσμα να μην είναι τόσο οικονομική η λειτουργία του κινητήρα.

Το πετρέλαιο περιλαμβάνει περισσότερη ενέργεια ανά λίτρο από την βενζίνη.

#### **Ειδικό βάρος:**

Το ειδικό βάρος ενός υγρού είναι η μέτρηση του βάρους του σε σύγκριση με το βάρος του νερού, το οποίο έχει ληφθεί σαν 1. Το πετρέλαιο είναι ελαφρύτερο από το νερό αλλά πιο βαρύ από την βενζίνη και μπορεί να μεταβληθεί αν αναμιχθεί με άλλα υγρά καύσιμα.

Το ειδικό βάρος του πετρελαίου είναι σημαντικός παράγοντας για τη λειτουργία του κινητήρα. Αν το ειδικό βάρος είναι πολύ μικρό, το καύσιμο αναφλέγεται ολόκληρο αμέσως μόλις εισέλθει στο θάλαμο καύσης. Με αποτέλεσμα όλη η ενέργεια αποδεσμεύεται σε πολύ μικρή περιοχή και οι δυνάμεις δεν αναπτύσσονται ομοιόμορφα πάνω στην κεφαλή του εμβόλου. Έτσι έχουμε ζημιά στα εξαρτήματα που συνεργάζονται με το έμβολο, μειωμένη απόδοση και αυξημένο θόρυβο.

#### **Ιξώδες:**

Το ιξώδες του πετρελαίου έχει σχέση με την μορφή του νέφους των σταγονιδίων που ψεκάζονται μέσα στο θάλαμο καύσης από το μπεκ. Όταν το ιξώδες του πετρελαίου είναι υψηλό, τότε παράγει μεγάλα σταγονίδια τα οποία αναφλέγονται και καίγονται δύσκολα. Αντίθετα πετρέλαιο με χαμηλό ιξώδες παράγει πολύ μικρά σταγονίδια που αναφλέγονται και καίγονται πολύ πιο εύκολα. Επίσης αν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό, δε δημιουργείται πολύ καλή ψύξη και λίπανση της αντλίας εγχύσεως και των μπεκ.

#### **Βελτιωμένο πετρέλαιο:**

Σε χαμηλές θερμοκρασίες τις περισσότερες φορές είναι απαραίτητο να προστίθενται προσμείξεις μέσα στο πετρέλαιο για να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά του. Τα βελτιωμένα αυτά καύσιμα παρουσιάζουν μειωμένο σημείο εμφάνισης

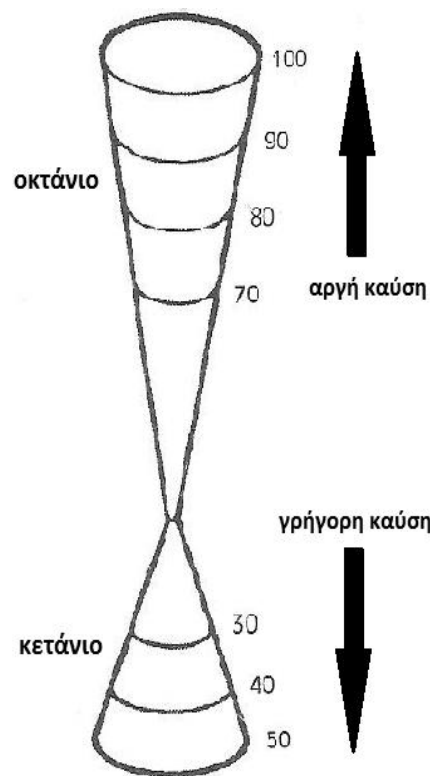
κρυστάλλων παραφίνης και χαμηλό σημείο ροής, επιτρέποντας την εύκολη ροή σε χαμηλές θερμοκρασίες.

### Αριθμός κετανίου:

Ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου είναι η περιεκτικότητα σε κανονικό κετάνιο ( $C_{16}H_{34}$ ), στα εκατό, ενός μίγματος κανονικού κετανίου και α-μεθυλοναφθαλενίου ( $C_{10}H_7CH_3$ ), που δίνει την ίδια καθυστέρηση ανάφλεξης με το καύσιμο.

Το κανονικό κετάνιο έχει πολύ καλή ποιότητα ανάφλεξης, ενώ το α-μεθυλοναφθαλένιο έχει κακή ποιότητα ανάφλεξης. Επομένως, όσο πιο μεγάλος ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου τόσο καλύτερο είναι το καύσιμο. Ο αριθμός κετανίου του πετρελαίου είναι ακριβώς αντίθετος από τον αριθμό οκτανίου που χαρακτηρίζει την βενζίνη. (σχήμα 1.2)

Πετρέλαιο με μικρό αριθμό κετανίου έχει φτωχή ικανότητα ανάφλεξης, παρουσιάζει αντικανονική καύση, υψηλή πίεση καύσης, αντικανονική ώθηση στο έμβολο. Επίσης δημιουργούνται δυνατοί ήχοι προαναφλέξεων (πειράκια).



Σχήμα 1.2

### Υπολείμματα καύσης (τέφρα):

Η τέφρα παράγεται στο θάλαμο καύσης μετά την καύση. Συναντάται σε κινητήρες οι οποίοι καίνε καύσιμα με υδρογονάνθρακες. Η τιμή της τέφρας που θα σχηματιστεί εξαρτάται από την ποιότητα και την πτητικότητα του πετρελαίου, αλλά και από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Το πετρέλαιο που έχει χαμηλή πτητικότητα ή περιέχει υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα σχηματίζει ευκολότερα υπολείμματα καύσης (τέφρα). Ο σχηματισμός τέφρας προκαλεί αύξηση των επιπέδων των ρύπων. Επίσης μπορεί να φράξει τα ακροφύσια των μπεκ και να προκαλέσει κόλλημα των ελατηρίων του εμβόλου.

### Περιεκτικότητα σε νερό:

Το πετρέλαιο έχει την ικανότητα να αναμιγνύεται πολύ εύκολα με το νερό. Αυτό προκαλεί προβλήματα στη λειτουργία του κινητήρα, καθώς επίσης οξειδώσεις στο σύστημα τροφοδοσίας, κακή λίπανση και φράξιμο των σωληνώσεων από τις σκουριές που σχηματίζονται. Τα προβλήματα αυτά προκαλούνται από απρόσεκτη αποθήκευση και διανομή του πετρελαίου.

**Αποθήκευση πετρελαίου:**

Η αποθήκευση πετρελαίου θα πρέπει να γίνεται με όλες τις προδιαγραφές που προβλέπονται και μάλιστα σε κατάλληλα δοχεία που φέρουν σχετική επιγραφή.

**Επικινδυνότητα πετρελαίου:**

Το πετρέλαιο έχει μικρότερη επικινδυνότητα πυρκαγιάς ή έκρηξης. Δεν πρέπει όμως σε καμία περίπτωση να αναμιγνύεται με οινόπνευμα ή βενζίνη.

Η βενζίνη που αναμιγνύεται με το πετρέλαιο μπορεί να προκαλέσει ένα εξαιρετικά επικίνδυνο και εκρηκτικό μίγμα. Το πετρέλαιο μόνο στη δεξαμενή καυσίμου αναδύει πολύ λίγους ατμούς, σε αντίθεση με την βενζίνη η οποία γεμίζει με ατμούς τη δεξαμενή και οι οποίοι είναι πολύ εύφλεκτοι (όσο πιο εύκολα εξατμίζεται ένα υγρό, τόσο πιο πτητικό είναι). Όταν γίνει ανάμιξη αυτών των δύο, το σημείο ανάφλεξης του πετρελαίου χαμηλώνει. Το μίγμα αυτό μπορεί να αναφλεγεί με πολλούς τρόπους. Μπορεί να δημιουργηθεί σπινθήρας με ένα στατικό φορτίο κατά την πλήρωση της δεξαμενής καυσίμου (ρεζερβουάρ). Επίσης μπορεί να προκληθεί σπινθήρας από την κρούση κάποιου εργαλείου κατά την εκτέλεση κάποιας εργασίας συντήρησης ή επισκευής. Ακόμη και με αναμμένο τσιγάρο μπορεί να προκαλέσει έκρηξη στο ρεζερβουάρ καυσίμου! Ο ίδιος κίνδυνος μπορεί να προκληθεί και από την εμπλοκή του οχήματος σε σφοδρή σύγκρουση.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ιστορική Αναδρομή**

Στο τέλος του δέκατου ένατου αιώνα, η έρευνα οδηγήθηκε στην ανακάλυψη πιο αποδοτικών κινητήρων, ικανών να λειτουργήσουν βασιζόμενοι σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, σε σχέση με αυτούς που ήδη υπήρχαν και λειτουργούσαν με ατμό της λεγόμενες ατμομηχανές που ήταν μηχανές εξωτερικής καύσης. Στην πράξη, αυτές οι θερμικές μηχανές, χρησιμοποιούνται πάνω από 250 χρόνια. Τα πρώτα 150 χρόνια της περιόδου αυτής, γινόταν ατμοποίηση του νερού με την βοήθεια της θερμότητας που παραγόταν με την καύση του καυσίμου και ο ατμός αυτός πήγαινε μέσα στον κύλινδρο που με τη εκτόνωση του παρήγαγε έργο.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ) έγιναν πραγματικότητα στην δεκαετία του 1860. Οι πρώτες μηχανές που κατασκευάστηκαν για εμπορική χρήση έκαιγαν μίγμα αέρα και προϊόντων ατελούς καύσης άνθρακα σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε αυτές τις μηχανές δεν υπήρχε συμπίεση πριν από την καύση. Ο J.J.E. Lenoir (1822-1900) ανέπτυξε την πρώτη εμπορεύσιμη μηχανή αυτού του τύπου (εικόνα 2.1). Στη μηχανή αυτή, αέριο και αέρας οδηγούνται στον κύλινδρο κατά το πρώτο ήμισυ της διαδρομής του εμβόλου. Το μίγμα τότε αναφλεγόταν με την βοήθεια ενός σπινθήρα, η πίεση αυξανόταν και τα καυσαέρια έδιναν έργο στο έμβολο κατά το δεύτερο ήμισυ της διαδρομής του. Ο κύκλος συμπληρωνόταν με μια διαδρομή εξαγωγής. Από το 1860 μέχρι το 1865 κατασκευάστηκαν περίπου πέντε χιλιάδες μηχανές αυτού του τύπου σε μεγέθη μέχρι έξι ίππων και βαθμό απόδοσης μέχρι 5%.

Το 1867 ο Nicolaus A. Otto (1832-1891) και η Eugen Langen (1833-1895) ανέπτυξαν μια άλλη μηχανή στην οποία η πίεση που αναπτυσσόταν κατά την καύση εκσφενδόνιζε ένα ελεύθερο έμβολο, η αδράνεια του οποίου δημιουργούσε κενό μέσα στον κύλινδρο. Έτσι η ατμοσφαιρική πίεση (κενό) που υπήρχε από την άλλη πλευρά ωθούσε το έμβολο κατά την αντίθετη διαδρομή και παρήγαγε έργο αφού το έμβολο ήταν συνδεδεμένο με τον άξονα που μετέφερε το έργο προς τα έξω. Μια κατάλληλη βαλβίδα ρύθμιζε την εισαγωγή, την έναυση με φλόγα αερίου και την εξαγωγή. Οι μηχανές αυτές είχαν βαθμό απόδοσης μέχρι 11%. Ήταν τεράστιες μηχανές και για ισχύ δύο ίππων είχε βάρος περίπου 1800 kg με τις στροφές να ήταν 90 στο λεπτό.

Το 1876 ο Otto κατασκεύασε μια μηχανή νέου τύπου η οποία απαιτούσε τέσσερις διαδρομές του εμβόλου για ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας (4-χρόνοι κινητήρες). Η μηχανή αυτή ήταν πολύ ελαφρύτερη, από την προηγούμενη, για ισχύ δύο ίππων είχε βάρος περίπου 570 kg, οι στροφές ήταν 160 το λεπτό και είχε βαθμό απόδοσης 14%. (εικόνα 2.3) Αυτή η μηχανή είναι η βάση πάνω στην οποία αναπτύχθηκαν και λειτουργούν όλες οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Αφού καθιερώθηκε ο κύκλος του Otto, οι έρευνες στράφηκαν στην ανεύρεση μεθόδων ανάφλεξης του καυσίμου μίγματος.

Το 1892 ο γερμανός μηχανικός Rudolf Diesel (1858-1913) παρουσίασε ένα νέο τύπο μηχανής εσωτερικής καύσης (εικόνα 2.4). Στην μηχανή αυτή γινόταν συμπίεση του αέρα μέσα στον κύλινδρο, προκειμένου να παραχθεί πολύ υψηλή θερμοκρασία. Στην συνέχεια το καύσιμο ψεκαζόταν μέσα στον κύλινδρο, όπου υπήρχε ο θερμός αέρας, με αποτέλεσμα την αυτανάφλεξη του καυσίμου και στη συνέχεια περεταίρω καύση. Με τον τρόπο αυτό υπήρχε η δυνατότητα να αναπτυχθούν μεγαλύτερες σχέσεις συμπίεσης αφού δεν υπήρχε κίνδυνος κρουστικής καύσης επειδή γινόταν συμπίεση του αέρα και όχι μίγματος αέρα καυσίμου. Ο κινητήρας αυτός ήταν πιο οικονομικός και περισσότερο αποδοτικός από τους υπόλοιπους κινητήρες εκείνης της εποχής. Ο Diesel παραχώρησε την πατέντα του στις Η.Π.Α το 1895.

Το 1900 ο πετρελαιοκινητήρας διαδόθηκε ευρύτατα στην Ευρώπη. Λόγο του μεγάλου όγκου και βάρους, οι πετρελαιοκινητήρες, είχαν εφαρμογή μόνο σε σταθερούς κινητήρες.

Το 1924 τοποθετήθηκε για πρώτη φορά πετρελαιοκινητήρας σε πλοίο, το 1925 σε λεωφορείο και τέσσερα χρόνια αργότερα το 1929 κυκλοφόρησε το πρώτο φορτηγό με κίνηση από πετρελαιοκινητήρα (εικόνα 2.5). Το μεγάλο βάρος και μέγεθος τους όμως εμπόδιζαν την χρήση τους σε μικρά επιβατικά αυτοκίνητα, αν και η Peugeot το 1922 προσπάθησε να κατασκευάσει ένα πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο.

Η εταιρία Robert Bosch άρχισε το 1927 να κατασκευάζει εξοπλισμό ψεκασμού για τους πετρελαιοκινητήρες. Η ικανότητα της Bosch για μαζική παραγωγή εξοπλισμού ψεκασμού και κατασκευής εξαρτημάτων και μάλιστα για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, έκαναν τους κινητήρες αυτούς πολύ δημοφιλείς.

Η Mercedes Benz, το 1936 άρχισε την παραγωγή ενός μικρού, για τα τότε δεδομένα, επιβατικού πετρελαιοκίνητου οχήματος. Το μοντέλο 260D (εικόνα 2.6) είχε κινητήρα (OM138) με 4 κυλίνδρους, κυβισμού 2545 cm<sup>3</sup> και είχε μέγιστη ισχύ 33 kw στις 3300 rpm. Η διάμετρος του εμβόλου ήταν 90 mm και η διαδρομή του 100mm.

Η βενζίνη, μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο ήταν πολύ ακριβή σε όλες τις χώρες εκτός από τη ΗΠΑ, έτσι σε Ευρώπη και Ιαπωνία προχώρησαν σε κατασκευή μικρών πετρελαιοκινητήρων για επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά.

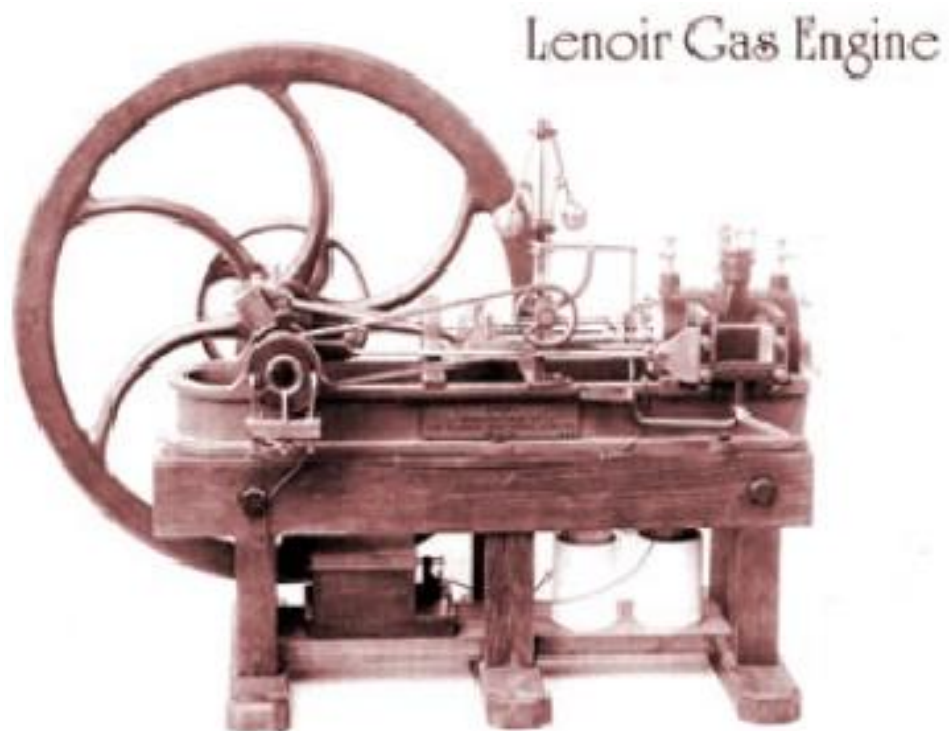
Σημαντικός παράγοντας για την προώθηση των πετρελαιοκινητήρων, ήταν το εμπάρκο του πετρελαίου το 1973 από τα αραβικά κράτη που αύξησε κατά πολύ την τιμή της βενζίνης. Μετά από έρευνα των κατασκευαστών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι πετρελαιοκινητήρες είχαν το πλεονέκτημα της οικονομίας καυσίμου χωρίς να απαιτείται ακριβή τεχνολογία. Την δεκαετία του 1970 οι κατασκευαστές πρόσφεραν τα ίδια μοντέλα βενζινοκίνητων οχημάτων εφοδιασμένα και με πετρελαιοκινητήρες. Η μεγάλη αξιοπιστία σε χαμηλή τιμή, σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες ήταν ο κυρίως λόγος που οι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνταν σε φορτηγά και ρυμουλκά οχήματα.

Το 1980 η χρήση των πετρελαιοκινητήρων σε μικρά επιβατικά οχήματα περιοριστική λόγω του ότι η βενζίνη έγινε άφθονη και σχετικά φθηνή και στο ότι το κόστος των πετρελαιοκινητήρων αυξήθηκε. Οι πετρελαιοκινητήρες συνέχισαν να εφοδιάζουν τα μικρά και ελαφρά φορτηγά αλλά και τα μεσαίας κατηγορίας καθώς και γεωργικά και χωματουργικά οχήματα.

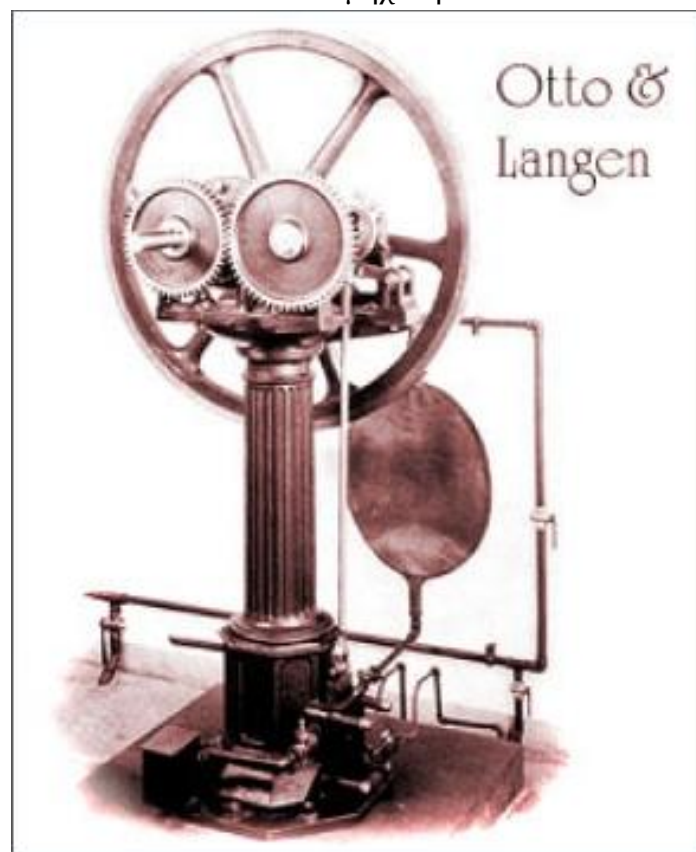
Σήμερα πλέον η χρήση πετρελαιοκινητήρων σε μικρά επιβατικά οχήματα αυξήθηκε κατά πολύ. Οι κατασκευαστές προσφέρουν σχεδόν όλα τα αυτοκίνητα τους και εφοδιασμένα με πετρελαιοκινητήρες.

Χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και μεγαλύτερη ροπή είναι τα 3 σημαντικά πλεονεκτήματα των πετρελαιοκινητήρων σε σχέση με τους αντίστοιχους βενζινοκινητήρες.

**2.1. Ιστορική αναδρομή σε εικόνες:**



Εικόνα 2.1: μηχανή Lenoir



Εικόνα 2.2: μηχανή Otto και Langen



Εικόνα 2.3: τετράχρονη μηχανή Otto



Εικόνα 2.4 : μηχανή Rudolf Diesel



Εικόνα 2.5: πετρελαιοκίνητο φορτηγό του 1929



Εικόνα 2.6: mercedes benz 260D

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αρχές λειτουργίας πετρελαιοκινητήρων**

Ο πετρελαιοκινητήρας είναι ένας κινητήρας εσωτερικής καύσεως συμπίεσης - ανάφλεξης. Σκοπός του κινητήρα αυτού είναι να μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια δηλαδή σε κίνηση.

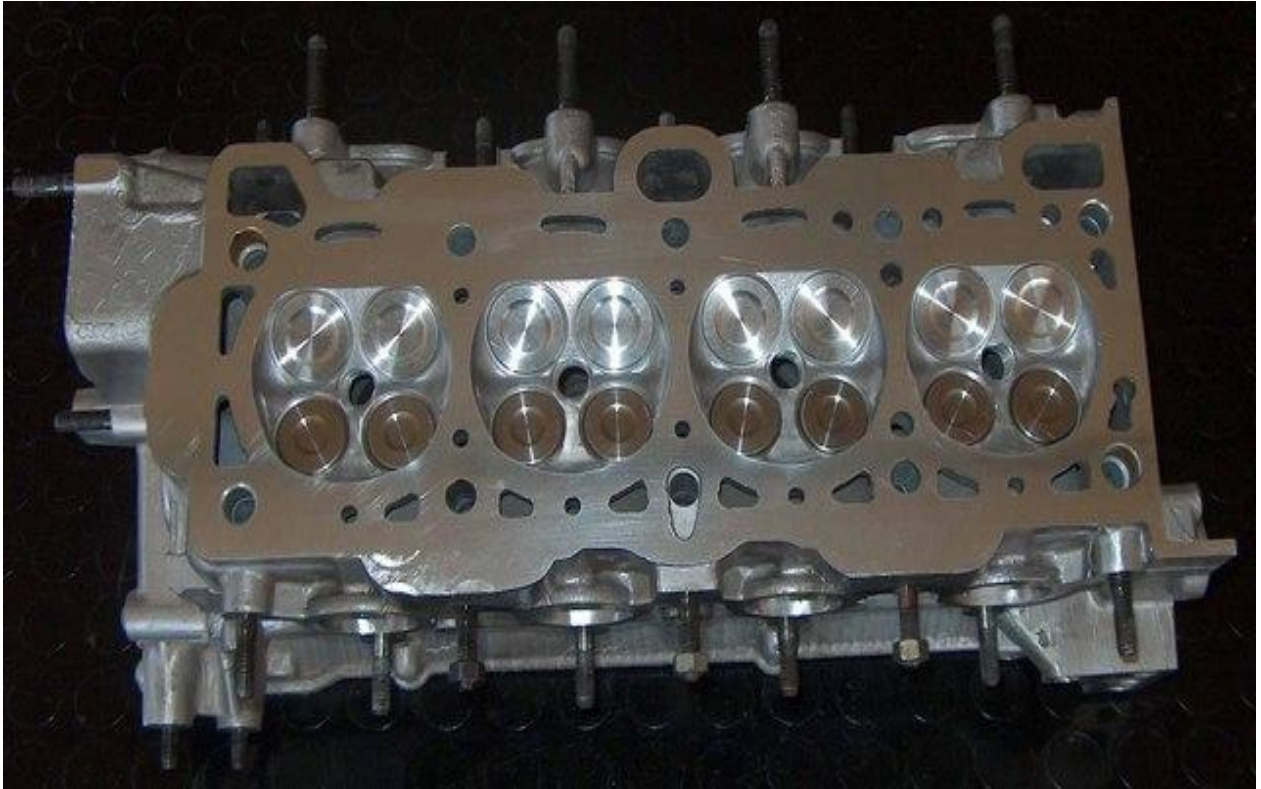
### **3.1. Βασικά εξαρτήματα**

Ο κορμός του κινητήρα, η κυλινδροκεφαλή, τα έμβολα, τα ελατήρια των εμβόλων, ο στροφαλοφόρος, οι διωστήρες, η κινηματική αλυσίδα των βαλβίδων και ο σφόνδυλος (βολάν) είναι τα σημαντικότερα εξαρτήματα που αιτούνται για την διαδικασία της καύσεως. Ο κορμός του κινητήρα (εικόνα 3.1), είναι η βάση στην οποία συναρμολογούνται όλα αυτά τα εξαρτήματα καθώς και άλλα τα οποία στηρίζονται πάνω σε αυτό, όπως για παράδειγμα η αντλία καυσίμου. Ο κορμός είναι αυτός που παρέχει τον αριθμό και την διάταξη των κυλίνδρων, όπως για παράδειγμα στην εικόνα 3.1 όπου απεικονίζεται ένας κατακόρυφος 4-κύλινδρος σε σειρά κορμός.



Εικόνα 3.1: κορμός πετρελαιοκινητήρα

Στην κορυφή των κυλίνδρων βρίσκεται η κυλινδροκεφαλή (εικόνα 3.2) η οποία εφαρμόζεται και βιδώνεται πάνω στον κορμό. Η κυλινδροκεφαλή περιλαμβάνει πάνω της, τις βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής, τα μπεκ, τους προθερμαντήρες και σε μερικούς κινητήρες τον εκκεντροφόρο (εκκεντροφόρος επικεφαλής OHC).



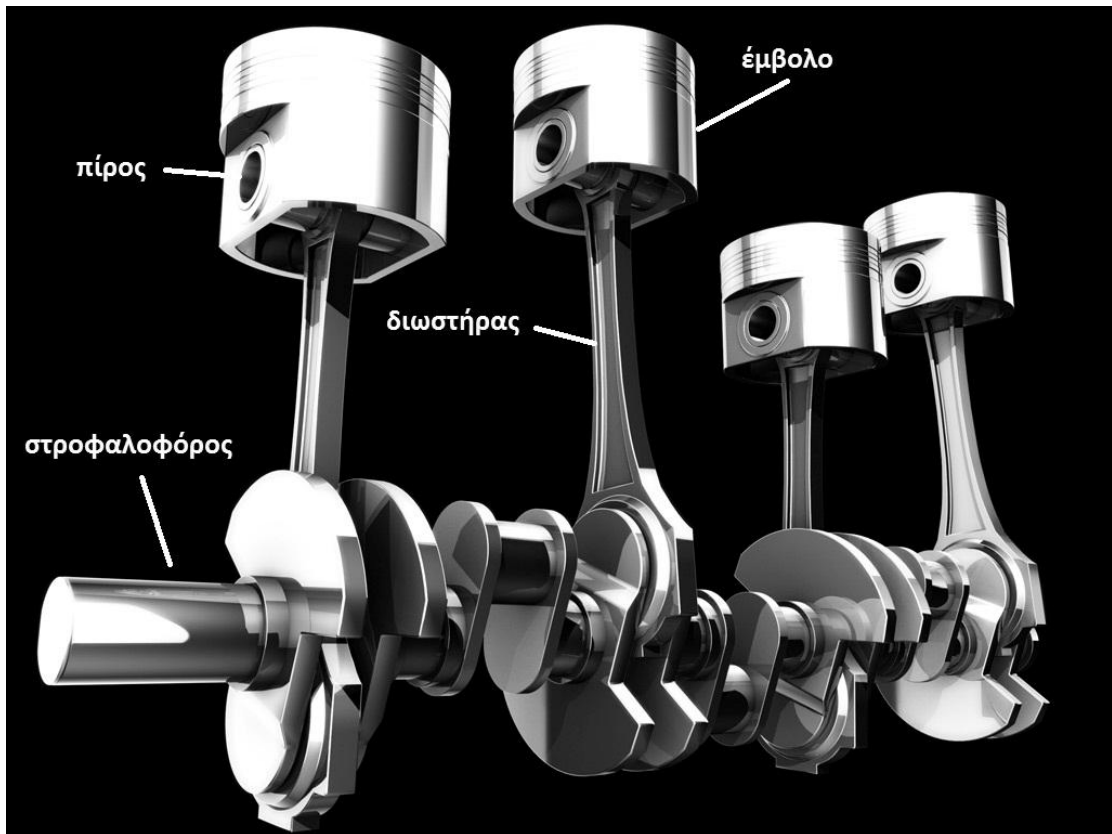
Εικόνα 3.2: κυλινδροκεφαλή με 4 βαλβίδες ανά κύλινδρο

Το έμβολο (πιστόνι) είναι το μόνο εξάρτημα στο σχεδιασμό του χώρου καύσεως που μόλις εμφανίζεται η καύση απομακρύνεται από τον χώρο αυτόν. Καθώς το έμβολο παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, πρέπει να μειώνει τις τριβές και να παρέχει πολύ καλή στεγανότητα.

Το έμβολο μέσω ενός πείρου συνδέεται στη μια πλευρά με τον διωστήρα (μπιέλα) και η άλλη πλευρά του διωστήρα, συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα (εικόνα 3.3). Η σύνδεση αυτή, μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου.

Στην εμπρόσθια άκρη του στροφαλοφόρου (καθρέπτης) συναρμολογείται ο οδοντωτός τροχός και η τροχαλία μετάδοσης της κίνησης στον μάντα χρονισμού και στον μάντα κίνησης των βοηθητικών συστημάτων του κινητήρα αντίστοιχα. Στο άλλο του άκρο συνδέεται ο σφόνδυλος ή βολάν (εικόνα 3.4).

Ο σφόνδυλος, είναι ένας βαρύς μεταλλικός δίσκος, καλά ζυγισμένο, ο σκοπός του οποίου είναι να αποθηκεύει μηχανική ενέργεια στην εκτόνωση των αερίων (ενεργητικός χρόνος) και τη διαθέτει στους υπόλοιπους χρόνους που είναι παθητικοί. Ο σφόνδυλος είναι απαραίτητος για την λειτουργία του κινητήρα γιατί δίνει μηχανική ενέργεια στον κινητήρα όταν αυτός δεν παράγει.



Εικόνα 3.3 : έμβολα συνδεδεμένα με τον στροφαλοφόρο



Εικόνα 3.4: σφόνδυλος (βολάν)



Η κινηματική αλυσίδα των βαλβίδων (εικόνα 3.5) είναι αυτή η οποία ανοίγει και κλείνει τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής την κατάλληλη χρονική στιγμή, επιτρέποντας να εισέλθει ο φρέσκος αέρας μέσα στον κύλινδρο και να εξέλθουν τα καυσαέρια από αυτόν.



Εικόνα 3.5: μηχανισμός κίνησης (κινηματική αλυσίδα βαλβίδων)

### **3.2 Οι χρόνοι του κινητήρα:**

Κάθε χρόνος χαρακτηρίζεται σαν η κίνηση του εμβόλου από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) μέχρι το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ). Τα σημεία αυτά είναι το πιο πάνω και πιο κάτω που μπορεί να φθάσει το έμβολο.

#### **3.2.1 Τετράχρονος κινητήρας (4-Χ):** (εικόνα 3.7)

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα οχήματα είναι ως επί το πλείστον τετράχρονοι. Στον τετράχρονο κινητήρα, ο κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται σε τέσσερις χρόνους που αντιστοιχούν σε 4 διαδρομές του εμβόλου μεταξύ των νεκρών σημείων.

##### **1. Χρόνος Εισαγωγής:**

Στον χρόνο αυτό το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και κατεβαίνοντας προς το ΚΝΣ αναρροφεί τον αέρα εισαγωγής με την βοήθεια της υποπίεσης που δημιουργείται από την καθοδική κίνηση του εμβόλου. Η κίνηση αυτή γίνεται εξαναγκαστικά από τον στροφαλοφόρο και το διωστήρα με τη μηχανική ενέργεια που τους παρέχει το βολάν, γι' αυτό και είναι παθητικός χρόνος. Ο φρέσκος αέρας εισέρχεται μέσα στον κύλινδρο από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής. Στο ΚΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει και έτσι ολοκληρώνεται ο χρόνος εισαγωγής. Ο πετρελαιοκινητήρας αναρροφεί πολύ περισσότερο αέρα από τον βενζινοκινητήρα καθώς δεν υπάρχει πεταλούδα γκαζιού.

##### **2. Χρόνος Συμπίεσης:**

Στον χρόνο αυτό το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Ο παγιδευμένος αέρας που βρίσκεται στον κύλινδρο, αφού είναι κλειστές οι βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής, συμπιέζεται προκειμένου να αυξηθεί κατά πολύ η θερμοκρασία του (περίπου 540 °C). Μόλις πριν το ΑΝΣ, το μπεκ αρχίζει να ψεκάζει το πετρέλαιο μέσα στον συμπιεσμένο

αέρα. Για την συμπίεση απαιτείται κατανάλωση ενέργειας, οπότε και αυτός ο χρόνος είναι παθητικός.

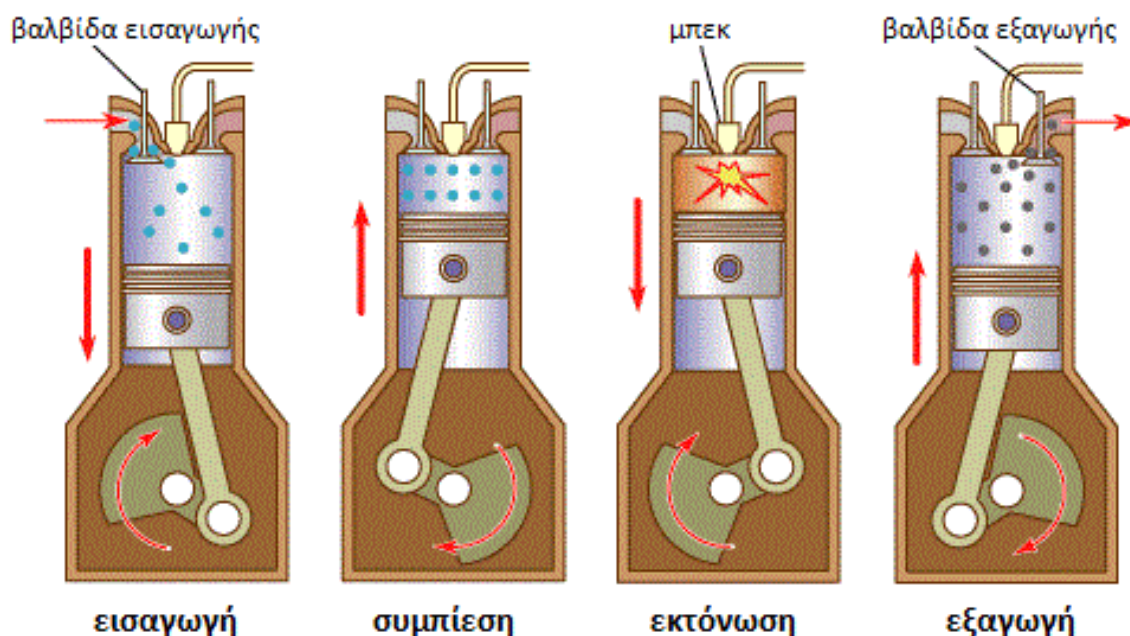
### 3. Χρόνος Εκτόνωσης:

Το πετρέλαιο ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο, όπου υπάρχει θερμός συμπιεσμένος αέρας με τον οποίο αναμιγνύεται και αρχίζει η καύση τους πολύ γρήγορα. Η καύση του μίγματος αυξάνει την θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο με αποτέλεσμα να παράγονται αέρια τα οποία εκτονώνονται και ωθούν το έμβολο προς τα κάτω. Η δύναμη αυτή, της εκτόνωσης, στην επιφάνεια του εμβόλου μετατρέπεται από τον μηχανισμό εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου σε έργο (ροπή) στον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής και κατά συνέπεια θα κινηθεί το όχημα. Η πίεση και η θερμοκρασία πέφτουν καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ. Ο χρόνος της εκτόνωσης είναι ο ενεργητικός χρόνος της μηχανής.

### 4. Χρόνος Εξαγωγής:

Στον χρόνο εξαγωγής τα καυσαέρια απομακρύνονται από το εσωτερικό του κυλίνδρου προς την ατμόσφαιρα. Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ σπρώχνοντας τα καυσαέρια από την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής μέσα στο σύστημα εξαγωγής (εξάτμιση) και από εκεί εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Στο ΑΝΣ και αφού έχει γίνει η εξαγωγή των καυσαερίων, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής για να ξεκινήσει ο επόμενος κύκλος λειτουργίας. Η εξαγωγή απαιτεί δαπάνη έργου οπότε και αυτός ο χρόνος είναι παθητικός.

Ο σφόνδυλος κατά τη φάση της εκτόνωσης αποθηκεύει ενέργεια και την διαθέτει για τους υπόλοιπους τρεις χρόνους, οι οποίοι είναι παθητικοί, για να διατηρηθεί ο κινητήρας σε λειτουργία.



εικόνα 3.7: οι 4 χρόνοι του πετρελαιοκινητήρα

### **3.3 Χρονισμός των βαλβίδων**

Το πώς αναρροφά ο κινητήρας τον φρέσκο αέρα και πως εξάγει τα καυσαέρια εξαρτάται από την ταχύτητα του εμβόλου και τον χρονισμό των βαλβίδων. Σκοπός του χρονισμού των βαλβίδων είναι να ανοίγουν και να κλείνουν στον κατάλληλο χρόνο, ώστε να επιτυγχάνεται καλή ισχύς και οικονομία καυσίμου.

#### **3.3.1 Χρονισμός Βαλβίδας Εισαγωγής**

Η βαλβίδα εισαγωγής αρχίζει να ανοίγει πριν το ΑΝΣ και κλείνει μετά το ΚΝΣ. Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει τελείως. Με το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής πριν το ΑΝΣ αναρροφάται φρέσκος αέρας.

Ο αέρας αρχικά, αναρροφάται από την απομάκρυνση των καυσαερίων. Στο χρόνο της εξαγωγής, τα καυσαέρια ωθούνται έξω από τον κύλινδρο από το έμβολο, αλλά η ταχύτητα του εμβόλου μειώνεται καθώς φτάνει στο ΑΝΣ. Έτσι λοιπόν, το μεγαλύτερο μέρος των καυσαερίων, στην πολλαπλή εξαγωγή, εξέρχεται από τον κύλινδρο με μεγάλη ταχύτητα δημιουργώντας μια περιοχή με πολύ χαμηλή πίεση πίσω από τα καυσαέρια. Έτσι, με το να ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής πριν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ, αναρροφάται φρέσκος αέρας από τη άντληση που δημιουργείται από την εξαγωγή των καυσαερίων. Ο φρέσκος αέρας που εισέρχεται βοηθάει στον καθαρισμό του κυλίνδρου από τα παραμένοντα καυσαέρια και επιτρέπει στον κύλινδρο να αναρροφά περισσότερο χρόνο.

Καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω, στο χρόνο της εισαγωγής, αναρροφάται αέρας μέχρι το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, όπου και θα μηδενιστεί η ταχύτητα του. Από τη άλλη μεριά ο αέρας συνεχίζει να εισέρχεται μέσα στον κύλινδρο λόγω της ταχύτητας που έχει αποκτήσει από την κάθοδο του εμβόλου. Για τον λόγο αυτό η βαλβίδα εισαγωγής θα κλείσει μετά το ΚΝΣ ούτως ώστε να εισέλθει όσο το δυνατόν περισσότερος αέρας και να βελτιωθεί η ογκομετρική απόδοση του κυλίνδρου.

#### **3.3.2 Χρονισμός Βαλβίδας Εξαγωγής**

Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει πριν το ΚΝΣ και κλείνει μετά το ΑΝΣ στο χρόνο της εξαγωγής, ώστε να καθαρίζεται καλύτερα ο κύλινδρος από τα καυσαέρια.

Το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής λίγο πριν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ στη διάρκεια του χρόνου της συμπίεσης, ανακουφίζει την παραμένουσα χαμηλή πίεση και εξασφαλίζει το πλήρες άνοιγμα της βαλβίδας μέχρι το έμβολο να φθάσει στο ΚΝΣ. Αυτή η παραμένουσα χαμηλή πίεση βοηθάει στον καλύτερο καθαρισμό του κυλίνδρου. Κλείνοντας την βαλβίδα εξαγωγής μετά το ΑΝΣ επιτρέπεται στα καυσαέρια να διαφύγουν ώστε να καθαρίσει καλά ο κύλινδρος (σάρωση του κυλίνδρου). Τα καυσαέρια που απομακρύνονται δημιουργούν μια μικρή αναρρόφηση για την εισροή φρέσκου αέρα μέσα στον κύλινδρο.

Η περίοδος στην οποία οι δυο βαλβίδες, εισαγωγής και εξαγωγής, είναι ταυτόχρονα ανοιχτές ονομάζεται overlap ή παλάτσο.

### **3.4 Συμπίεση:**

Η συμπίεση εξυπηρετεί στο να θερμανθεί ο φρέσκος αέρας εισαγωγής για την ανάφλεξη του καυσίμου και την αφαίρεση από αυτό της θερμικής ενέργειας που φέρει.

Ο αέρας συμπιέζεται όταν μειώνεται ο όγκος του κυλίνδρου. Αυτό εμφανίζεται όταν το έμβολο ανεβαίνει προς το ΑΝΣ στο χρόνο της συμπίεσης. Καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω, η μηχανική ενέργεια αποθηκεύεται στο σφόνδυλο και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Ο αέρας θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία η οποία αναφλέγει το καύσιμο. Καθώς καίγεται το καύσιμο, η θερμική του ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική.

### **3.5 Σχέση συμπίεσης**

Η σχέση συμπίεση (CR = Compression Ratio) επηρεάζει απευθείας τη θερμική απόδοση. Όσο υψηλότερη σχέση συμπίεσης, τόσο μεγαλύτερη σχέση εκτόνωσης επιτυγχάνεται. Όσο πιο πολλά καυσαέρια εκτονώνονται, τόσο περισσότερη θερμική ενέργεια αποβάλλεται.

Μια πολύ υψηλή σχέση συμπίεσης αναμιγνύει πολύ καλά το πετρέλαιο με τον αέρα, έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη καύση και μεγαλύτερη απόδοση. Καθώς όμως η σχέση συμπίεσης αυξάνεται πάνω από κάποια τιμή, μειώνεται η ισχύς του κινητήρα. Πολύ υψηλές σχέσεις συμπίεσης απαιτούν στιβαρότερα και βαρύτερα εξαρτήματα, μικρότερες ανοχές και πολύ καλής ποιότητας σύστημα εκκίνησης του κινητήρα για να υπερκαλύψει τις υψηλές πιέσεις της συμπίεσης και να περιστρέψει τα στιβαρότερα εξαρτήματα.

### **3.6 Διαδικασία καύσης**

Η διαδικασία της καύσης διακρίνεται σε τρεις χρονικές περιόδους: στο χρόνο καθυστέρησης ή υστέρησης, σε περίοδο απότομης καύσης και σε ελεγχόμενη περίοδο καύσης.

Ο χρόνος ή περίοδος καθυστέρησης αρχίζει κοντά στο τέλος του χρόνου της συμπίεσης, όταν αρχίζει να ψεκάζεται το καύσιμο στον κύλινδρο και μέχρι να αρχίσει να καίγεται. Κατά προσέγγιση απαιτείται ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου (0.001) για να επιτραπεί στο καύσιμο να ατμοποιηθεί και να αναμιχθεί με τον ζεστό αέρα.

Η περίοδος απότομης καύσης, ξεκινάει όταν το καύσιμο μίγμα είναι στη σωστή αναλογία και η θερμοκρασία 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 την διάρκεια της ελεγχόμενης περιόδου καύσης, το μπεκ συνεχίζει να ψεκάζει πετρέλαιο μέσα στον θάλαμο καύσης, αλλά αυτός ο πλούσιος πυρήνας καυσίμου δεν αναφλέγεται μέχρι να ενωθεί με τον αέρα. Το μίγμα 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 από ότι στην προηγούμενη περίοδο. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου απελευθερώνεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, καθώς αυξάνεται ο όγκος του κυλίνδρου.

Η διαδικασία της καύσης στον πετρελαιοκινητήρα είναι πιο αργή από αυτή του βενζινοκινητήρα, προκειμένου να υπάρξει ο κατάλληλος χρόνος για την ανάμιξη του πετρελαίου με τον αέρα, αλλά και για τον καλύτερο έλεγχο της καύσης αυτού.

Λόγω της αργοπορίας της καύσης, ο πετρελαιοκινητήρας δεν δύναται να αναπτύξει μεγάλο αριθμό στροφών, όπως συμβαίνει στον βενζινοκινητήρα.

### **3.7 Ισχύς και στροφές**

Η ισχύς εξόδου (ιπποδύναμη) και οι στροφές του πετρελαιοκινητήρα εξαρτώνται από το πόσο πολύ πετρέλαιο έχει ψεκαστεί μέσα στον κύλινδρο. Το σύστημα τροφοδοσίας του πετρελαιοκινητήρα ψεκάζει αρκετό καύσιμο προκειμένου να ανταποκριθεί στις ανάγκες του. Στο ρελαντί ψεκάζεται πολύ μικρή ποσότητα καυσίμου μέσα στον κύλινδρο. Ενώ όταν μεγαλώνουν οι απαιτήσεις για καύσιμο, όπως για παράδειγμα επιτάχυνσης του αυτοκινήτου για κάποιο προσπέρασμα ή η κίνηση σε ανηφόρα, η ποσότητα του καυσίμου που πρέπει να ψεκαστεί μεγαλώνει όπως και η διάρκεια της καύσης.

Το σύστημα ψεκασμού είναι αυτό που καθορίζει την μέγιστη ποσότητα καυσίμου που θα ψεκαστεί, στη μέγιστη ισχύ του κινητήρα. Αν ο αέρας δεν είναι αρκετός ή αν ψεκαστεί περισσότερο καύσιμο, η ποσότητα του πετρελαίου που παραμένει άκαυστη θερμαίνεται και μετατρέπεται σε άνθρακα.

Τα καυσαέρια εμφανίζονται σαν μαύρος καπνός (μικροσωματίδια) υποδεικνύοντας ότι ο κινητήρας έχει φτάσει στο όριο καπνού, όπου το σημείο αυτό δεν επιτρέπει στον κινητήρα να δώσει περισσότερη ισχύ εξόδου (ιπποδύναμη). Για να αποτραπεί η άφιξη του ορίου καπνού, το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου ρυθμίζεται για να ψεκάσει τη σωστή ποσότητα καυσίμου. Αυτό σημαίνει ότι ο κινητήρας μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερη ισχύ, αλλά τα καυσαέρια θα έχουν πολύ αιθάλη (καπνιά) σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδιασμοί Θαλάμων Καύσεως**

Το σχήμα του θαλάμου καύσεως καθορίζει τα χαρακτηριστικά του πετρελαιοκινητήρα. Ο θάλαμος καύσεως πρέπει να παρέχει καλή καύση, ελεγχόμενους ρύπους, χαμηλά επίπεδα θορύβου, οικονομία καυσίμου και ομαλή λειτουργία. Η διαδικασία της καύσης επηρεάζεται ισχυρά από το στροβιλισμό του αέρα που δημιουργείται από το σχήμα του θαλάμου καύσεως. Τα μπεκ ψεκασμού ή καλύτερα το σχήμα του νέφους των ψεκαζόμενων σταγονιδίων, σχεδιάζεται με τέτοια μορφή ώστε να αξιοποιείται το πλεονέκτημα του στροβιλισμού του αέρα προκειμένου να γίνεται καλύτερη ανάμιξη καυσίμου-αέρα.

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

### **4.1 Άμεσος Ψεκασμός**

Στα συστήματα άμεσου ψεκασμού (DI) το μπεκ ψεκάζει πάνω από το έμβολο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου η ταχύτητα του κινητήρα είναι πολύ χαμηλή. Πάνω από κάποιο αριθμό στροφών (περίπου 2500 στρ/λ) εμφανίζεται κακή καύση και υψηλά επίπεδα ρύπων.

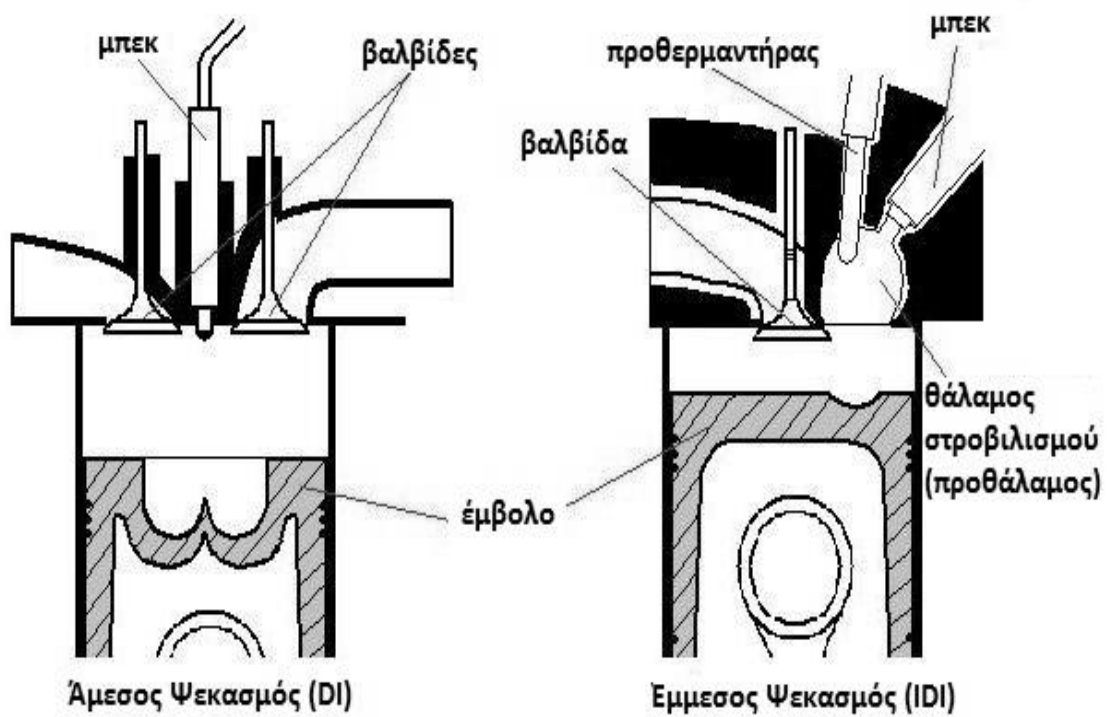
Τα συστήματα άμεσου ψεκασμού προσφέρουν χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, αλλά υψηλά επίπεδα θορύβου και ρύπων. Οι νέοι σχεδιασμοί συστημάτων άμεσου ψεκασμού μπορούν να συναγωνιστούν με τα συστήματα έμμεσου ψεκασμού.

### **4.2 Έμμεσος Ψεκασμός**

Στα συστήματα έμμεσου ψεκασμού (IDI) ο θάλαμος καύσεως διαιρείται σε δύο μικρότερους θαλάμους τον προθάλαμο και τον κυρίως θάλαμο καύσεως. Για τον λόγο αυτό, ο αέρας και το καύσιμο αναμιγνύονται αρκετά καλά ακόμα και σε υψηλές στροφές. Έτσι οι διμερείς αυτοί θάλαμοι καύσεως προτιμούνται στους μικρούς πολύστροφους κινητήρες. Τα επίπεδα θορύβου και ρύπων είναι χαμηλά.

Οι υπερβολικά υψηλές σχέσεις είναι απαραίτητες για να δημιουργούνται υψηλές θερμοκρασίες, προκειμένου να εκκινεί εύκολα ο κινητήρας. Οι προθερμαντήρες είναι απαραίτητοι για την εύκολη εκκίνηση του κινητήρα με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Η κατανάλωση καυσίμου δεν είναι τόσο καλή στους κινητήρες με έμμεσο ψεκασμό όσο είναι στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, λόγω των απωλειών τριβής, της χαμηλής θερμικής απόδοσης και των απωλειών αναρρόφησης μέσα και έξω από τον προθάλαμο.



Εικόνα 4.1: Άμεσος και Έμμεσος ψεκασμός

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου πετρελαιοκινητήρων**

Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου ενός πετρελαιοκινητήρα, αποτελείται από τη δεξαμενή καυσίμου, το αρχικό φίλτρο, την αντλία τροφοδοσίας (αντλία χαμηλής πίεσης), το βασικό φίλτρο, την αντλία έγχυσης (αντλία υψηλής πίεσης), τους εγχυτήρες (μπεκ) και τις σωληνώσεις.

Η σωστή λειτουργία ενός πετρελαιοκινητήρα στηρίζεται στο όσο το δυνατό καλύτερο ψεκασμό του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως. Έτσι ο ψεκασμός πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το καύσιμο να διασπάται σε πολύ μικρά σταγονίδια, να ψεκάζεται δηλαδή με τη μορφή νέφους.

Η έγχυση του καυσίμου σε κάθε κύλινδρο επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της κατάλληλης αντλίας, η οποία αποτελεί ίσως το σημαντικότερο εξάρτημα όλου του συστήματος τροφοδοσίας μιας μηχανής.

Για να γίνει όμως αυτό πρέπει να ψεκαστεί με πολύ μεγάλη πίεση και να περάσει μέσα από τις μικρές οπές των ακροφυσίων των εγχυτήρων (μπεκ) ψεκασμού. Συγχρόνως η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει την κατάλληλη στιγμή του κύκλου λειτουργίας της μηχανής για κάθε κύλινδρο ξεχωριστά, ενώ, ανάλογα με το φορτίο της μηχανής, θα πρέπει να ελέγχει και τη ποσότητα καυσίμου που θα ψεκαστεί.

Όλα τα παραπάνω γίνονται με τη βοήθεια της αντλίας έγχυσης, η οποία αναλαμβάνει να στείλει την κατάλληλη ποσότητα καυσίμου στους εγχυτήρες σε κάθε κύλινδρο ξεχωριστά, την κατάλληλη στιγμή και με την απαιτούμενη πίεση.

Η σωστή ρύθμιση της αντλίας έγχυσης είναι πολύ σημαντική για την ομαλή λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα, τη μεγιστοποίηση της απόδοσής του και για τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου.

Οι εγχυτήρες, στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου πετρελαιοκινητήρων, είναι το τελευταίο τμήμα του κυκλώματος τροφοδοσίας. Με τους εγχυτήρες το καύσιμο ψεκάζεται με τη μορφή λεπτότατων σταγονιδίων (νέφους) στο εσωτερικό των κυλίνδρων προκειμένου να αναμειχθεί με το συμπιεσμένο αέρα, να ψεκασθεί και στο τέλος να καεί.

Ωστόσο η λειτουργία των εγχυτήρων είναι διπλή. Εκτός από τη διάσπαση του υγρού καυσίμου σε λεπτότατα σταγονίδια ώστε να είναι δυνατή η καύση του μέσα σε ελάχιστο χρόνο, οι εγχυτήρες έχουν σκοπό και να διασκορπίσουν το καύσιμο με τέτοιο τρόπο και ταχύτητα, ώστε μαζί με τον αέρα να δημιουργείται ένα όσο το δυνατόν πιο ομοιογενές μίγμα, το οποίο μπορεί να καεί σε όποιο σημείο του θαλάμου καύσης βρίσκεται.

### **5.1 Εμβολοφόρος (εν σειρά) αντλία τύπου Bosch**

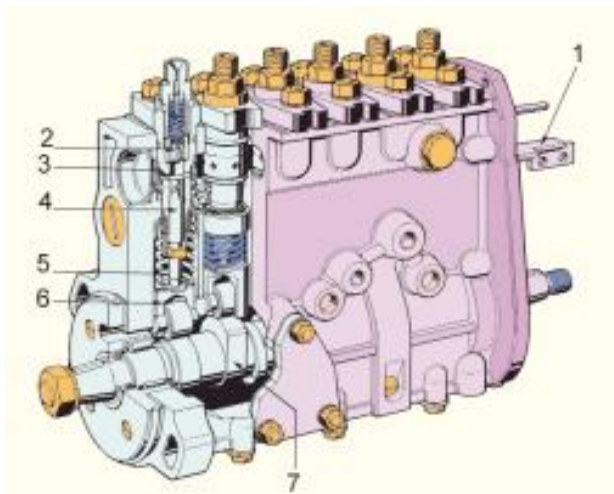
Αυτές ήταν οι πρώτες αντλίες υψηλής πίεσης πετρελαίου που κατασκευάστηκαν από την Bosch. Οι αντλίες τύπου Bosch αποτελούνται από το σώμα της αντλίας, τα αντλητικά στοιχεία, το ρυθμιστή στροφών, το ρυθμιστή προέγχυσης και από την αντλία τροφοδοσίας.

Το σώμα της αντλίας κατασκευάζεται από ελαφρό κράμα αλουμινίου και διαμορφώνεται εσωτερικά έτσι ώστε να προσαρμόζονται αρμονικά τα διάφορα εξαρτήματα της αντλίας, όπως είναι τα αντλητικά στοιχεία.

Στο πίσω μέρος του σώματος προσαρμόζεται ο ρυθμιστής στροφών, στα πλάγια η αντλία τροφοδοσίας ενώ στο εμπρός μέρος υπάρχει ο ρυθμιστής προέγχυσης.



Μέσα στο σώμα της αντλίας και σε ειδικά χωρίσματα, προσαρμόζονται τα αντλητικά στοιχεία τα οποία παίρνουν κίνηση από έναν εκκεντροφόρο που στηρίζεται σε ρουλεμάν και είναι πολύ στιβαρής κατασκευής, για να αντέχει στα μεγάλα φορτία που αναπτύσσονται σ' αυτόν (εικόνα 5.1.1).

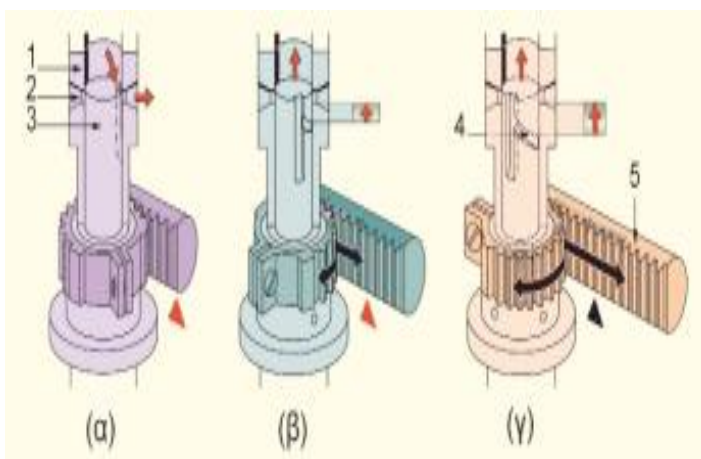


1. Οδοντωτός κανόνας
2. Βαλβίδα παροχής
3. Εισαγωγή καυσίμου
4. Έμβολο με ελικοτομή
5. Ελατήριο επαναφοράς
6. Ωστήριο με ράλλουλο
7. Εκκεντροφόρος

Εικόνα 5.1.1: εμβολοφόρος αντλία

Τα αντλητικά αυτά στοιχεία βρίσκονται «σε σειρά» και τα έμβολά τους κινούνται από τα έγκεντρα ενός εκκεντροφόρου άξονα, ο οποίος παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής, μέσω οδοντωτών τροχών (γρναζιών), ιμάντα ή αλυσίδας.

Το έμβολο κάθε αντλητικού στοιχείου, συγχρόνως με την παλινδρόμησή του, μπορεί και να περιστρέφεται. Η περιστροφή αυτή του εμβόλου γίνεται μέσω ενός οδοντωτού κανόνα, ο οποίος είναι παράλληλος με τον εκκεντροφόρο της αντλίας και κοινός για όλα τα έμβολα, ενώ μπορεί να μετακινείται και οριζόντια, γεγονός που επιφέρει και την περιστροφή των εμβόλων των αντλητικών στοιχείων (εικόνα 5.1.2).

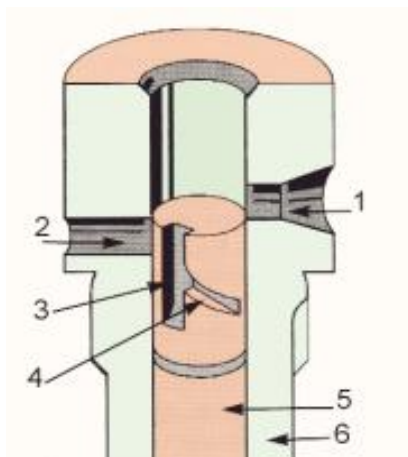


- α. μηδενική παροχή
- β. μερική παροχή
- γ. μέγιστη παροχή
1. κύλινδρος
2. εισαγωγή καυσίμου
3. έμβολο
4. ελικοτομή
5. οδοντωτός κανόνας

Εικόνα 5.1.2: περιστροφή εμβόλων των αντλητικών στοιχείων

Κάθε κύλινδρος των αντλητικών στοιχείων διαθέτει δύο οπές στα τοιχώματά του, μια για την είσοδο του καυσίμου και μια για την επιστροφή του. Παράλληλα, στο επάνω μέρος του εμβόλου υπάρχει άνοιγμα εξόδου του καυσίμου, το οποίο ελέγχεται από μια βαλβίδα ανεπίστροφης ροής που ονομάζεται και βαλβίδα παροχής καυσίμου. Επίσης, κάθε έμβολο διαθέτει μια ελικοειδή και μια κατακόρυφη εγκοπή, μέσω των

οποίων γίνεται η ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου που θα σταλεί στους εγχυτήρες της μηχανής (εικόνα 5.1.3).



1. Είσοδος καυσίμου
2. Έξοδος καυσίμου
3. Κάθετη τομή
4. Ελικοτομή εμβόλου
5. Έμβολο
6. Κύλινδρος

Εικόνα 5.1.3: κύλινδρος και έμβολο

### **Τρόπος λειτουργίας**

Το πετρέλαιο αναρροφάται από την τροφοδοτική αντλία και προωθείται στο θάλαμο χαμηλής πίεσης, ο οποίος περιβάλλει τα αντλητικά στοιχεία και επικοινωνεί με αυτά, μέσω των οπών εισαγωγής.

Έτσι, όταν το έμβολο του αντλητικού στοιχείου βρίσκεται στο κάτω μέρος, οι οπές του κυλίνδρου είναι ελεύθερες και συνεπώς το πετρέλαιο εισέρχεται στο χώρο που σχηματίζεται επάνω από το έμβολο. Καθώς το έμβολο ωθείται προς τα επάνω από το έκκεντρο, κλείνουν αυτές οι οπές του κυλίνδρου και παγιδεύεται έτσι μια ποσότητα καυσίμου, η οποία συμπιέζεται με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να ανοίξει η βαλβίδα παροχής και το καύσιμο να σταλεί για ψεκασμό στους εγχυτήρες. Καθώς όμως το έμβολο συνεχίζει προς τα επάνω την κίνηση του, η ελικοειδής εγκοπή του αποκαλύπτει την οπή επιστροφής του καυσίμου, η οποία βρίσκεται στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Αυτό έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα, η πίεση μέσα στο κύλινδρο του αντλητικού στοιχείου να πέσει απότομα και η βαλβίδα παροχής να κλείσει ακαριαία, διακόπτοντας την κατάθλιψη (έξοδο) περισσότερου καυσίμου.

Έτσι, μετακινώντας τον οδοντωτό κανόνα περιστρέφουμε τα έμβολα των αντλητικών στοιχείων αλλάζοντας με τον τρόπο αυτό την αντίστοιχη θέση των ελικοειδών εγκοπών των εμβόλων, σε σχέση με τις οπές επιστροφής του καυσίμου. Με το σύστημα αυτό, γίνεται αντιληπτό, ότι μπορούμε να καθορίσουμε την ποσότητα του καυσίμου που συμπιέζεται στους κυλίνδρους των αντλητικών στοιχείων άρα και τη ποσότητα που ψεκάζεται από τους εγχυτήρες της μηχανής.

Η εμβολοφόρος αντλία τύπου Bosch διαθέτει επίσης και ρυθμιστή στροφών που φροντίζει να κρατά τις στροφές της μηχανής στο επιθυμητό επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συνεχή μεταβολή της θέσης του οδοντωτού κανόνα, που όπως είπαμε, ελέγχει πόσο καύσιμο θα ψεκασθεί.

## **5.2 Περιστροφικές αντλίες**

### **5.2.1. Πρώτες περιστροφικές αντλίες**

Η εμβολοφόρος αντλία, τύπου Bosch, αποτελούσε για πολλά χρόνια τον μοναδικό, σχεδόν, τύπο αντλίας έγχυσης στους πετρελαιοκινητήρες. Η διάδοση, όμως, των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός άλλου τύπου αντλίας έγχυσης, απλούστερης στην κατασκευή, μικρότερων διαστάσεων και λιγότερου βάρους σε σχέση με την κλασική εμβολοφόρο αντλία. (εικόνα 5.2.1)



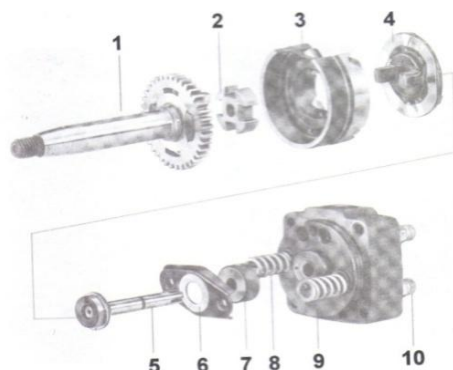
Εικόνα 5.2.1: περιστροφική αντλία Bosch VE

Οι περιστροφικές αντλίες παρουσιάζουν μεγάλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις αντίστοιχες εμβολοφόρες αντλίες, όπως απλούστερη κατασκευή, μικρότερο κόστος, οικονομικότερη και απλούστερη συντήρηση και λιγότερες ρυθμίσεις

Κυριότερη διαφορά τους είναι ότι στις περιστροφικές αντλίες χρησιμοποιείται ένα αντλητικό στοιχείο το οποίο είναι κοινό για όλους τους κύλινδρους της μηχανής. Έτσι, σε περίπτωση φθοράς του, όλοι οι κύλινδροι επηρεάζονται ομοιόμορφα, γεγονός που δεν μπορεί να συμβεί στον εμβολοφόρο τύπο αντλίας.

### **Βασικά εξαρτήματα αντλίας**

Η αντλία VE της BOSCH, είναι ένας τύπος περιστροφικής αντλίας, ο οποίος είναι πολύ διαδεδομένος στα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα.



1. Άξονας κίνησης αντλίας
2. Ειδικός σύνδεσμος
3. Κυλινδροφόρος δακτύλιος
4. Κυματοειδής πλάκα
5. Δρομέας
6. Σύνδεσμος ελατηρίων
7. Κυλινδρικό κολάρο ελέγχου
8. Ελατήριο
9. Υδραυλική κεφαλή
10. Προς τους εγχυτήρες

Εικόνα 5.2.2: βασικά εξαρτήματα αντλίας Bosch VE

Ο δρομέας περιστρέφεται μέσα στο χιτώνιο που σχηματίζεται στην υδραυλική κεφαλή της αντλίας, παίρνοντας κίνηση από τον κινητήριο άξονα της, μέσω ενός ειδικού συνδέσμου.

Ταυτόχρονα, ο δρομέας εκτελεί παλινδρομική κίνηση μέσα στο χιτώνιο, λειτουργώντας ως έμβολο. Η παλινδρομική κίνηση του δρομέα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας πλάκας με κυματοειδή επιφάνεια, η οποία είναι προσαρμοσμένη στο ένα άκρο του δρομέα και ενός ειδικού δακτυλίου, ο οποίος φέρει κυλίνδρους και είναι προσαρμοσμένος στον άξονα κίνησης της αντλίας. Ο αριθμός των κυλίνδρων του δακτυλίου, όπως και των κυματισμών της αντίστοιχης πλάκας με την οποία συνεργάζεται, είναι ίδιος με τον αριθμό των κυλίνδρων της μηχανής.

Στο άλλο άκρο του δρομέα υπάρχουν εγκοπές για την εισαγωγή του καυσίμου τόσες, όσες και οι κύλινδροι της μηχανής. Στο κέντρο του δρομέα και κατά μήκος του υπάρχει αγωγός, το ένα άκρο του οποίου επικοινωνεί με το χώρο συμπίεσης του καυσίμου, ενώ το άλλο με μια περιφερειακή εγκοπή. Επίσης, ο αγωγός αυτός συγκοινωνεί και με την εγκοπή διανομής του καυσίμου που βρίσκεται επάνω στο δρομέα.

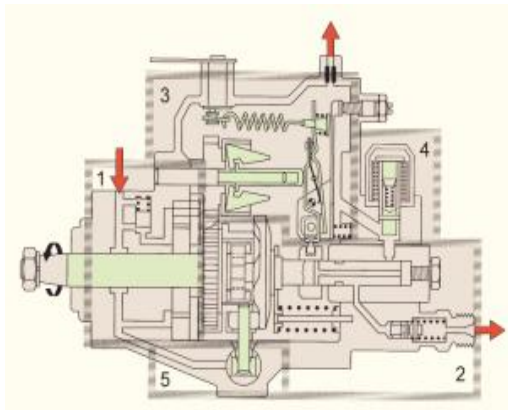
Επάνω στην υδραυλική κεφαλή της αντλίας υπάρχει μια δίοδος εισαγωγής του καυσίμου και τόσες δίοδοι όσοι είναι και οι κύλινδροι της μηχανής. Επίσης, διαθέτει μια περιστροφική αντλία παροχής καυσίμου με περύγια, η οποία παραλαμβάνει το καύσιμο από την τροφοδοτική αντλία ή από τη δεξαμενή του καυσίμου και το μεταφέρει, με αυξημένη πίεση, μέσα στην αντλία έγχυσης μέσω μιας ρυθμιστικής βαλβίδας.

Επίσης διαθέτει και ένα αυτόματο ρυθμιστή προπορείας. Ο μηχανισμός αυτού του αυτόματου ρυθμιστή της προπορείας επηρεάζει τη γωνιακή θέση του ειδικού δακτυλίου που φέρει τους κυλίνδρους, έτσι ώστε αυτοί να έρχονται πιο νωρίς κοντά στα έκκεντρα της κυματοειδούς πλάκας, με αποτέλεσμα να αρχίζει νωρίτερα η συμπίεση του καυσίμου.

### **Τρόπος λειτουργίας**

Ο άξονας της αντλίας στο δεξιό μέρος του καταλήγει σε ένα εξάρτημα, το οποίο αποτελείται από δύο ορθογωνικά στελέχη που προεξέχουν και εφαρμόζουν στις αντίστοιχες προεξοχές του μεταλλικού συνδέσμου, ο οποίος, στη συνέχεια, μεταφέρει με παρόμοια σύνδεση την περιστροφή στο δίσκο με τα έκκεντρα. Ο δίσκος αυτός, με τη βοήθεια δύο ελικοειδών ελατηρίων και ενός συνδετήριου εξαρτήματος, συμπιέζεται κατά μήκος του άξονά του στο σταθερό δακτύλιο ο οποίος στη πλευρά του προς το δίσκο φέρει τέσσερις κυλινδρικούς τροχίσκους, που εφάπτονται στην επιφάνεια του δίσκου, περιστρεφόμενοι από αυτόν γύρω από τέσσερις αξονίσκους τοποθετημένους, ακτινικά, στο δακτύλιο.

Το έμβολο της αντλίας είναι συνδεδεμένο ομόκεντρα με το δίσκο και περιστρέφεται μαζί με αυτόν. Ταυτόχρονα, όμως, λόγω της ανώμαλης επιφάνειάς του η οποία εφάπτεται με τους τροχίσκους του δακτυλίου, τόσο αυτός ο δίσκος όσο και το έμβολο μετακινούνται και αξονικά, ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας του δίσκου, η οποία δημιουργεί ταυτόχρονα με την περιστροφή και μια παλινδρομική αξονική κίνηση του εμβόλου.

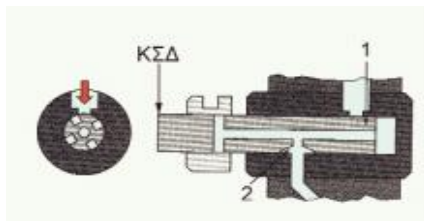


1. Αντλία τροφοδοσίας με βαλβίδα ρύθμισης πίεσης
2. Αντλία υψηλής πίεσης με διανομέα
3. Μηχανικός ρυθμιστής στροφών
4. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα διακοπής καυσίμου
5. Διάταξη χρονισμού

Εικόνα 5.2.3: διάταξη της αντλίας Bosch VE

Το έμβολο, στηριζόμενο στο κολάρο ελέγχου που βρίσκεται στην αριστερή του πλευρά, παλινδρομεί περιστρεφόμενο εντός του κυλίνδρου ο οποίος βρίσκεται στη κεφαλή του διανομέα της αντλίας. Ο κύλινδρος, φέρει τις κατάλληλες θυρίδες εξόδου του καυσίμου προς τις βαλβίδες παροχής της αντλίας, οι οποίες είναι τοποθετημένες στην κεφαλή της αντλίας και που συνδέονται με τις σωληνώσεις υψηλής πίεσης.

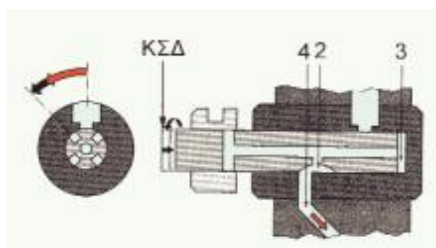
Όταν το έμβολο κινείται από την άνω θέση του προς την κάτω, το καύσιμο εισέρχεται μέσω του ανοίγματος της θυρίδας εισόδου, μέσα στο κύλινδρο, επάνω από το έμβολο. Όταν όμως το έμβολο βρεθεί στη κάτω θέση του, η περιστροφική του κίνηση κλείνει τη δίοδο εισόδου και ανοίγει τη θυρίδα εξόδου του καυσίμου προς έναν ορισμένο κύλινδρο της μηχανής. (Εικόνα 5.2.4)



- ΚΣΔ: Κάτω Σημείο Διαδρομής
1. Θυρίδα εισαγωγής
  2. Αυλάκι εμβόλου

Εικόνα 5.2.4: κλείσιμο θυρίδας εισαγωγής καυσίμου

Έτσι, το έμβολο αντιστρέφει την αξονική κίνησή του και μετακινούμενο προς τα επάνω, αρχίζει να συμπιέζει το καύσιμο που έχει εγκλωβιστεί στο επάνω μέρος του κυλίνδρου. Με τη σειρά της, η αναπτυσσόμενη στο επάνω μέρος του εμβόλου και στη θυρίδα εξόδου πίεση, αναγκάζει τη βαλβίδα παροχής να ανοίξει και να στείλει το καύσιμο στους εγχυτήρες. (εικόνα 5.2.5)

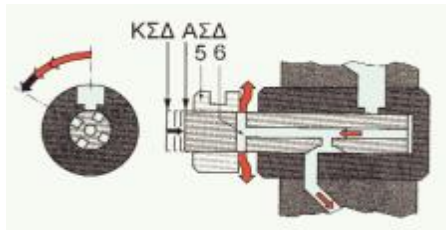


- ΚΣΔ :Κάτω Σημείο Διαδρομής.
2. Αυλάκι εμβόλου
  3. Θάλαμος πίεσης
  4. Θυρίδα εξόδου

Εικόνα 5.2.5: Παροχή καυσίμου

Ο «εμβολισμός» τελειώνει, μόλις ανοίξει η θυρίδα επιστροφής του καυσίμου προς το εσωτερικό της αντλίας. Αυτό συμβαίνει, γιατί αποκαλύπτεται το άνοιγμα του εμβόλου που υπάρχει στο κάτω μέρος του και έτσι συγκοινωνεί με το επάνω μέρος, μέσω του κεντρικού αγωγού επιστροφής του εμβόλου. Με το άνοιγμα της θυρίδας

επιστροφής, η πίεση πέφτει απότομα και η βαλβίδα παροχής κλείνει ακαριαία, σταματώντας τη ροή καυσίμου προς τους εγχυτήρες. (εικόνα 5.2.6)

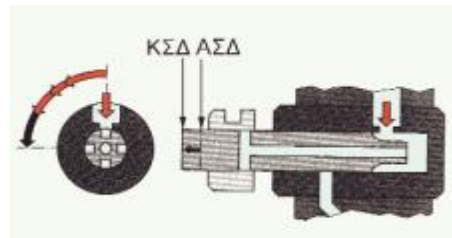


ΑΣΔ :Άνω Σημείο Διαδρομής  
 ΚΣΔ: Κάτω Σημείο Διαδρομής  
 5. Κολάρο ελέγχου  
 6. Άνοιγμα εμβόλου

Εικόνα 5.2.6: Τέλος παροχής καυσίμου

Μέχρι το έμβολο να φτάσει στο ΑΝΣ με τη θυρίδα επιστροφής ανοικτή, το υπόλοιπο καύσιμο επιστρέφει στο εσωτερικό της αντλίας. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η θυρίδα εισόδου ανοίγει και πάλι, για να επαληθευτεί ο κύκλος λειτουργίας με τον επόμενο κύλινδρο της μηχανής.

Κατά την επιστροφή του εμβόλου προς το ΚΝΣ, κλείνει η εγκάρσια εγκοπή του, λόγω της περιστροφικής του κίνησης και ο χώρος επάνω από αυτό γεμίζει και πάλι με καύσιμο που εισέρχεται από την ανοικτή θυρίδα εισόδου, ώστε να επαληθευτεί ο ίδιος κύκλος για τον επόμενο κύλινδρο της μηχανής. (εικόνα 5.2.7)

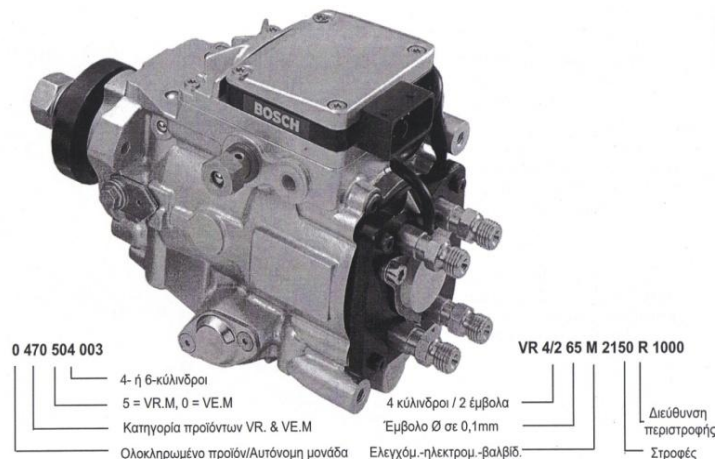


ΑΣΔ :Άνω Σημείο Διαδρομής  
 ΚΣΔ: Κάτω Σημείο Διαδρομής

Εικόνα 5.2.7: Εισαγωγή καυσίμου

### 5.2.2. Σύγχρονες περιστροφικές αντλίες

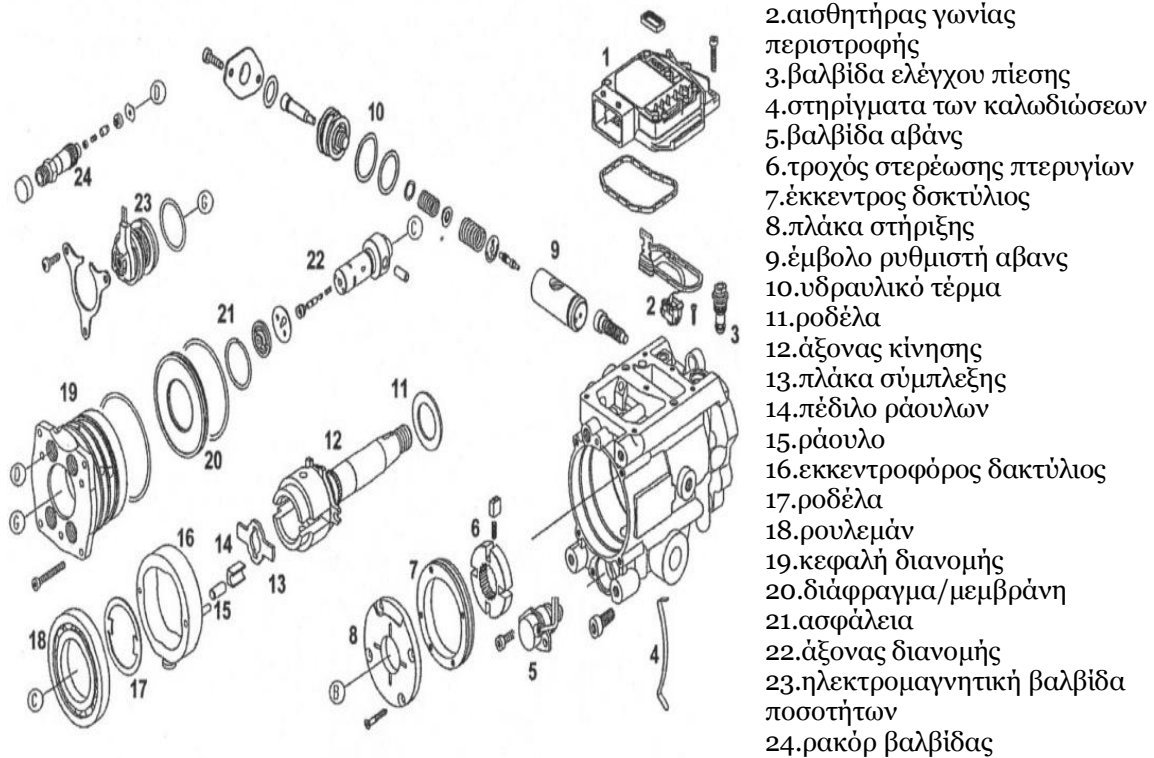
Με την πάροδο του χρόνου, η Bosch έκανε τη μεγάλη βελτίωση στις αντλίες υψηλής πίεσης. Αυτό είναι η αντικατάσταση του μηχανικού ρυθμιστή στροφών με ηλεκτρονικό έλεγχο. Συγκεκριμένα αντικατέστησε την αντλία VE με την VP. (εικόνα 5.2.8)



Εικόνα 5.2.8: Αντλία Bosch VP

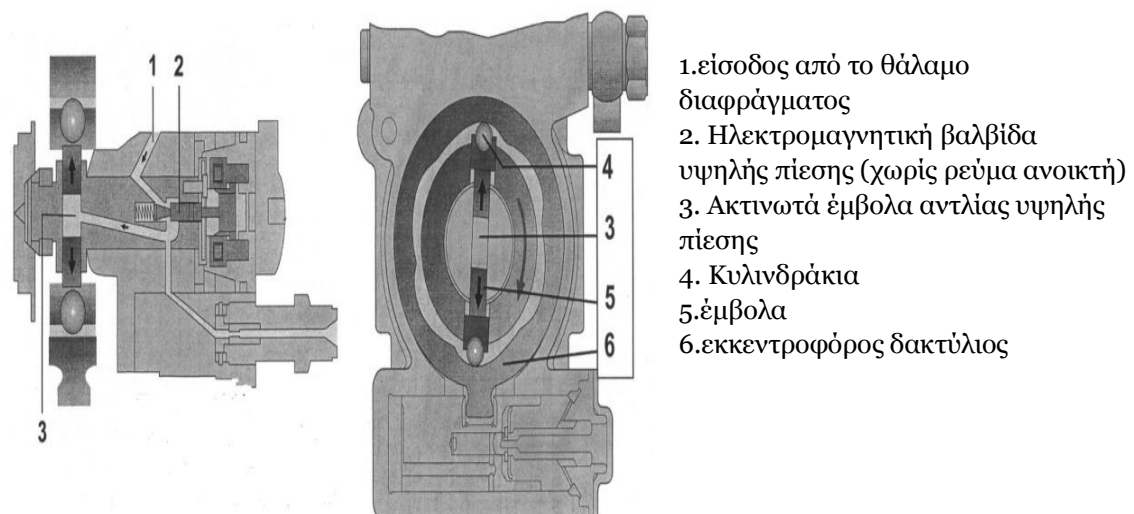
Η αντλία Bosch VP είναι παρόμοια με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι έχει Ηλεκτρονική Διαχείριση Κινητήρα ( ECU). Αυτός περιλαμβάνει τη μονάδα ελέγχου της αντλίας και τη μονάδα ελέγχου του κινητήρα.

### Βασικά εξαρτήματα αντλίας Bosch VP



Εικόνα 5.2.9: βασικά εξαρτήματα της αντλίας Bosch VP 44

Κατά ένα μεγάλο ποσοστό τα εξαρτήματα της αντλίας VP είναι τα ίδια με της αντλίας VE. Ο σκοπός της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας είναι να ελέγχει την έναρξη και το τέλος της παροχής, με άλλα λόγια τη ποσότητα του ψεκασμού. Στην εικόνα 5.2.10 βλέπουμε σε τομή πως δημιουργείται η υψηλή πίεση σε μια αντλία Bosch VP44.



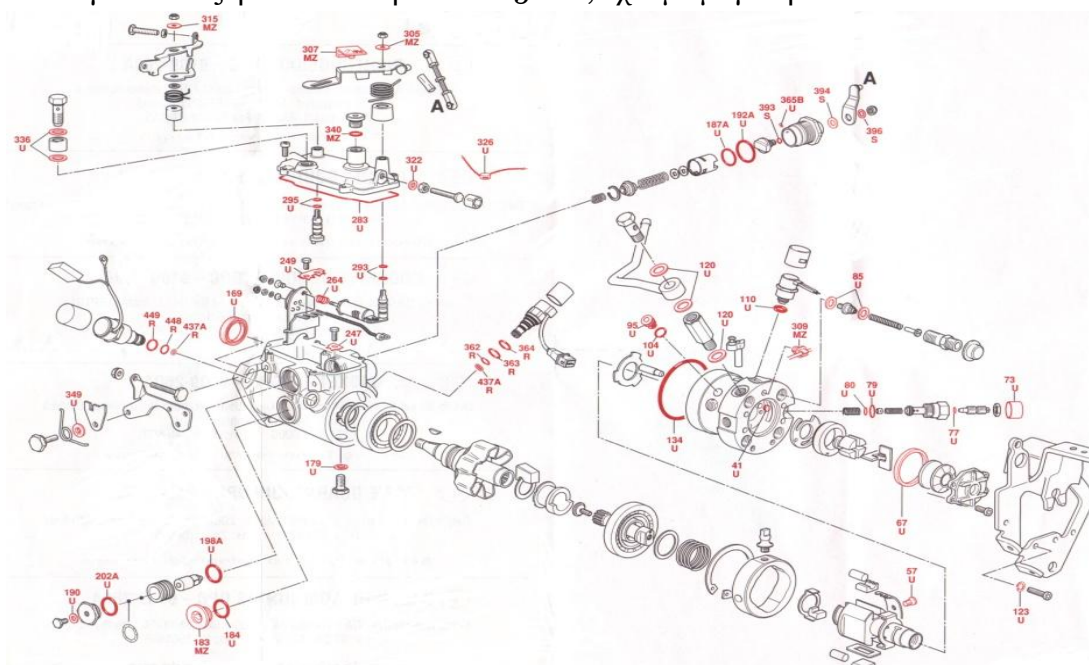
Εικόνα 2.2.10: Τομή αντλίας VP44

Όταν η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υψηλής πίεσης είναι ανοικτή, η βοηθητική αντλία προωθεί καύσιμο μέσω του θαλάμου διαφράγματος στο θάλαμο υψηλής πίεσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα έμβολα υψηλής πίεσης του άξονα διανομής να πιέζονται στον εκκεντροφόρο δακτύλιο.

Το καύσιμο πνέζεται από τα δύο έμβολα, τα οποία κινούνται μέσω κυλίνδρων από έναν εκκεντροφόρο δακτύλιο μέσω των κυλίνδρων (κυλινδράκια). Η κίνηση μεταδίδεται από έναν άξονα κίνησης. Μέσω της περιστροφικής κίνησης του άξονα τα κυλινδράκια κινούνται πάνω στα έκκεντρα του εκκεντροφόρου δακτυλίου και τα έμβολα πνέζονται προς τα μέσα. Έτσι συμπιέζεται το καύσιμο μεταξύ των εμβόλων.

Όλες οι ρυθμίσεις και οι δοκιμές που γίνονται σε αυτές τις αντλίες απαιτούν τα κατάλληλα δοκιμαστήρια, το κατάλληλο εκπαιδευμένο προσωπικό και την απαραίτητη έγκριση από τους κατασκευαστές.

Σε κάθε επισκευή της αντλίας γίνεται αλλαγή στεγανοποιητικών εξαρτημάτων και φλαντζών, από τους μηχανικούς. Πολλές φορές το σετ τσιμουχών περιλαμβάνει και εικόνα γιατί όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2.11, έχουμε μεγάλη ποικιλία.



Εικόνα 5.2.11: αντλία DELFI σε πλήρη διάταξη

### 5.2.3. Έλεγχος αντλίας

#### Μηχανικός έλεγχος

Στις πετρελαιομηχανές συμπιέζεται μόνο αέρας και όχι το καύσιμο μίγμα όπως στις βενζινομηχανές. Έτσι, ο σωστός ψεκασμός του καυσίμου αποκτά ιδιαίτερη σημασία για την ομαλή λειτουργία μιας τέτοιας μηχανής. Δηλαδή ο ψεκασμός θα πρέπει να γίνει την κατάλληλη διάρκεια, ενώ η ποσότητα του καυσίμου που θα ψεκασθεί θα πρέπει να είναι ανάλογη με το φορτίο της μηχανής. Όλα αυτά γίνονται από την αντλία έγχυσης και από ένα κατάλληλο μηχανισμό, τον ρυθμιστή στροφών (ρεγουλατόρος).

Ο ρυθμιστής στροφών παρεμβάλλεται μεταξύ του πεντάλ του γκαζιού και του οδοντωτού κανόνα (για εμβολοφόρα αντλία τύπου Bosch) ή του κολάρου ελέγχου (για περιστροφική τύπου διανομέα). Φροντίζει, ώστε η ποσότητα του καυσίμου η οποία



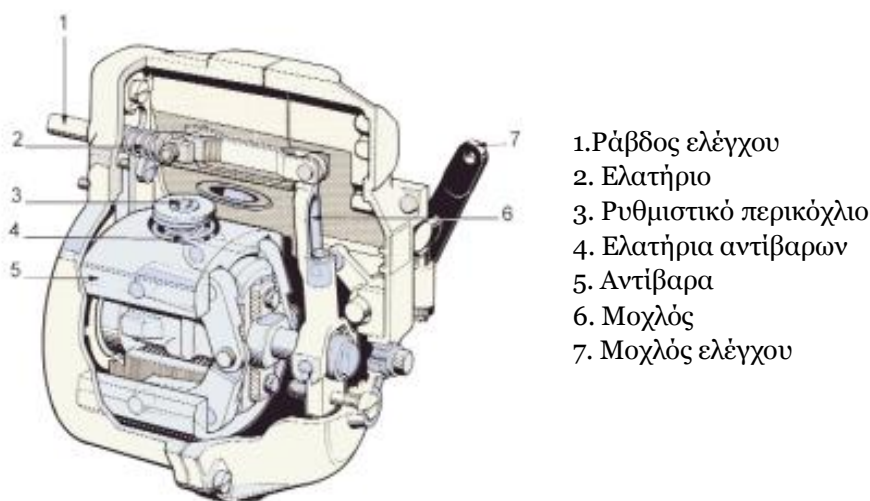
ψεκάζεται κάθε στιγμή στους κυλίνδρους της μηχανής να είναι αυτή που απαιτείται για το συγκεκριμένο φορτίο, το οποίο πρέπει να αντιμετωπίσει η μηχανή του οχήματος.

Επιπλέον, και με δεδομένο ότι οι πετρελαιομηχανές δουλεύουν με περίσσεια ποσότητα αέρα, αν δεν υπήρχε ο ρυθμιστής στροφών η ταχύτητα περιστροφής των μηχανών αυτών χωρίς φορτίο, θα μπορούσε να αυξάνει ανεξέλεγκτα, προκαλώντας τελικά την καταστροφή της. Για παράδειγμα, αν μια πετρελαιομηχανή ξεκινούσε χωρίς φορτίο, καθώς η θερμοκρασία θα αυξανόταν, οι τριβές της θα μειώνονταν, με αποτέλεσμα αν η ποσότητα του καυσίμου που ψεκαζόταν έμενε σταθερή, η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής να αυξανόταν και αυτή, ξεφεύγοντας έτσι από κάθε έλεγχο.

Με τους ρυθμιστές στροφών, εμποδίζεται η ανάπτυξη υπερβολικών ταχυτήτων περιστροφής, αφού ρυθμίζονται, κατά κύριο λόγο, τόσο η μέγιστη και η ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής, όσο και κάθε άλλη ενδιάμεση ταχύτητα.

### **Τρόπος λειτουργίας**

Η κίνηση του οδοντωτού κανόνα ή του κολάρου ελέγχου καθορίζεται συνήθως από ένα μηχανισμό, ο οποίος διαθέτει περιστρεφόμενα αντίβαρα που μετακινούνται, λόγω της φυγόκεντρης δύναμης, ανάλογα με τη ταχύτητα περιστροφής της μηχανής, συμπαρασύροντας έτσι και τον οδοντωτό κανόνα ή το κολάρο ελέγχου αντίστοιχα. (εικόνα 5.2.1α)



Εικόνα 5.2.1α: Ρυθμιστής στροφών

Ο εκκεντροφόρος της αντλίας έγχυσης περιστρέφει το φυγόκεντρικό μηχανισμό που αποτελείται από δύο αντίβαρα τα οποία συγκρατούνται με τη βοήθεια ελατηρίων προς το κέντρο του μηχανισμού. Όταν το σύστημα με τα αντίβαρα περιστρέφεται, τότε λόγω της φυγόκεντρης δύναμης, αυτά τείνουν να κινηθούν προς τα έξω, παρασύροντας το σύστημα βραχιόνων με τους οποίους είναι συνδεδεμένα.

Αυτή η μετακίνηση των αντίβαρων μεταφέρεται και στον ολισθητήρα ο οποίος μετακινείται μόνο αξονικά και συνδέεται μέσω ενός βραχίονα, με τον οδοντωτό κανόνα της αντλίας έγχυσης, ενώ -ενδιάμεσα- ο βραχίονας αυτός συνδέεται και με το μοχλό ελέγχου με τη βοήθεια του συνδέσμου.

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, η μετακίνηση των αντίβαρων σε συνδυασμό με τη θέση του μοχλού ελέγχου (δηλαδή θέση πεντάλ γκαζιού), επηρεάζει

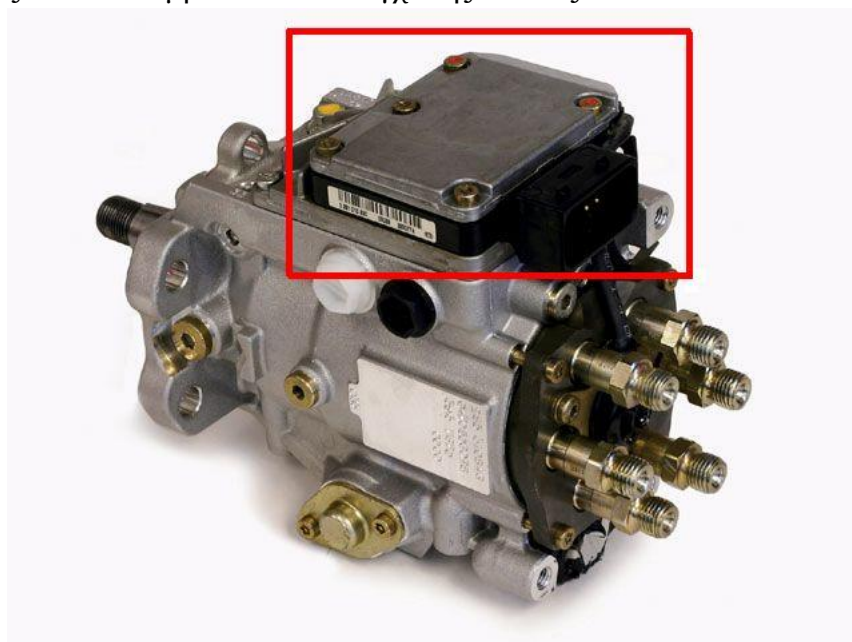
καθοριστικά τη θέση του οδοντωτού κανόνα της αντλίας άρα και τη ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται.

### **Ηλεκτρονικός έλεγχος**

Στους ηλεκτρονικούς ρυθμιστές στροφών, ένα σύστημα αισθητήρων και ένας μικροϋπολογιστής αναλαμβάνουν κάθε στιγμή τη μέτρηση διάφορων παραμέτρων της λειτουργίας της μηχανής. Συνήθως, οι αισθητήρες αυτοί ελέγχουν τις θερμοκρασίες του ψυκτικού υγρού, του αέρα και του καυσίμου καθώς και τη θέση που βρίσκεται ο οδοντωτός κανόνας ή το κολάρο ελέγχου, όπως και την ταχύτητα της μηχανής.

Όλα αυτά τα στοιχεία σε συνδυασμό με τις ρυθμίσεις του κατασκευαστή είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του μικροϋπολογιστή.

Ειδικότερα, στην αντλία Bosch VP, υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες και αισθητήρες που αναλαμβάνουν τον έλεγχο της αντλίας.



Εικόνα 5.2.1β: Ηλεκτρονικός έλεγχος αντλίας Bosch VP

### **5.3 Μηχανικοί εγχυτήρες (μπεκ)**

Για τους εγχυτήρες τα ακροφύσιά τους λειτουργούν ως διαφορικές βαλβίδες που φορτίζονται με ελατήριο.

Δηλαδή για όσο χρόνο η βελονοειδής βαλβίδα (βελόνα) παραμένει κλειστή, η πίεση του καυσίμου που δημιουργείται από την αντλία έγχυσης, ασκείται πάνω σε μια επιφάνεια της βαλβίδας μορφής δακτυλίου και η οποία επιφάνεια βρίσκεται στο κάτω μέρος του οδηγού της βαλβίδας και όχι στο άκρο του ακροφυσίου.

Όταν η προς τα επάνω δύναμη –που ασκείται στη βελονοειδή βαλβίδα- υπερβεί τη δύναμη ενός ελατηρίου που την κρατά κλειστή, τότε αυτή (η βαλβίδα) ανυψώνεται από την έδρα της με αποτέλεσμα η πίεση του καυσίμου να ασκείται σε όλη την επιφάνεια της βαλβίδας, η οποία πλέον ανοίγει τελείως και απότομα. Όταν η πίεση του καυσίμου μειωθεί, η βελονοειδής βαλβίδα επανέρχεται στην έδρα της απότομα, ωθούμενη από το ελατήριο.

Κατά τη στιγμή την οποία το καύσιμο περνά από την βελονοειδή βαλβίδα, φτάνει σε κατάλληλα διαμορφωμένα ακροφύσια, που διαθέτουν μια ή περισσότερες οπές, απ' όπου περνώντας εγχύεται και διασπάζεται σε λεπτά σταγονίδια.

Ο αριθμός των οπών, η διάμετρος και η γωνία έγχυσης τους καθορίζουν τον τρόπο διασκορπισμού του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν, σε μεγάλο βαθμό, την παραγόμενη από τη μηχανή ισχύ, τη λειτουργία της ίδιας της μηχανής, την εξέλιξη της καύσης, το θόρυβο, την κατανάλωση του καυσίμου και τις εκπομπές των καυσαερίων.

Ανάλογα με τον τύπο του θαλάμου καύσης της μηχανής, αν δηλαδή, υπάρχει προθάλαμος καύσης ή προθάλαμος στροβιλισμού, ή η έγχυση γίνεται απευθείας, επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος εγχυτήρα.

Οι βασικοί τύποι εγχυτήρα είναι οι εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας και οι εγχυτήρες τύπου οπής.

Οι εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας χρησιμοποιούνται σε μηχανές που διαθέτουν προθάλαμο καύσης ή προθάλαμο στροβιλισμού. Το ακροφύσιο αυτού του τύπου των εγχυτήρων ψεκάζει σε μορφή ομοαξονικής δέσμης το καύσιμο, ενώ η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου καθορίζεται από το βαθμό ανύψωσης της βελόνας του ακροφυσίου.

Αν η ανύψωση της βελόνας είναι μικρή, τότε αυτή παραμένει μέσα στην οπή του ακροφυσίου και η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου είναι περιορισμένη. Αν όμως η βελόνα ανυψωθεί περισσότερο, η οπή εξόδου του καυσίμου αποκαλύπτεται ολόκληρη και έτσι μπορεί να ψεκαστεί μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου.

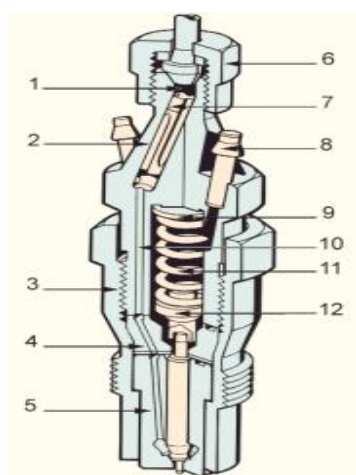
Χαρακτηριστικό του τύπου αυτού του εγχυτήρα είναι ότι στην αρχή της έγχυσης εξέρχεται από το ακροφύσιο μια μικρή μόνο ποσότητα καυσίμου, ενώ προς το τέλος της διαδικασίας αυτής, η ψεκαζόμενη ποσότητα καυσίμου είναι μεγαλύτερη. Η πίεση του ανοίγματος της βελόνας του ακροφυσίου κυμαίνεται μεταξύ 80-125 bar.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας μιας πετρελαιομηχανής, δημιουργούνται εξανθρακώματα (κατάλοιπα καύσης), τα οποία φράζουν μερικώς ή ολοκληρωτικά τα ακροφύσια, δημιουργώντας ανωμαλίες στη λειτουργία της μηχανής. Η δημιουργία αυτών των επικαθίσεων στα ακροφύσια των εγχυτήρων εξαρτάται, κυρίως, από την ποιότητα του καυσίμου και τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής.

Παραλλαγή αυτού του τύπου εγχυτήρα είναι ο εγχυτήρας με επίπεδη βελόνα, στον οποίο πρακτικά δεν υπάρχει διάκενο μεταξύ βελόνας και οπής και είναι λιγότερο ευαίσθητος στις επικαθίσεις.

Οι εγχυτήρες τύπου οπής, χρησιμοποιούνται σε μηχανές άμεσης έγχυσης, χωρίς δηλαδή προθάλαμο καύσης ή προθάλαμο στροβιλισμού, και μπορούν να πετύχουν πολύ καλό διασκορπισμό του καυσίμου. Η πίεση ανοίγματος της βελόνας του ακροφυσίου, κυμαίνεται μεταξύ 150-250 bar.

Η βελόνα του ακροφυσίου στο κάτω μέρος της είναι κωνικού σχήματος, εξασφαλίζοντας πολύ καλή στεγανότητα. Αυτού του τύπου το ακροφύσιο μπορεί να διαθέτει μια ή περισσότερες οπές, συμμετρικά τοποθετημένες.



- 1.είσοδος καυσίμου
- 2.σώμα συγκρατήρα
- 3.περικόχλιο ακροφυσίου
- 4.ενδιάμεσο εξάρτημα
- 5.ακροφύσιο
- 6.ρακόρ και σωλήνας καυσίμου
- 7.φίλτρο καυσίμου
- 8.σύνδεση
- 9.προσθήκη ρυθμιστικής πίεσης
- 10.δίοδος πίεσης καυσίμου
- 11.ελατήριο
- 12.στέλεχος πίεσης εγχυτήρα

Εικόνα 5.3.1 :Πλήρης διάταξη σώματος εγχυτήρα και ακροφυσίου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σύστημα ψεκασμού Common Rail**

Όταν για πρώτη φορά το 1989 παρουσιάστηκε στο κοινό στη Διεθνή έκθεση αυτοκινήτου στη Φρανκφούρτη, ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας σε μαζική παραγωγή με απευθείας ψεκασμό, πλήρως ηλεκτρονικά ελεγχόμενος σε αυτοκίνητο της αυτοκινητοβιομηχανίας AUDI, ίσως δεν γνώριζαν οι τεχνικοί της ότι τότε έκαναν την τεχνολογική επανάσταση στην πετρελαιοκίνηση, για την περαιτέρω βελτίωση των κινητήρων.

Την AUDI ακολούθησαν και άλλοι κατασκευαστές καταφέροντας να κάνουν, από έναν αργό, θορυβώδη, ρυπογόνο και άκομπο κινητήρα, έναν γρήγορο, καθαρό, ήσυχο και οικονομικό που δεν έχει τίποτα να ζηλέψει από ένα βενζινοκινητήρα.

Η μαγική λέξη για την τεχνολογία αυτή ονομάζεται "COMMON RAIL SYSTEM". Η ελεύθερη μετάφραση στα ελληνικά σημαίνει "κοινή κεντρική γραμμής-σωλήνα (θάλαμος)". Την πατέντα για αυτή τη τεχνολογία είχε η FIAT και η BOSCH έκανε τη κατασκευή των εξαρτημάτων και του προγράμματος λειτουργίας της ηλεκτρονικής διαχείρισης του συστήματος.

### **Πλεονεκτήματα**

Η μέχρι τότε γνωστή τεχνολογία που ήταν η περιστροφική αντλία ψεκασμού και η εμβολοφόρα αντλία έδινε ταυτόχρονα αύξηση της πίεσης και του χρόνου ψεκασμού χωρίς να προσφέρει 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 250bar μέχρι 2000bar περίπου.

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

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα του συστήματος Common Rail σε σχέση με τα άλλα συστήματα 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 την δυνατότητα πλήρη ελέγχου του ψεκασμού μπορεί να υπάρχει προέγχυση καυσίμου λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν το 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 (NOx).
- Ο ελεγχόμενος και γρήγορος ψεκασμός που πραγματοποιείται με ηλεκτρικά μπεκ, συμβάλλει στη καθαρή καύση.
- Υπάρχει δυνατότητα πριν το τέλος της καύσης να ψεκασθεί καύσιμο στο κύλινδρο με σκοπό τη μείωση των ρύπων του οξειδίου του αζώτου.

- Μεταβλητή εκκίνηση ψεκασμού. Η δημιουργία πίεσης και ο ψεκασμός δεν έχουν άμεση σχέση.
- Πιλοτικός ψεκασμός ( προέγχυση ).
- Η πίεση ψεκασμού προσαρμόζεται στις συνθήκες λειτουργίας. Η πίεση ψεκασμού, που παράγεται, μπορεί να είναι ανεξάρτητη από τον αριθμό στροφών του κινητήρα και τη ποσότητα ψεκασμού.
- Πολύ μικρές μεταβολές της πίεσης κατά τη διάρκεια του ψεκασμού.
- Ηλεκτρονική διαχείριση μέσω εγκεφάλου.
- Μεγαλύτερη ροπή.
- Μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.
- Μικρότερος θόρυβος κατά τη καύση.
- Λιγότερες εκπομπές καυσαερίων.
- Υψηλότερη απόδοση.
- Εφαρμογή : ΙΧ και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα.
- Ρύθμιση : ηλεκτρονική, μαγνητικές βαλβίδες, πιεζοηλεκτρικοί ενεργοποιητές.

### **Εξέλιξη του συστήματος Common Rail:**

1997: έγινε για πρώτη φορά στην παγκόσμια αγορά η εισαγωγή του συστήματος common rail στα επιβατικά οχήματα. Η πίεση έγχυσης ήταν στα 1350 bar. Πρώτη εφαρμογή, έγινε στις εκδόσεις της Alfa Romeo και της Mercedes-Benz.

1999: το σύστημα common rail εφαρμόστηκε στα επαγγελματικά οχήματα. Η πίεση έγχυσης ήταν στα 1400 bar. Η πρώτη εφαρμογή έγινε στις εκδόσεις της Renault (RVI).

2001: παρουσιάστηκε η 2<sup>η</sup> γενιά common rail, για επιβατικά οχήματα που δημιουργούσε περισσότερο οικονομικούς πετρελαιοκινητήρες, φιλικούς στο περιβάλλον, λιγότερο θορυβώδεις και καλύτερης απόδοσης. Η πίεση έγχυσης ήταν στα 1600 bar. Η πρώτη εφαρμογή έγινε στις εκδόσεις Volvo και BMW.

2002: εφαρμόστηκε η 2<sup>η</sup> γενιά common rail στα επαγγελματικά οχήματα. Παρουσίαζαν χαμηλά επίπεδα ρύπων και μικρότερη κατανάλωση αλλά υψηλότερη απόδοση. Η πίεση έγχυσης ήταν στα 1600 bar. Η πρώτη εφαρμογή έγινε στις εκδόσεις MAN.

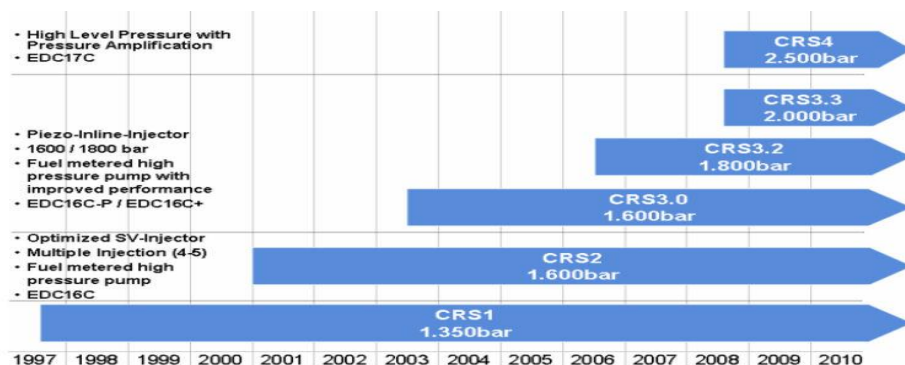
2003: 3<sup>η</sup> γενιά common rail με άμεσης απόκρισης μπεκ piezo για επιβατικά οχήματα. Παρουσίαζε έως 20% λιγότερους ρύπους, έως 5% περισσότερη δύναμη, 3% μείωση κατανάλωσης και έως 3 db(A) μείωση θορύβου του κινητήρα. Η πίεση έγχυσης έφτανε τα 1600 bar. Η πρώτη εφαρμογή έγινε στις εκδόσεις της Audi.

2006: 3<sup>η</sup> γενιά common rail με πίεση συστήματος 1800 bar αντί της πίεσης των 1600 bar το οποίο προσφέρει περισσότερες δυνατότητες δημιουργίας “καθαρών” κινητήρων και επιπλέον μεγαλύτερη απόδοση.

Σχετικά με την 4<sup>η</sup> γενιά Common Rail για τα επιβατικά αυτοκίνητα η Bosch μελετά συστήματα με εφαρμογή πιο υψηλών πιέσεων ψεκασμού.

Το σύστημα Common Rail 4<sup>ης</sup> γενιάς για βαριά επαγγελματικά αυτοκίνητα λειτουργεί με έναν νέο εγχυτήρα με πολλαπλασιαστή πίεσης. Αυτός συμπυκνώνει τα καύσιμα στον εγχυτήρα στη μέγιστη πίεση των 2.100 bar. Η ιδιαιτερότητά του είναι ότι ο

πολλαπλασιαστής πίεσης μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα από το ακροφύσιο έγχυσης. Η δυνατότητα ελεύθερης διαμόρφωσης της μεταβολής της πίεσης μειώνει τη δημιουργία ρύπων.



Εικόνα 6.1: Σύγκριση Πίεσης Common Rail

### **6.1 Περιγραφή και λειτουργία του συστήματος**

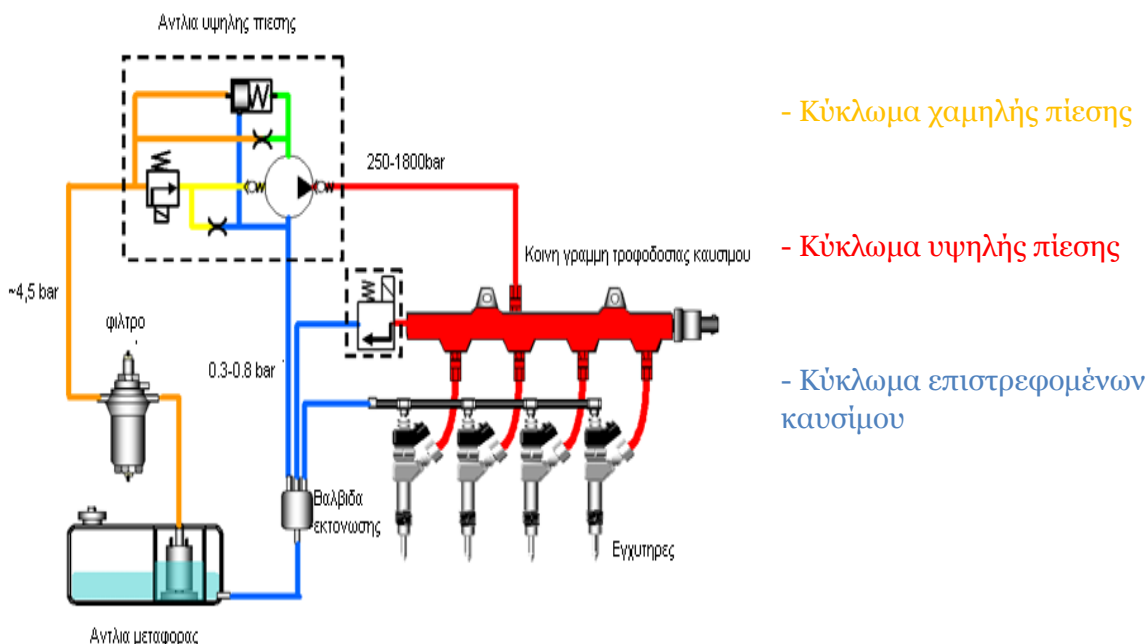
Το σύστημα Common Rail της 1ης γενιάς αποτελείται από :

- Προ-φίλτρο
- Φίλτρο καυσίμου
- Αντλία χαμηλής πίεσης ,ηλεκτρική εξωτερικά στο ρεζερβουα
- Ρεζερβουάρ
- Βαλβίδα ρύθμισης πίεσης
- Αγωγός τροφοδοσίας (Common Rail)
- Μπεκ
- Αισθητήρας θερμοκρασίας πετρελαίου
- Αισθητήρας θερμοκρασίας ψυκτικού
- Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα
- Αισθητήρας εκκεντροφόρου
- Μετρητής ροής αέρα
- Αισθητήρας ψυκτικού υγρού
- Αισθητήρας πίεσης αγωγού
- Αντλία υψηλής πίεσης
- Αισθητήρας στροφάλου
- Αισθητήρας πεντάλ γκαζιού
- Διακόπτης φρένου
- Διακόπτης συμπλέκτη

Η διαφορά με το σύστημα Common Rail της 2<sup>ης</sup> γενιάς, εκτός από την πίεση έγχυσης, είναι η αντλία χαμηλής πίεσης που είναι ηλεκτρική εσωτερικά στο ρεζερβουα.

Ενώ το σύστημα Common Rail της 3<sup>ης</sup> γενιάς διαφέρει εκτός από τη πίεση έγχυσης, στο ότι η αντλία χαμηλής πίεσης βρίσκεται πάνω στην αντλία υψηλής πίεσης και στη βαλβίδα ασφαλείας.

Το όλο σύστημα χωρίζεται σε τρία υποσυστήματα ως προς τη κυκλοφορία του καυσίμου (εικόνα 3.1.1): στο υποσύστημα καυσίμου χαμηλής πίεσης, στο υποσύστημα καυσίμου υψηλής πίεσης και στο υποσύστημα επιστρεφόμενου καυσίμου.



Εικόνα 3.1.1: Κύκλωμα COMMON RAIL

Η αντλία χαμηλής πίεσης (5-10bar, η οποία ρυθμίζεται στα 4,5 περίπου) ρουφά το καύσιμο από το ρεζερβουάρ το οποίο όμως περνά πρώτα από ένα φίλτρο που αποτελείται από πορώδες υλικό (χαρτί, μέταλλο ή κεραμικό) με διαπερατότητα 3-6μm. Αξίζει να σημειωθεί πως το φίλτρο αυτό μαζί με τις υδατοπαγίδες συγκρατούν την υγρασία που υπάρχει στο πετρέλαιο και μπορεί να καταλήξει στη καταστροφή πανάκριβων εξαρτημάτων, όπως είναι οι αυτολιπαινόμενες αντλίες. Εν συνεχεία, η γρναζωτή αντλία στέλνει το καθαρισμένο πετρέλαιο στο κύκλωμα υψηλής πίεσης, με σταθερή παροχή (περίπου 100-200 λίτρα/ώρα). Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει ηλεκτρική αντλία που στέλνει το καύσιμο από τον κινητήρα χωρίς να γίνεται αναρρόφηση από την γρναζωτή. Επειδή η ποσότητα του πετρελαίου είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από όσο απαιτείται το πλεονάζον επιστρέφει από μια βαλβίδα τύπου by pass στο ρεζερβουάρ την στιγμή που μια δεύτερη διατηρεί σταθερή την εσωτερική πίεση (στη ίδια την αντλία) ανεξάρτητα από τις στροφές της.

Κατόπιν, η αντλία υψηλής πίεσης, διανέμει το καύσιμο, προς το κάθε κύλινδρο, μέσα από ξεχωριστά rail. Ο αριθμός των παλινδρομήσεων που πραγματοποιεί το έμβολο της αντλίας, κατά τη διάρκεια μιας ολόκληρης περιστροφής του άξονα του, ισούται με τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα. Σε μεγαλύτερη ποσότητα το καύσιμο προωθείται από εκεί προς το διακλαδωτή rail στον οποίο “θεωρητικά” επικρατούν σταθερές συνθήκες πίεσης λόγω του όγκου του καυσίμου που υπάρχει στο κύκλωμα. Η πίεση ρυθμίζεται ηλεκτρονικά από την ECU, μέσω του αισθητήρα πίεσης, και συνήθως κυμαίνεται από 250 έως 1.600bar, ανάλογα με το φορτίο και τις στροφές του κινητήρα. Η έναρξη του ψεκασμού καθορίζεται επίσης από την ECU που ενεργοποιεί τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες. Όπως είναι κατανοητό η ποσότητα του καυσίμου που θα ψεκαστεί στο θάλαμο καύσης καθορίζεται από τη χρονική διάρκεια όπου το μπεκ θα παραμείνει ανοιχτό. Το σύστημα common rail προσφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα υψηλών πιέσεων ψεκασμού, η μεταβαλλόμενη πίεση ψεκασμού ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και η ευκολία τοποθέτησης του όλου συστήματος.

Στην επιστροφή του το καύσιμο περνάει από ένα ψυγείο καυσίμου γιατί από την υψηλή πίεση κατάθλιψη η θερμοκρασία του ανεβαίνει στους 130°C, η θερμοκρασία

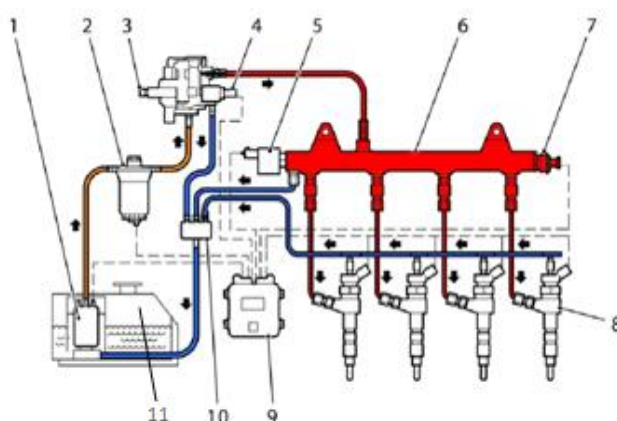


του καυσίμου πέφτει με τη βοήθεια του ψυκτικού υγρού του κινητήρα στους 80°C, στη συνέχεια το καύσιμο επαναψύχεται σε ένα δεύτερο ψυγείο χαμηλότερης θερμοκρασίας.



Εικόνα 6.1.2: Σύστημα Common Rail της Delfi

### Ηλεκτρονικός έλεγχος συστήματος έγχυσης καυσίμου



1. Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου
2. Φίλτρο Καυσίμου
3. Αντλία Υψηλής Πίεσης
4. Ρυθμιστική Βαλβίδα Πίεσης Καυσίμου
5. Βαλβίδα Ελέγχου Πίεσης Καυσίμου
6. Κοινή Γραμμή Τροφοδοσίας Καυσίμου – Common Rail
7. Αισθητήρας Πίεσης Καυσίμου
8. Εγχυτήρας – Μπεκ
9. Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου Κινητήρα
10. Βαλβίδα Εκτόνωσης Επιστρεφόμενου Καυσίμου
11. Ντεπόζιτο

Εικόνα 6.1.3: Κύκλωμα COMMON RAIL

Σύμφωνα με τα σήματα εισόδου των αισθητήρων του συστήματος και ανάλογα με τις απαιτήσεις του οδηγού, η μονάδα ελέγχου ECU ελέγχει την απόδοση και τη λειτουργία του κινητήρα σε κάθε δεδομένη στιγμή. Η μονάδα ελέγχου ECU λαμβάνει σήματα από τους διάφορους αισθητήρες μέσω των γραμμών επικοινωνίας δεδομένων (GMLAN) και στη συνέχεια εκτελεί ακριβή έλεγχο της σχέσης αέρα – καύσιμο, βάση των σημάτων αυτών. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα υπολογίζεται μέσω του αισθητήρα στροφαλοφόρου άξονα, ενώ η θέση των εμβόλων και η σειρά καύσης, μέσω του αισθητήρα εκκεντροφόρου άξονα. Τα σήματα αυτά μεταφέρονται στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας της μονάδας ελέγχου ECU και σε συνδυασμό με το σήμα του αισθητήρα του πεντάλ του γκαζιού, πραγματοποιείται κάθε φορά ο έλεγχος. Επιπρόσθετα, πληροφορίες λαμβάνονται από τον αισθητήρα μέτρησης της μάζας

αέρα MAF, μέσω του οποίου ανιχνεύονται οι στιγμιαίες αλλαγές της μάζας του αέρα και εκτελούνται ακριβής έλεγχοι στο σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR.

Ειδικότερα η μονάδα ελέγχου ECU ελέγχει την αναλογία αέρα – καυσίμου ανάλογα με τις αλλαγές της μάζας του αέρα, ώστε να επιτυγχάνονται οι χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων, σε συνεργασία με τη βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων EGR. Επιπρόσθετα σήματα λαμβάνονται από τον αισθητήρα θερμοκρασίας ψυκτικού, τον αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα, τον αισθητήρα πίεσης καυσίμου και τον αισθητήρα ατμοσφαιρικής πίεσης. Τα σήματα αυτά λειτουργούν ως αντισταθμιστικοί παράγοντες στην έναυση του ψεκασμού, στις τιθέμενες τιμές του πιλοπικού ψεκασμού, στις μεταβλητές του συστήματος και σε διάφορες λειτουργίες που αφορούν το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα. Τέλος, πληροφορίες λαμβάνονται και από τις χαρτογραφημένες καθορισμένες τιμές προέγχυσης των διαφόρων καταστάσεων λειτουργίας.

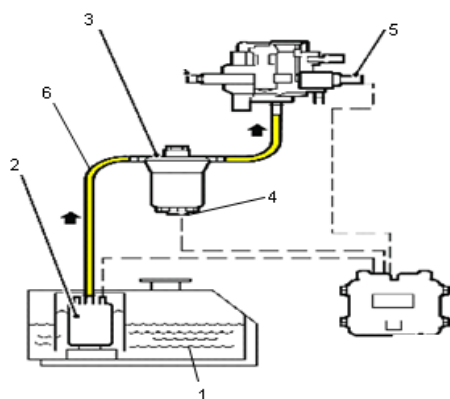
Τα στοιχεία του συστήματος, είναι σχεδιασμένα να παράγουν και να διανέμουν καύσιμο υψηλής πίεσης μέσω ηλεκτρονικού ελέγχου από τη μονάδα ελέγχου ECU.



Εικόνα 6.1.4: Ηλεκτρονική Μονάδα Διαχείρισης Κινητήρα (ECU)

## **6.2 Κύκλωμα χαμηλής πίεσης καυσίμου**

Στο υποσύστημα χαμηλής πίεσης, η αντλία τροφοδοσίας αναρροφά το καύσιμο από τη δεξαμενή καυσίμου, στη συνέχεια το καύσιμο περνά από το κύριο φίλτρο καυσίμου, τροφοδοτώντας την αντλία υψηλής πίεσης με μια ρυθμιζόμενη πίεση από μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης, περίπου 4.5bar. (εικόνα 6.2.1)



- 1.Ντεπόζιτο Καυσίμου
- 2.Αντλία Μεταφοράς Καυσίμου
- 3.Φίλτρο Καυσίμου
- 4.Αισθητήρας Νερού
- 5.Ρυθμιστική Βαλβίδα Πίεσης Καυσίμου (FMV)
- 6.Σωληνώσεις Κυκλώματος Χαμηλής Πίεσης

Εικόνα 6.2.1: Κύκλωμα χαμηλής πίεσης

## Αντλία μεταφοράς καυσίμου

Η αντλία μεταφοράς καυσίμου είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και τη συνεχή διανομή του καυσίμου από το ντεπόζιτο στην αντλία υψηλής πίεσης μέσω του φίλτρου.

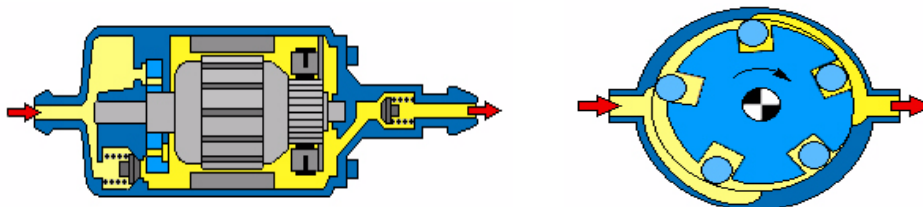


Εικόνα 6.2.2: Ηλεκτρική αντλία

Η βοηθητική αντλία πετρελαίου είναι εξωτερική κοντά στο ρεζερβουάρ στο common rail 1<sup>ης</sup> γενιάς και εσωτερική στο ρεζερβουάρ στις 2<sup>ης</sup> γενιάς. Όταν σβήσει (απενεργοποιηθεί), διακόπτεται η τροφοδοσία καυσίμου και σβήνει ο κινητήρας.

Αποτελείται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ που κινεί μία αντλία (με κυλινδράκια) που αναρροφά καύσιμο από το ρεζερβουάρ. Η αντλία ψύχεται από το καύσιμο. Στην έξοδο της υπάρχει μία ανεπίστροφη βαλβίδα.

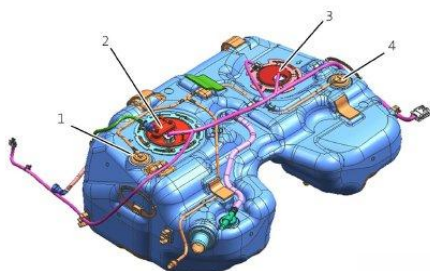
Η αντλία κινείται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ. Έχει έκκεντρο ρότορα με εγχοπές μέσα στις οποίες κινούνται ελεύθερα τα κυλινδράκια. Το καύσιμο εισέρχεται από την ειδικά διαμορφωμένη εισαγωγή μέσα στο θάλαμο που σχηματίζεται από τον ρότορα και το κέλυφος. Σταδιακά μειώνεται ο όγκος του θαλάμου και με αυτό τον τρόπο συμπιέζεται το καύσιμο μέχρι να εξέλθει από την εξαγωγή της αντλίας.



Εικόνα 6.2.3.: Αντλία μεταφοράς καυσίμου

## Ντεπόζιτο

Το ντεπόζιτο καυσίμου είναι κατασκευασμένο από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο και φέρει εκτονωτική βαλβίδα αναθυμιάσεων για την αποφυγή υπερβολικής ανάκτησης πίεσης. Η δομή και η κατασκευή του ντεπόζιτου εξασφαλίζει την ομαλή παροχή του καυσίμου κάτω από όλες τις συνθήκες ενώ ταυτόχρονα εμποδίζεται και πιθανή υπερχειλίση (βαλβίδα προστασίας υπερχειλίσης).



1. Βαλβίδα Προστασίας Υπερχειλίσης
2. Αντλία Μεταφοράς
3. Βοηθητική Αντλία
4. Εκτονωτική Βαλβίδα Αναθυμιάσεων

Εικόνα 6.2.4: Ντεπόζιτο

## Φίλτρο καυσίμου

Το καύσιμο που απαιτείται από το σύστημα ψεκασμού common rail πρέπει να είναι καθαρό και ποιοτικό. Τυχόν ύπαρξη ξένων σωματιδίων στο καύσιμο, ενδέχεται να προκαλέσει ζημιά στην αντλία, στα στοιχεία ελέγχου ή τους εγχυτήρες. Το φίλτρο καυσίμου φροντίζει να καθαρίζει το καύσιμο πριν φτάσει στην αντλία υψηλής πίεσης ώστε να αποφευχθεί κίνδυνος βλάβης, διαχωρίζει το νερό από το καύσιμο ώστε να μην εισαχθεί στο σύστημα υψηλής πίεσης, ενώ επιπρόσθετα μέσω του θερμαντήρα επιτυγχάνει και τη θέρμανση του καυσίμου. Η απόδοση του κινητήρα επηρεάζεται και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου, γεγονός που καθιστά την ύπαρξη του φίλτρου απαραίτητη.

Το πετρέλαιο ενδέχεται να περιέχει νερό εξαιτίας της συμπύκνωσης που παρατηρείται με τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Το νερό αυτό που προέρχεται από τη συμπύκνωση μπορεί να διαβρώσει και να καταστρέψει το σύστημα ψεκασμού. Για το λόγο αυτό, στους πετρελαιοκινητήρες Common Rail έχει προστεθεί η λειτουργία του περιοδικού στραγγαλισμού του νερού.



- 1.Κυρίως φίλτρο
- 2.Διακόπτης θερμοκρασίας καυσίμου
- 3.Αισθητήρας υδατοπαγίδας
- 4.Θερμαντικό στοιχείο καυσίμου
- 5.Αντλία εξαέρωσης

Εικόνα 6.2.5: Φίλτρο καυσίμου

## Αισθητήρας Ανίχνευσης Νερού

Ο αισθητήρας ανίχνευσης νερού είναι τοποθετημένος στο κάτω τμήμα του κελύφους της διάταξης του φίλτρου καυσίμου και αποστέλλει σήμα ενεργοποίησης της προειδοποιητικής λυχνίας ύπαρξης νερού στη μονάδα ελέγχου ECU, όταν η στάθμη του νερού φτάσει σ' ένα συγκεκριμένο επίπεδο (πάνω από 95 cc), έτσι ώστε ο οδηγός να προβεί σε αποστράγγιση. Στις περιπτώσεις ενεργοποίησης της ενδεικτικής λυχνίας ανίχνευσης νερού, η μονάδα ελέγχου ECU θέτει το σύστημα σε κατάσταση ασφαλείας και η ροπή του κινητήρα μειώνεται κατά 20%.

Ο αισθητήρας λειτουργεί με τη βοήθεια ενός πλωτήρα. Ο πλωτήρας έχει μικρότερη πυκνότητα από αυτήν του νερού και μεγαλύτερη από αυτήν του πετρελαίου. Έτσι σε κάθε φάση ο πλωτήρας θα επιπλέει πάνω στη στάθμη του νερού και όχι σε αυτή του πετρελαίου. Όταν η στάθμη του νερού ανέβει πάνω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, θα ανέβει ο πλωτήρας και ο αισθητήρας θα διακόψει την παροχή τάσης στη μονάδα ελέγχου ενώ η ενδεικτική λυχνία ύπαρξης νερού στον πίνακα οργάνων θα ενεργοποιηθεί. Ο αισθητήρας δεν επηρεάζεται από τις απότομες μεταβολές και κινήσεις των υγρών, ώστε να ενεργοποιεί αμέσως την ενδεικτική λυχνία.

Όταν η στάθμη του νερού είναι χαμηλή, θα είναι και ο πλωτήρας χαμηλά. Ο αισθητήρας αποστέλλει σήμα τάσης 12V στη μονάδα ελέγχου και η ενδεικτική λυχνία ανίχνευσης νερού παραμένει απενεργοποιημένη.

### **Θερμαντήρας Καυσίμου**

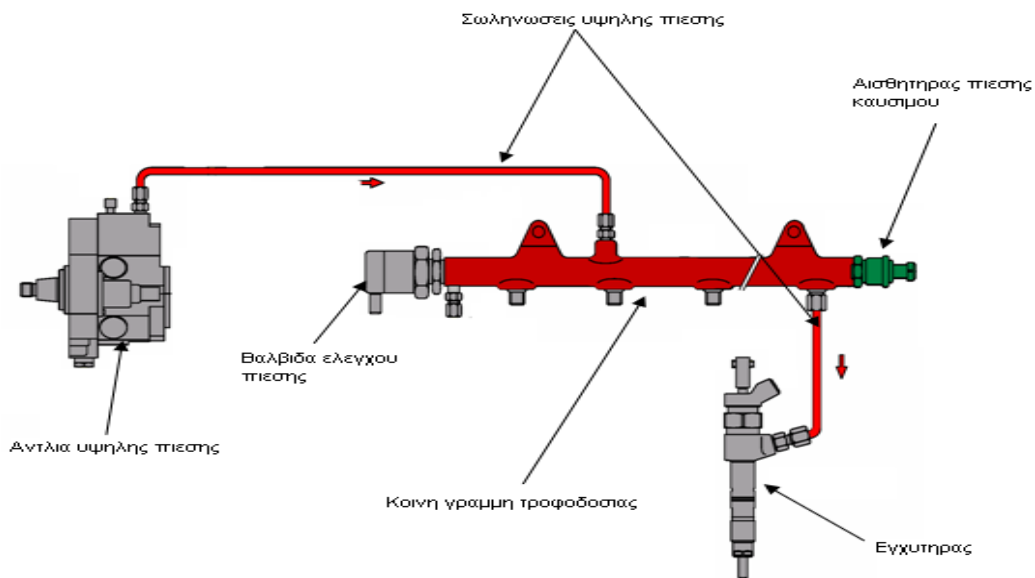
Εξαιτίας των χαρακτηριστικών του πετρελαίου, μερικά συστατικά του στερεοποιούνται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται δύσκολο ή και καθόλου ξεκίνημα, ή ακόμη και σβήσιμο του κινητήρα. Για την εξάλειψη αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται ο θερμαντήρας καυσίμου, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στην τάπα διάταξης του φίλτρου και αποτελείται από 3 θερμίστορ. Όταν η θερμοκρασία του καυσίμου πέσει κάτω από τους 3°C, τότε η μονάδα ελέγχου ενεργοποιεί τον θερμαντήρα, έτσι ώστε αυτός να θερμάνει το καύσιμο.

Η μονάδα ελέγχου λαμβάνει την πληροφορία της θερμοκρασίας καυσίμου, ώστε να ενεργοποιήσει το θερμαντήρα. Ταυτόχρονα βάση αυτού του σήματος, ρυθμίζει το χρόνο και την ποσότητα έγχυσης.

Σε περίπτωση βλάβης του αισθητήρα θερμοκρασίας καυσίμου, ο θερμαντήρας καυσίμου θα ενεργοποιηθεί βάση του σήματος του αισθητήρα ψυκτικού υγρού του κινητήρα (κάτω από 4 °C), ενώ όταν η θερμοκρασία του καυσίμου φτάσει τους 97 °C, η μονάδα ελέγχου θα διακόψει τη λειτουργία του κινητήρα.

### **6.3 Κύκλωμα υψηλής πίεσης**

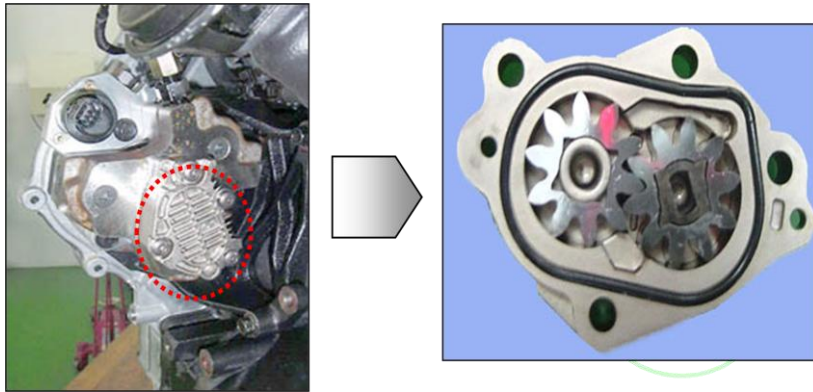
Ο κύριος ρόλος του κυκλώματος υψηλής πίεσης είναι η παραγωγή, αποθήκευση και παροχή επαρκούς πίεσης καυσίμου για τη λειτουργία κάθε εγχυτήρα.



Εικόνα 6.3.1: Κύκλωμα Υψηλής πίεσης

### **Βοηθητική αντλία**

Στο σύστημα Common Rail 3<sup>ης</sup> γενιάς, η βοηθητική αντλία βρίσκεται ενσωματωμένη στην αντλία υψηλής πίεσης. (εικόνα 6.3.2)



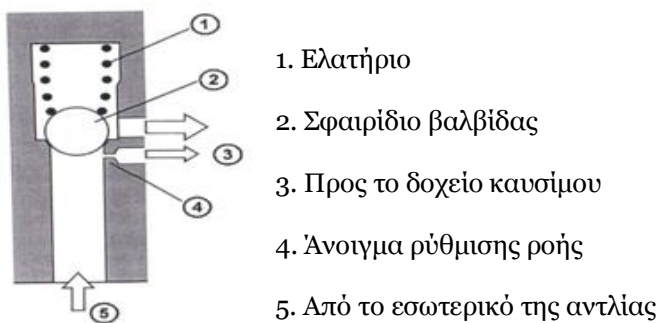
Εικόνα 6.3.2: Βοηθητική αντλία

Η βοηθητική αντλία αποτελείται από ένα εσωτερικό γρανάζι με 6 δόντια και ένα εξωτερικό γρανάζι με 7 δόντια, τα οποία περιστρέφονται σε διαφορετικούς άξονες περιστροφής.

Το εσωτερικό γρανάζι παίρνει κίνηση από τον άξονα κίνησης της αντλίας υψηλής πίεσης και σε ανταπόδοση περιστρέφει το εξωτερικό γρανάζι. Ως αποτέλεσμα, το καύσιμο προωθείται στα μεγάλα διαστήματα και εκεί συμπιέζεται καθώς τα διαστήματα αυτά μικραίνουν με τη περιστροφή, ενώ το καύσιμο κινείται προς την έξοδο. Καθώς η αντλία κινείται από το κινητήρα, η ποσότητα της παροχής ρυθμίζεται βάσει των στροφών του κινητήρα.

### **Ρυθμιστική Βαλβίδα Υπερχείλισης**

Η βαλβίδα υπερχείλισης ρυθμίζει την ποσότητα του καυσίμου, το οποίο επιστρέφει στο ρεζερβουάρ. Επιπλέον, η βαλβίδα επιστροφής επιτρέπει τον αυτόματο εξαερισμό της αντλίας. Η βαλβίδα είναι ενσωματωμένη στην αντλία υψηλής πίεσης και αποτελείται από ένα στραγγαλιστικό και μια μπίλια με πιεσμένο ελατήριο. Εάν η εσωτερική πίεση της αντλίας είναι χαμηλότερη από μία τιμή (όριο), καύσιμο επιστροφής ρέει μέσω του στραγγαλιστικού στο σωλήνα επιστροφής καυσίμου και από εκεί πίσω στο ρεζερβουάρ. Εάν αυτή η εσωτερική πίεση ξεπεράσει κάποια οριακή τιμή, η μπίλια με τη βαλβίδα ανοίγει και το καύσιμο επιστροφής μεταφέρεται πίσω στο ρεζερβουάρ καυσίμου με μεγαλύτερη ροή.



Εικόνα 6.3.3: Βαλβίδα υπερχείλισης

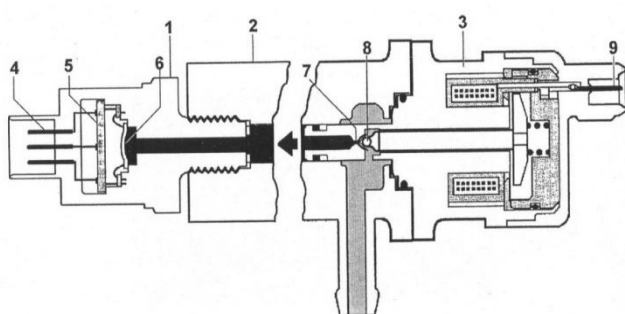
### **Ρυθμιστική Βαλβίδα Πίεσης Καυσίμου**

Βρίσκεται πάνω στην αντλία υψηλής πίεσης ή στον αγωγό κοινής τροφοδοσίας, ανάλογα με τη γενιά του Common Rail και του κατασκευαστή.

Ρυθμίζει τη πίεση του καυσίμου στο τελείωμα του εμβόλου της αντλίας όπου αρχίζει η ροή της υψηλής πίεσης. Με αυτόν το τρόπο ρυθμίζει τη πίεση στο κοινό αγωγό. Επίσης προστατεύει το σύστημα υψηλής πίεσης από την υπερβολικά υψηλή πίεση σε περίπτωση κακής λειτουργίας.

Η βαλβίδα αποτελείται από το πηνίο, ένα φορτισμένο (υπό πίεση) πείρο της βαλβίδας και μια μπίλια της βαλβίδας. Η θέση του πείρου ρυθμίζεται από τον εγκέφαλο της ECU, η οποία ενεργοποιεί τη βαλβίδα υψηλής πίεσης με ένα διαμορφωμένο (τετραγωνικό) σήμα.

Ο έλεγχος της βαλβίδας ελέγχου πίεσης της κοινής γραμμής τελείται από τη μονάδα ελέγχου ECU. Εφόσον απαιτείται μείωση της πίεσης στην κοινή γραμμή τροφοδοσίας, η μονάδα ελέγχου θα τροφοδοτήσει τη βαλβίδα ελέγχου πίεσης με ρεύμα υψηλής έντασης. Η βαλβίδα ελέγχου πίεσης θα ανοίξει και ποσότητα καυσίμου θα περάσει από τη βαλβίδα και θα εξέλθει από το σωλήνα επιστροφής καυσίμου της κοινής γραμμής τροφοδοσίας. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η εκτόνωση – μείωση της πίεσης του καυσίμου στην κοινή γραμμή τροφοδοσίας.



1. Αισθητήρας πίεσης αγωγού
2. Αγωγός καυσίμου
3. Βαλβίδα ελέγχου πίεσης
4. Ηλεκτρική σύνδεση
5. Ηλεκτρονικό σύστημα αξιολόγησης
6. Διάφραγμα με αισθητήριο στοιχείο
7. 0,7 mm οπή στραγγαλιστικού
8. Βαλβίδα με μπίλια
9. Ηλεκτρική σύνδεση

Εικόνα 6.3.4 Αισθητήρας Πίεσης αγωγού – Βαλβίδα ελέγχου πίεσης

Τύποι βαλβίδων ελέγχου πίεσης :

1. Έλεγχου πίεσης εξαγόμενου καυσίμου: Η βαλβίδα είναι τοποθετημένη στο τέλος της φλογέρας και διατηρεί σταθερή την πίεση στην φλογέρα, αυξάνοντας ή μειώνοντας την ποσότητα του επιστρεφόμενου καυσίμου.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος με βαλβίδα ελέγχου εξαγόμενου καυσίμου είναι ότι μειώνει την θερμοκρασία του καυσίμου τροφοδοτώντας το σύστημα με την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου και ότι μειώνει τη ροπή κίνησης της αντλίας κατά 3~4 kg-m.

Το μειονέκτημα του συστήματος είναι η δυσκολία στην μείωση της πίεσης του κοινού αγωγού κατά την φάση απότομης επιβράδυνσης.

2. Έλεγχου πίεσης εισερχόμενου καυσίμου: Η βαλβίδα είναι ενσωματωμένη πάνω στην αντλία υψηλής πίεσης και ελέγχει την ποσότητα του καυσίμου που εισέρχεται στην αντλία υψηλής πίεσης από την αντλία χαμηλής πίεσης.

Όταν η βαλβίδα ελέγχου πίεσης είναι απενεργοποιημένη, το καύσιμο από την αντλία χαμηλής πίεσης εισέρχεται με πίεση 4.5~6.0bar ξεπερνώντας την τάση του ελατηρίου της βαλβίδας και έτσι η βαλβίδα παραμένει ανοικτή. Μια μικρή ποσότητα

καυσίμου χρησιμοποιείται για λίπανση της αντλίας και η υπόλοιπη ποσότητα καυσίμου περνάει μέσω της βαλβίδας και πιέζεται από την αντλία υψηλής πίεσης.

Όταν ενεργοποιηθεί η βαλβίδα ελέγχου τότε κλείνει και παραμένει κλειστή μέχρι να υπάρξει ισορροπία ανάμεσα στην δύναμη που ασκεί ο ηλεκτρομαγνήτης στο ελατήριο και την δύναμη που ασκεί η υψηλή πίεση. Έτσι το καύσιμο από την αντλία χαμηλής πίεσης δεν μπορεί να περάσει και επιστρέφει μέσω του αγωγού επιστροφής πίσω στην αντλία.

### Αντλία Υψηλής Πίεσης

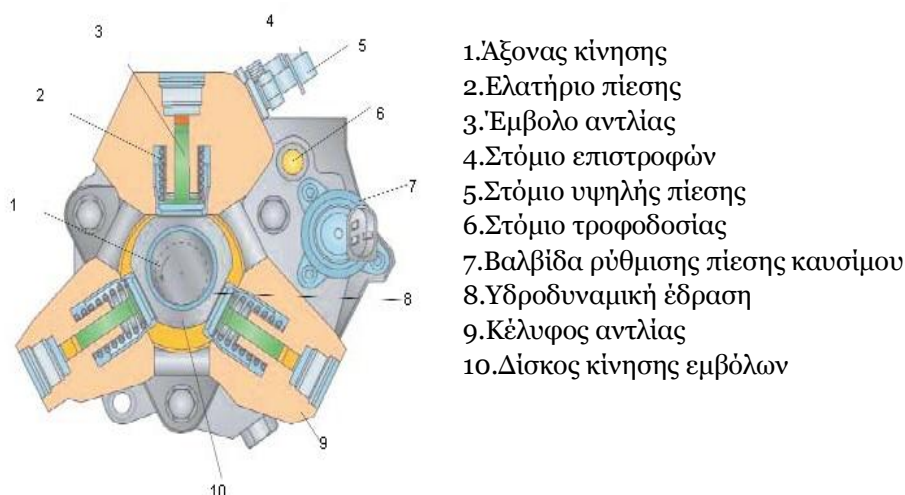
Η αντλία υψηλής πίεσης κινείται από ένα έκκεντρο το οποίο παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Η πίεση του καυσίμου ρυθμίζεται από μια βαλβίδα που λειτουργεί με τη σταθερή πίεση ενός ελατηρίου. Η βαλβίδα ανοίγει όταν η πίεση του καυσίμου υπερβεί τη δύναμη της πίεσης του ελατηρίου της 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 τη 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 είτε από τη βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης της αντλίας υψηλής πίεσης διακόπτοντας τη 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 η οποία είναι περιστροφική και εμβολοφόρα ταυτόχρονα. Αποτελείται από τρία έμβολα που είναι τοποθετημένα κατά 120° μοίρες το ένα από το άλλο περιμετρικά.

Τα έμβολα με τη κίνησή τους δημιουργούν την απαιτούμενη πίεση του καυσίμου, ανεξάρτητα από τις στροφές του κινητήρα που παίρνουν κίνηση από το έκκεντρο του εκκεντροφόρου εξαγωγής και καταθλίβουν το καύσιμο στο συγκεντρωτικό σωλήνα.



Εικόνα 6.3.5: Bosch CP1

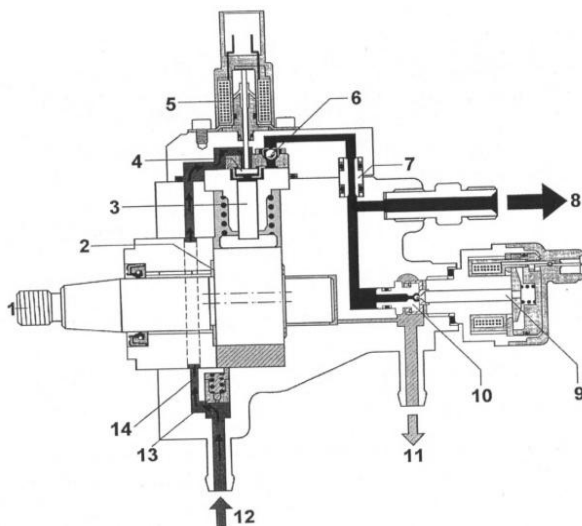
Η ουσιαστική διαφορά από τις συμβατικές περιστροφικές αντλίες έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει πλέον υδραυλική κεφαλή ρότορα που περιστρέφεται. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφονται πιθανά προβλήματα ανοχής εξαιτίας της δυναμικής πίεσης. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός ότι η υψηλή πίεση αναπτύσσεται πλέον στο στερεό τμήμα της αντλίας.



Όταν το καύσιμο περάσει από τη βαλβίδα , σε ποσότητα που καθορίζεται από τη μονάδα ελέγχου ECU, διέρχεται από τη θύρα εισόδου στο θάλαμο συμπίεσης. Το καύσιμο συμπιέζεται από τα τρία ακτινωτά κυλινδρικά έμβολα και η πίεση αυξάνεται έως και τα 1.600 bar. Στη συνέχεια το καύσιμο εξέρχεται από τη θύρα εξόδου προς το σωλήνα υψηλής πίεσης, μέσω του οποίου το καύσιμο θα φτάσει στην κοινή γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου.

Σε περίπτωση που καύσιμο δεν περάσει από τη βαλβίδα , το έμβολο θα παραμείνει στο πάνω τμήμα του θαλάμου και μόνο το στέλεχος θα κινείται, χωρίς να υπάρχει συμπίεση.

Οι συμβατικές μηχανικές αντλίες έγχυσης καυσίμου, εξασφαλίζουν τη διανομή καυσίμου υπό πίεση στους εγχυτήρες. Είναι δε απαραίτητο να ρυθμιστούν με τέτοιο τρόπο, ώστε η έγχυση να γίνεται τον κατάλληλο χρόνο και στο κατάλληλο σημείο στη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας. Οι αντλίες υψηλής πίεσης των συστημάτων ψεκασμού Common Rail, δε χρησιμοποιούνται πλέον για τη διανομή του καυσίμου στον κατάλληλο χρόνο (χρονοσμός) και γι' αυτό το λόγο δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτησή τους σε συγκεκριμένη θέση σε σχέση με την περιστροφή του κινητήρα.



- 1.Άξονας με έκκεντρο
- 2.Πολυγωνικό δακτυλίδι
- 3.Έμβολο αντλίας
- 4.Βαλβίδα εισόδου
- 5.Βαλβίδα απενεργοποίησης εμβόλου
- 6.Βαλβίδα εξόδου
- 7.Τεμάχιο στεγανοποίησης
- 8.Σύνδεση υψηλής πίεσης στον αγωγό Rail
- 9.Βαλβίδα ελέγχου πίεσης
- 10.Βαλβίδα με μπίλια/Βαλβίδα ελέγχου πίεσης
- 11.Επιστροφή καυσίμου
- 12.Παροχή καυσίμου 250kPa(2.5 bar)
- 13.Στραγγαλιστική βαλβίδα (βαλβίδα ασφαλείας)
- 14.Κανάλι παροχής καυσίμου

Εικόνα 6.3.6: Τομή Bosch CP1

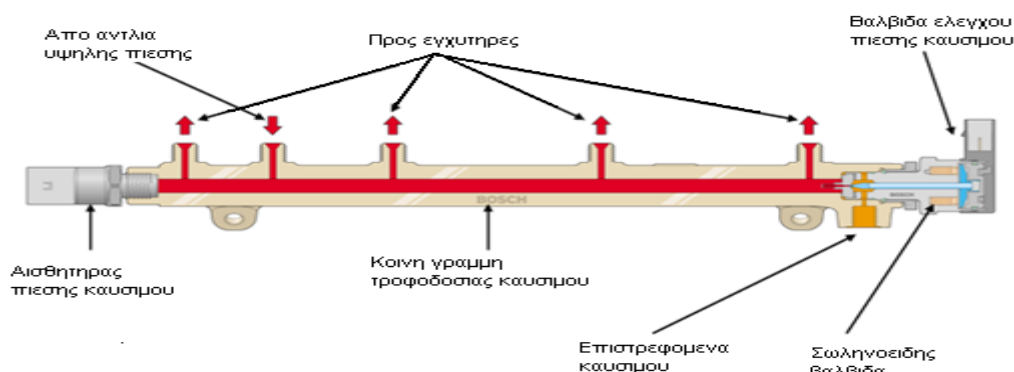
Παρ' όλα αυτά, οι αντλίες είναι θεμιτό να τοποθετούνται σε συγκεκριμένη θέση, ώστε να επιτυγχάνεται συγχρονισμός στις μεταβολές της ροπής που προκαλούνται, με αποτέλεσμα οι μεταβολές να μειώνονται.

Ο απαιτούμενος χρόνος για να επιτευχθεί ικανοποιητική πίεση στην κοινή γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου ώστε ο κινητήρας να ξεκινήσει, εξαρτάται από τον όγκο του συστήματος (μήκος σωληνώσεων, προσδιορισμός κοινής γραμμής, κλπ). Σκοπός του συστήματος είναι η επίτευξη πίεσης 200bar σε 1,5 περιστροφή του κινητήρα.

Η λίπανση και η ψύξη της αντλίας επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία του καυσίμου, το οποίο φέρει λιπαντικές ιδιότητες. Η ελάχιστη ροή που απαιτείται για να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία της αντλίας είναι 50 l/h, ενώ για τη λίπανση των εμπρόσθιων ρουλεμάν, χρησιμοποιείται το λάδι του κινητήρα.

### **Κοινή Γραμμή Τροφοδοσίας Καυσίμου – Common Rail**

Ρόλος της κοινής γραμμής τροφοδοσίας καυσίμου, είναι η αποθήκευση και συγκράτηση του καυσίμου που μεταφέρεται από την αντλία υψηλής πίεσης. Παρ' όλο το γεγονός ότι οι εγχυτήρες εγχύουν συνεχώς καύσιμο που λαμβάνουν από την κοινή γραμμή, η πίεση του καυσίμου της κοινής γραμμής διατηρείται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο που καθορίζεται κάθε φορά από τη μονάδα ελέγχου ECU. Ειδικότερα, η πίεση του καυσίμου καθορίζεται από τη βαλβίδα ελέγχου πίεσης κοινής γραμμής τροφοδοσίας και τη ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης καυσίμου, ενώ την παρακολούθηση της πίεσης αναλαμβάνει ο αισθητήρας πίεσης καυσίμου της κοινής γραμμής τροφοδοσίας καυσίμου. Στη διατήρηση της πίεσης και την αποτελεσματικότητα της κοινής γραμμής τροφοδοσίας, σημαντικό ρόλο παίζει η μοναδική ελαστικότητα του καυσίμου.



Εικόνα 6.3.7: Αγωγός τροφοδοσίας καυσίμου

Η κοινή γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου αποθηκεύει το υψηλής πίεσης καύσιμο. Λόγω της διανομής από την αντλία υψηλής πίεσης, η πίεση διατηρείται πάντα στη γραμμή, ενώ ο όγκος του καυσίμου μειώνεται κατά τη λειτουργία των εγχυτήρων. Η κοινή γραμμή χρησιμοποιείται για όλους τους κυλίνδρους.

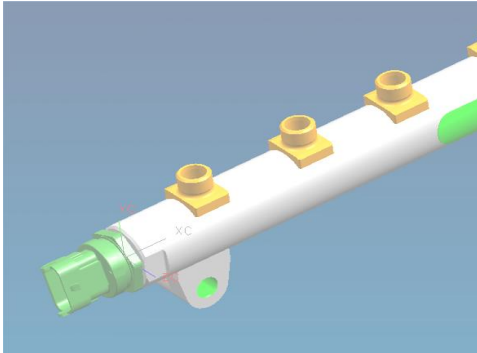
Ακόμη, στην περίπτωση μεγάλης ποσότητας διαρροής καυσίμου, η κοινή γραμμή διατηρεί την εσωτερική της πίεση. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση έγχυσης διατηρείται ακόμα και όταν οι εγχυτήρες ενεργοποιούνται συνεχώς για τον ψεκασμό.

### **Αισθητήρας Πίεσης Καυσίμου (Στον αγωγό τροφοδοσίας)**

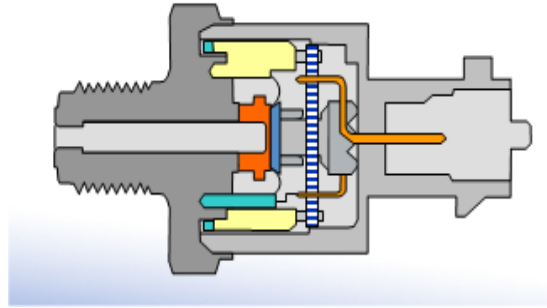
Ο αισθητήρας πίεσης μετράει τη στιγμιαία πίεση στον αγωγό, με μεγάλη ακρίβεια και γρήγορα. Το υπό πίεση καύσιμο ενεργεί στο διάφραγμα του αισθητήρα, μετατρέποντας την πίεση σε ηλεκτρικό σήμα, που μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που το ενισχύει και το στέλνει στον εγκέφαλο.

Όταν αλλάξει το σχήμα του διαφράγματος (περίπου 1mm στα 1500 bar) προκαλεί μεταβολή τάσης κατά 5V στις άκρες της γέφυρας. Η αλλαγή τάσης είναι ανάμεσα στα 0..70mV (ανάλογα την πίεση) και ενισχύεται από το ηλεκτρονικό κύκλωμα στα 0.5 .. 4.5V.

Η ακριβής μέτρηση της πίεσης του αγωγού είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Εάν χαλάσει ο αισθητήρας η βαλβίδα ελέγχου ενεργοποιείται βάσει προγράμματος 'ανάγκης'.



εικόνα 6.3.8.α:  
Αισθητ. Πίεσης – Αγωγός τροφοδοσίας



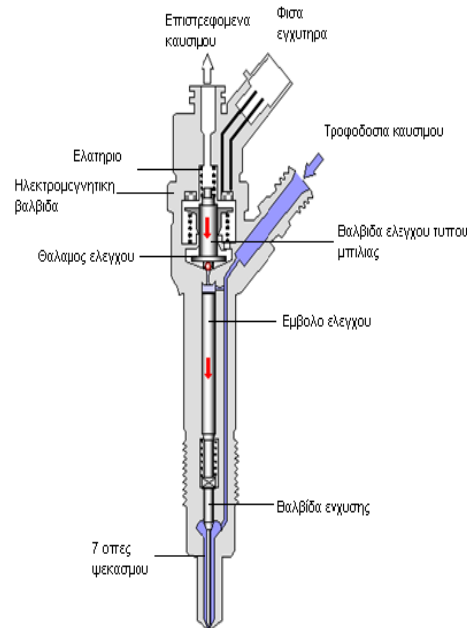
εικόνα 6.3.8.β: Αισθητήρας πίεσης

### **Βαλβίδα ασφαλείας**

Η λειτουργία είναι ίδια όπως της βαλβίδας υπερπίεσης. Σε περίπτωση που η πίεση στον αγωγό υπερβεί την τιμή του ανώτατου ορίου τότε ανοίγει η βαλβίδα ασφαλείας και μέρος από το καύσιμο φεύγει από την θυρίδα διαφυγής .

### **Εγχυτήρες καυσίμου (Μπεκ )**

Ο ρόλος των εγχυτήρων του συστήματος ψεκασμού Common Rail, ανάγεται στην άμεση και ακριβή έγχυση του υψηλής πίεσης καυσίμου στους κυλίνδρους, κάτω από όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.



Εικόνα 6.3.9:Μπεκ με ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

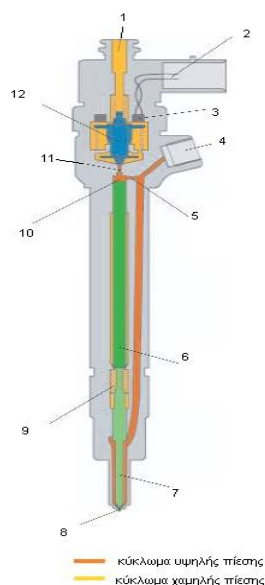
Για την επίτευξη πολλαπλών εγχύσεων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα χωρίς μεγάλη εκπεμπόμενη αποβολή θερμότητας και λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη πίεση έγχυσης φθάνει τα 1600 bar με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολύ μεγάλες δυνάμεις για την ανύψωση της βελόνας των εγχυτήρων, ο σχεδιασμός τους επιβάλει ένα συνδυασμό ηλεκτρομαγνητικού ενεργοποιητή και έμμεσων τρόπων ελέγχου όπως τη βαλβίδα ελέγχου τύπου μπίλιας και την εκκένωση καυσίμου.

Ο εγχυτήρας χρησιμοποιεί τη βαλβίδα έγχυσης (σχήματος βελόνας), μέσω της οποίας το καύσιμο φτάνει στις οπές ψεκασμού. Η μάζα της βελόνας του εγχυτήρα είναι πολύ μικρή, γεγονός που επιτρέπει τη διάρκεια ανοίγματος και κλεισίματος σε χρόνο μικρότερο από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Οι οπές ψεκασμού (7) στην άκρη του ακροφυσίου δημιουργούν έναν κωνικό κρουνό, που εξασφαλίζει τη διασπορά του καυσίμου σε μικρότατα σωματίδια. Κατά συνέπεια και η βελόνα του εγχυτήρα στο ένα της άκρο έχει διαμόρφωση σχήματος κώνου. Οι οπές ψεκασμού έχουν διάμετρο ίσο περίπου με το μέγεθος μιας τρίχας.

### **Τρόπος λειτουργίας**

Η πίεση ψεκασμού καθορίζεται από την τελική απαιτούμενη ποσότητα έγχυσης, τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού και το φορτίο του κινητήρα. Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, ο υπολογισμός αυτός τελείται βάση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού και την ατμοσφαιρική πίεση.

Η διάρκεια έγχυσης είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος με την οποία ενεργοποιείται ο κάθε εγχυτήρας. Η ποσότητα έγχυσης καθορίζεται από τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, τη θερμοκρασία καυσίμου, τη θερμοκρασία του αέρα και την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης.



- 1.Επιστροφές καυσίμου προς το ρεζερβουάρ
- 2.Ηλεκτρική σύνδεση
- 3.Μαγνητική βαλβίδα
- 4.Σύνδεση υψηλής πίεσης
- 5.Στραγγαλιστής εισόδου
- 6.Έμβολο ρύθμισης
- 7.Βελόνα ψεκασμού
- 8.Οπή ψεκασμού
- 9.Ελατήριο βελόνας μπεκ
- 10.Θάλαμος ελέγχου βαλβίδας
- 11.Στραγγαλιστής εξόδου
- 12.Έμβολο μαγνητικής βαλβίδας

Εικόνα 6.3.10: Μπεκ με ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

### **Πιλοτική Έγχυση (Προψεκασμός)**

Η διάρκεια της πιλοτικής έγχυσης είναι ανάλογη της διάρκειας της κύριας έγχυσης και υπολογίζεται βάση της τελικής εγχυόμενης ποσότητας, του φορτίου του κινητήρα και της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού. Όταν η θερμοκρασία του κινητήρα είναι χαμηλή (κρύα εκκίνηση κινητήρα), τελούνται δυο πιλοτικές εγχύσεις, ενώ όσο η θερμοκρασία αυξάνεται η πιλοτική έγχυση περιορίζεται στη μια. Σε υψηλές στροφές δεν πραγματοποιούνται πιλοτικές εγχύσεις, καθώς ο χρόνος έγχυσης είναι

πάρα πολύ μικρός. Ο χρόνος του πιλοτικού ψεκασμού είναι  $0^{\circ} - 40^{\circ}$  πριν ΑΝΣ και παίρνει τιμές σε ολόκληρο το εύρος ταχυτήτων.

### **Κύρια Έγχυση**

Η μονάδα ελέγχου ECU υπολογίζει τη διάρκεια της κύριας έγχυσης βάση του φορτίου του κινητήρα και την τελική απαιτούμενη ποσότητα έγχυσης και πραγματοποιεί πολλαπλές διορθώσεις προκειμένου να εγχύεται πάντα η ιδανική ποσότητα καυσίμου.

### **Μετέγχυση**

Στόχος της μετέγχυσης είναι να επιτρέψει επαρκή ποσότητα πετρελαίου να φτάσει στο φίλτρο συγκράτησης μικροσωματιδίων, προκειμένου να καεί – οξειδωθεί ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του φίλτρου και να καούν τα μικροσωματίδια.

### **ΣΚΟΠΟΣ ΠΡΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ:**

Μείωση :

- Θορύβου καύσης
- Εκπομπών άκαυστων υδρογονανθράκων (HC)
- Κατανάλωσης (αργοπορία έναρξης ψεκασμού)

### **ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΠΡΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ :**

- Προετοιμασία του θαλάμου καύσης για το κύριο ψεκασμό όσον αφορά τη πίεση και τη θερμοκρασία του
- Μείωση αβάνς κύριου ψεκασμού
- Μείωση θορύβου
- Βελτιστοποίηση της καύσης

### **ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ:**

- Μείωση εκπομπής NOx
- Ψεκάζεται μια συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου κατά την εξαγωγή
- Μικρή αύξηση της κατανάλωσης

### **Εγχυτήρες με ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα**

Ο εγχυτήρας πρέπει να ανοίγει και να κλείνει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα ( $\approx 50$  ψεκασμοί / δευτερόλεπτο). Για το λόγο αυτό, η μονάδα ελέγχου τροφοδοτεί με υψηλό ρεύμα την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα του εγχυτήρα, ώστε η βαλβίδα ελέγχου να ανοίξει άμεσα και να αρχίσει η έγχυση. Στη συνέχεια το ρεύμα μειώνεται σε μια σταθερή τιμή ώστε ο εγχυτήρας να παραμένει ανοιχτός.

Ο εγχυτήρας αρχικά τροφοδοτείται με τάση 45V. Θεωρητικά αυτό σημαίνει ότι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον εγχυτήρα είναι περίπου 90A. Αυτό όμως δεν μπορεί να συμβεί καθώς ο διαθέσιμος χρόνος είναι πολύ μικρός (0,1ms) και η ένταση του ρεύματος που μπορεί να επιτευχθεί είναι 20A.

Μετά την αρχική τροφοδότηση των 45V, ο εγχυτήρας τροφοδοτείται με 10V (0,2ms), ενώ στη συνέχεια η τάση ρυθμίζεται έτσι ώστε το ρεύμα που θα διαρρέει τους εγχυτήρες να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Ο συνολικός χρόνος της έγχυσης στο ρελαντί διαρκεί περίπου 0,4ms.

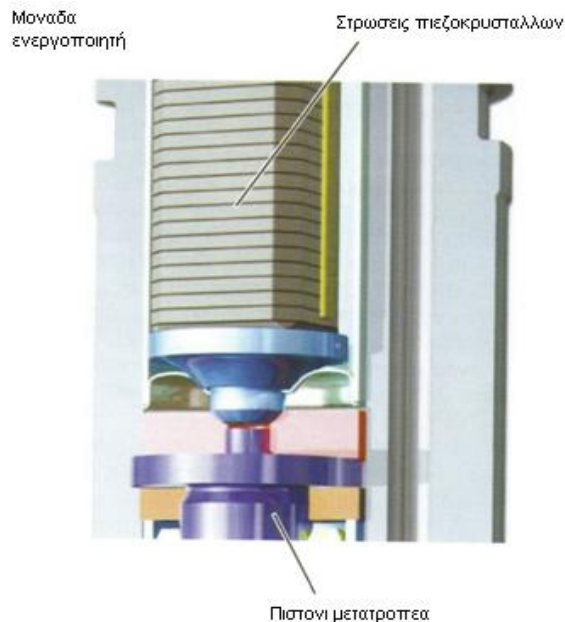
### Εγχυτήρες με πιεζοκρυστάλλους

Για να αυξηθεί ο βαθμός ελευθερίας διαμόρφωσης κατά την έγχυση, η Bosch ανέπτυξε τον πιεζοηλεκτρικό εγχυτήρα. Η βελόνα του ακροφυσίου του ελέγχεται με διπλάσια ταχύτητα από τους εγχυτήρες με μαγνητική βαλβίδα. Έτσι η αρχή, η διάρκεια και η πορεία της έγχυσης μπορεί να διαμορφωθεί έτσι, ώστε να επιτρέπει μια ακόμα πιο βελτιωμένη μορφή του χαρακτηριστικού διαγράμματος του κινητήρα.

Οι σχεδιαστές κινητήρων ελπίζουν να έχουν πρόσθετες δυνατότητες για την επίτευξη των εξής προτεραιοτήτων μέχρι και 3% μικρότερη κατανάλωση, 15 έως 20% λιγότερες εκπομπές ρύπων, 5 έως 7% μεγαλύτερη ισχύ, κατά 3dB(A) χαμηλότερος θόρυβος κινητήρα σε σχέση με εγχυτήρες με μαγνητικές βαλβίδες.

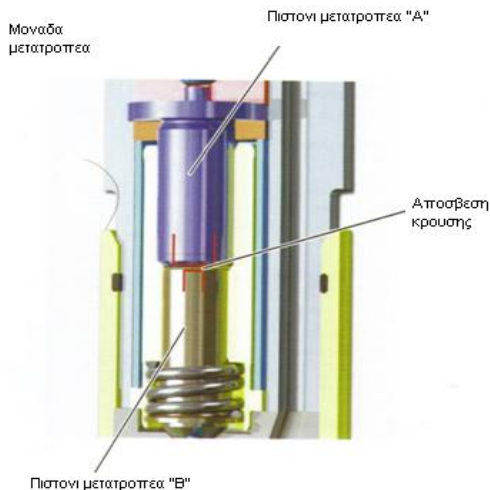
Για τον έλεγχο των μπεκ χρησιμοποιείται το φαινόμενο των πιεζοκρυστάλλων. Με την εφαρμογή των πιεζοκρυστάλλων είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν :

- Πιο πολλές ηλεκτρικές επεμβάσεις ψεκασμού ανά φάση
- Πιο σύντομοι χρόνοι ενεργοποίησης για περισσότερους ψεκασμούς
- Μεγάλες δυνάμεις κόντρα στη στιγμιαία πίεση του αγωγού
- Μεγάλη ακρίβεια διαδρομής του εμβόλου για γρήγορη εκτόνωση της πίεσης του καυσίμου. Στον ενεργοποιητή είναι τοποθετημένες 264 στρώσεις πιεζοκρυστάλλων.



Εικόνα 6.3.11: Μονάδα ενεργοποιητή με πιεζοκρυστάλλους

Η επιμήκυνση της μονάδας ενεργοποιητή μετατρέπεται από ένα υδραυλικό μετατροπέα (Μονάδα μετατροπέα) σε μια υδραυλική πίεση και διαδρομή, η οποία επιδρά στη βαλβίδα ενεργοποίησης.

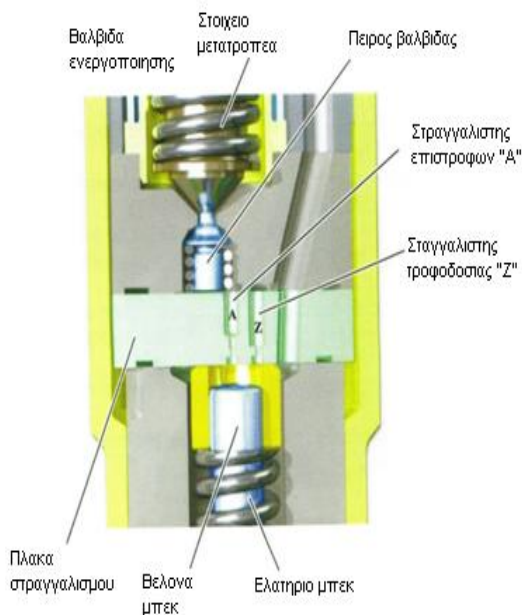


Η μονάδα μετατροπής επιδρά όπως ένας υδραυλικός κύλινδρος. Δέχεται συνεχώς μια πίεση καυσίμου 10 bar μέσω μιας βαλβίδας ρύθμισης πίεσης στην επιστροφή. Το καύσιμο χρησιμεύει ως απόσβεση κρούσης μεταξύ πιστονιού μετατροπέα «Α» και πιστονιού βαλβίδας «Β» στη μονάδα μετατροπέα.

Εικόνα 6.3.12α: Περιγραφή λειτουργίας πιεζο-εγχυτήρα

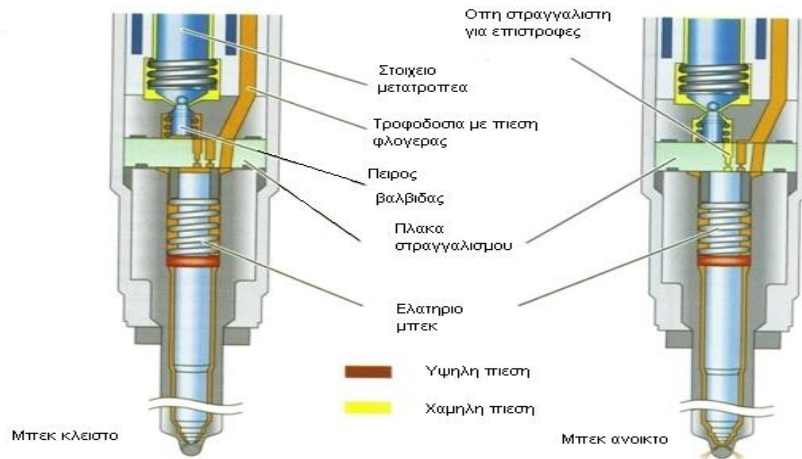
Η βαλβίδα ενεργοποίησης αποτελείται από τη πλάκα βαλβίδας, το πείρο βαλβίδας, το ελατήριο βαλβίδας και τη πλάκα στραγγαλισμού.

Το καύσιμο ρέει με πίεση μέσω του στραγγαλιστή τροφοδοσίας (Ζ) στη πλάκα στραγγαλισμού προς τη βελόνα μπεκ. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια εξισορρόπηση πιέσεων πάνω και κάτω από τη βελόνα μπεκ. Η βελόνα μπεκ συγκρατείται κλειστή κατά κύριο λόγο με τη δύναμη του ελατηρίου του μπεκ.



Κατά την επιστροφή του πείρου βαλβίδας ανοίγει η επιστροφή και η πίεση του αγωγού προωθείται πρώτα μέσω ενός μεγαλύτερου στραγγαλιστή επιστροφών (Α) πάνω από τη βελόνα μπεκ. Η πίεση ανασηκώνει τη βελόνα μπεκ, όπου στη συνέχεια ακολουθεί ο ψεκασμός. Μέσω των γρήγορων παλμών ενεργοποίησης του πιεζοκρυσταλλικού στοιχείου είναι εφικτοί περισσότεροι διαδοχικοί ψεκασμοί ανά φάση.

Εικόνα 6.3.12β: Περιγραφή λειτουργίας πιεζο-εγχυτήρα

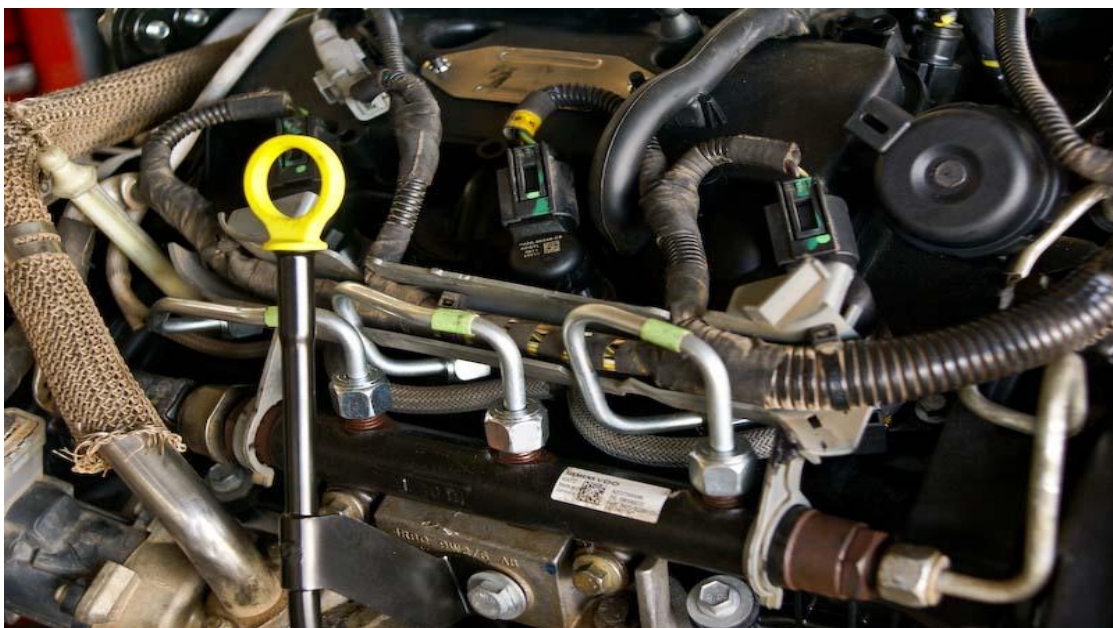


Εικόνα 6.3.12γ: Περιγραφή λειτουργίας πιεζο-εγχυτήρα

### Σωληνώσεις υψηλής πίεσης

Οι σωληνώσεις υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του καυσίμου, από την αντλία υψηλής πίεσης στην κοινή γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου και στη συνέχεια στους εγχυτήρες. Είναι κατασκευασμένες από υψηλής αντοχής ατσάλι, ώστε να εξασφαλίζεται η αντοχή τους στις διακοπόμενες αλλαγές της πίεσης καυσίμου που παρατηρούνται σε συνθήκες μέγιστης πίεσης, καθώς και στις συνεχόμενες διακοπές έγχυσης.

Για την αδιάκοπη και ακριβή λειτουργία του συστήματος, το μήκος των σωληνώσεων από την κοινή γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου έως τους εγχυτήρες, επιλέγεται ίδιο σε όλους τους κυλίνδρους. Για την αντιστάθμιση του μήκους λόγω της διαφοράς απόστασης, ορισμένοι σωλήνες παρουσιάζουν καμπυλότητες.

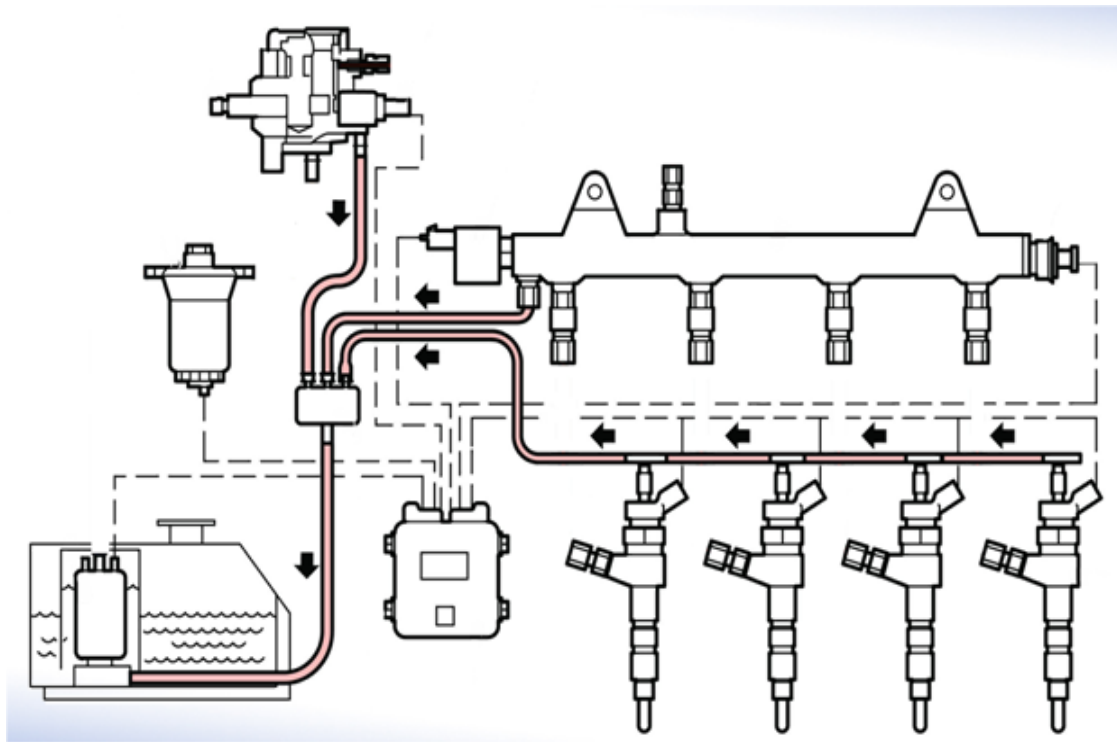


Εικόνα 6.3.13: Σωληνώσεις Υψηλής Πίεσης



#### **6.4 Κύκλωμα επιστρεφόμενων καυσίμων:**

Κατά τη λειτουργία του συστήματος ψεκασμού καυσίμου Common Rail, το καύσιμο το οποίο δε χρησιμοποιείται επιστρέφει στο ντεπόζιτο. Το καύσιμο επιστρέφει στο ντεπόζιτο κατά τη λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας, τη λειτουργία της βαλβίδας ελέγχου πίεσης και τη λειτουργία των εγχυτήρων.



Εικόνα 6.4.1: Κύκλωμα επιστρεφόμενου καυσίμου

Το καύσιμο που επιστρέφει από την αντλία υψηλής πίεσης, την κοινή γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου και τους εγχυτήρες, συγκεντρώνεται σε μια βαλβίδα εκτόνωσης και από εκεί διοχετεύεται προς το ντεπόζιτο. Η βαλβίδα εκτόνωσης δεν είναι τίποτα άλλο από μια στένωση Venturi όπου επιτυγχάνεται επιπρόσθετη πτώση πίεσης του καυσίμου πριν αυτό καταλήξει στο ντεπόζιτο.

Η πίεση της επιστρεφόμενης ποσότητας καυσίμου κυμαίνεται από 0.3 έως 0.8 bar και εξαρτάται από την τιμή της υψηλής πίεσης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Unit Injector System (UIS)**

Ένα νέο σύστημα ως προς τον τρόπο ψεκασμού του πετρελαίου, το Unit Injector System (UIS) αναβάθμισε και βελτίωσε τους πετρελαιοκινητήρες.

Οι απαιτήσεις στους σύγχρονους πετρελαιοκινητήρες ως προς τη κατανάλωση του καυσίμου, την απόδοση, την εκπομπή καυσαερίων και το θόρυβο αυξάνονται συνεχώς. Για το λόγο αυτό οι πετρελαιοκινητήρες χρειάζονται ισχυρά συστήματα ψεκασμού, ώστε να διασκορπίζεται το καύσιμο όσο το δυνατόν καλύτερα.

### **7.1 Unit Injector:**

Το Unit injector σε σχέση με τα άλλα συστήματα, αντί για μια αντλία (περιστροφική ή παλινδρομική) υπάρχουν σε ένα τετρακύλινδρο κινητήρα τέσσερις αντλίες, μια για κάθε κύλινδρο, για τις παρακάτω λειτουργίες :

- τη δημιουργία υψηλής πίεσης καυσίμου για το ψεκασμό
- τη προέγχυση του καυσίμου
- το ψεκασμό της σωστής ποσότητας καυσίμου στη σωστή χρονική στιγμή



Εικόνα 7.1: Unit Injector

Το Unit Injector System (UIS) είναι ένα σύστημα για την άμεση έγχυση ντίζελ. Η τεχνολογία είναι γνωστή και ως "σύστημα αντλίας-ακροφυσίου". Το 1994 η Bosch κυκλοφόρησε το παγκοσμίως πρώτο UIS για επαγγελματικά αυτοκίνητα. Το 1998 ακολούθησε το UIS για ΙΧ αυτοκίνητα. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι η αντλία έγχυσης και το ακροφύσιο έγχυσης αποτελούν μια δομική μονάδα (Unit Injector).

Στο UIS τοποθετείται ανά κύλινδρο ένα ξεχωριστό Unit Injector (UI) απευθείας επάνω στην κεφαλή του κυλίνδρου. Για την μηχανική ανάπτυξη της πίεσης χρησιμεύει ο εκκεντροφόρος άξονας του κινητήρα. Μέσω εμβολέων ή μοχλοβραχιόνων ενεργοποιεί ένα μικρό έμβολο εντός της μονάδας UI. Οι προεξοχές είναι έτσι διαμορφωμένες, ώστε η επιθυμητή υπερπίεση των καυσίμων στο λεγόμενο χώρο εμβόλου κάτω από το έμβολο να αναπτύσσεται το ταχύτερο δυνατό. Μια μαγνητική βαλβίδα ταχείας ενεργοποίησης καθορίζει την έναρξη, το τέλος και την ποσότητα έγχυσης.

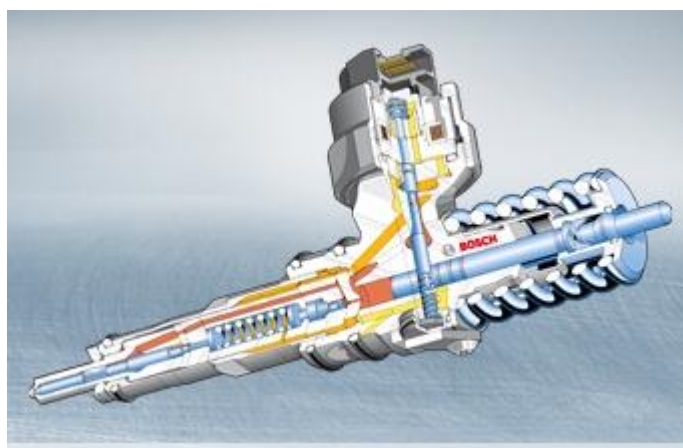
Με την τοποθέτηση στην κεφαλή του κυλίνδρου εκπίπτουν οι αγωγοί υψηλής πίεσης που απαιτούνται στην συμβατική αντλία διανομής-έγχυσης. Πλεονέκτημα: με το UIS επιτυγχάνονται σε ΙΧ αυτοκίνητα πιέσεις έγχυσης μέχρι και 2.000 bar, ανάλογα με τον αριθμό στροφών. Τα μοντέλα ντίζελ με UIS ήταν οι πρώτοι αυτοφλεγής κινητήρες που τηρούσαν τα όρια εκπομπών του EU4. Οι πετρελαιοκινητήρες UI διαθέτουν λόγω της υψηλής πίεσης έγχυσης και έναν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και παρέχουν και σε χαμηλές στροφές πολύ μεγάλη ροπή

στρέψης με χαμηλή κατανάλωση. Παρόλα αυτά ο θόρυβος λειτουργίας τους δεν είναι τόσο χαμηλός όσο σε έναν πετρελαιοκινητήρα Common Rail.

## **7.2 Τρόπος λειτουργίας:**

Κάθε μονάδα αντλίας-μπεκ στερεώνεται με ένα πλακάκι στη κυλινδροκεφαλή και παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα ο οποίος φέρει τέσσερα επιπλέον έκκεντρα κατάλληλα διαμορφωμένα για αυτό το σκοπό.

Η ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου με ρύθμιση χαρακτηριστικών διαγραμμάτων ελέγχει μια μαγνητική βαλβίδα ταχείας ενεργοποίησης στο UI. Όσο η μαγνητική βαλβίδα είναι κλειστή διεξάγεται η έγχυση. Έτσι η χρονική στιγμή κλεισίματος προσδιορίζει την έναρξη της έγχυσης, ενώ η διάρκεια κλεισίματος την ποσότητα έγχυσης.



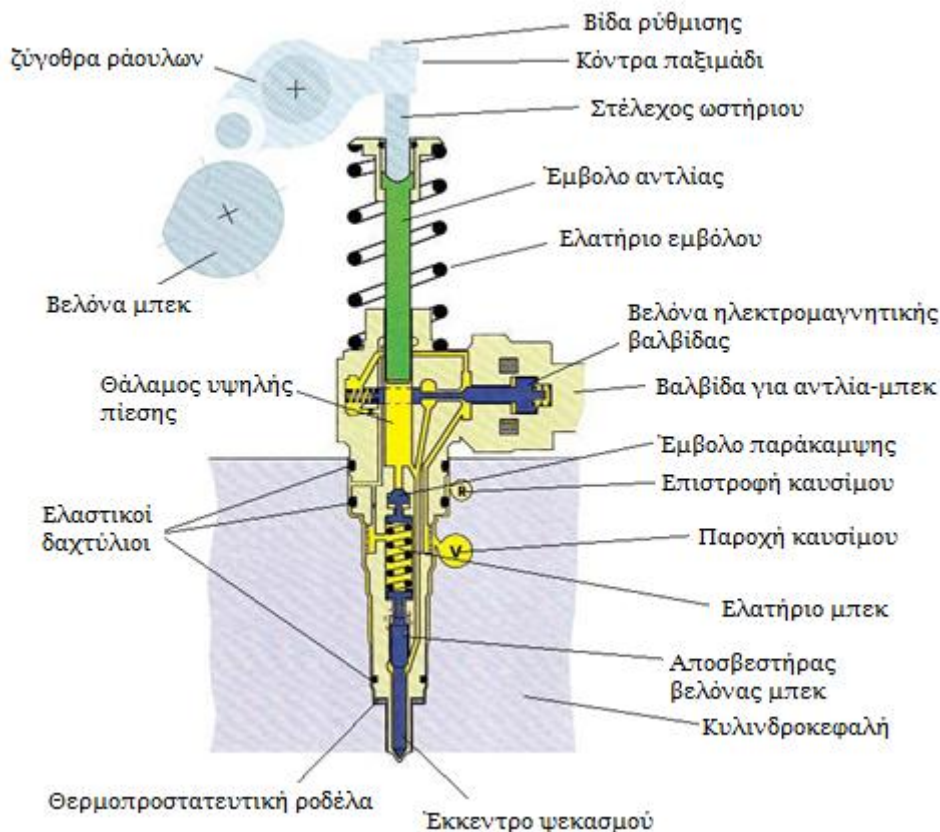
Εικόνα 7.2.1: Τομή Unit injector

Η πρώτη γενιά κινητήρων UIS σε επαγγελματικά αυτοκίνητα επιτρέπει μια πίεση έγχυσης των 1.600 bar. Η δεύτερη γενιά συστημάτων επιτυγχάνει στην νεώτερη έκδοση 1.800 bar. Από το 2004 βρίσκεται στην αγορά η τρίτη γενιά. Επιτυγχάνει πίεση μέχρι 2.000 bar.

Λόγω των υψηλών πιέσεων έγχυσης τα πετρελαιοκίνητα μοντέλα με UIS ήταν τα πρώτα, τα οποία τηρούσαν με άνεση τα όρια εκπομπών του EU4. Οι πετρελαιοκινητήρες UI διαθέτουν λόγω της μεγάλης πίεσης έγχυσης και έναν πολύ καλό βαθμό απόδοσης και παρέχουν με μικρή κατανάλωση μια πολύ μεγάλη ροπή στρέψης ακόμα και σε χαμηλές στροφές. Η τρίτη γενιά συστημάτων επιτρέπει σε όλο το χαρακτηριστικό διάγραμμα του κινητήρα μια ακριβή έγχυση με μεταβλητή διάρκεια έγχυσης. Η διαδικασία έγχυσης που συνεπάγεται από αυτό και η μεγάλη πίεση οδηγούν σε καλύτερη καύση. Αυτό σημαίνει περισσότερη ισχύς, μικρότερη κατανάλωση και μικρότερες εκπομπές ρύπων και θορύβου.

### **Προέγχυση:**

Στη φάση αυτή το έμβολο της αντλίας πιέζεται από το έκκεντρο προς τα κάτω και εκτοπίζει το καύσιμο από το θάλαμο υψηλής πίεσης στη παροχή καυσίμου. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κλείνει τη δίοδο από το θάλαμο υψηλής πίεσης προς τη παροχή καυσίμου, έτσι αρχίζει η αύξηση της πίεσης του καυσίμου μέσα στο θάλαμο υψηλής πίεσης. Μόλις η πίεση φτάσει τα 180 bar υπερνικά τη δύναμη του ελατηρίου της βελόνας του μπεκ, η οποία ανασκώνεται και αρχίζει ο ψεκασμός. (εικόνα 7.2.2)



Εικόνα 7.2.2: Τομή Unit Injector

### **Βασικός ψεκασμός**

Λόγω της κίνησης του εμβόλου προς τα κάτω και της συνεχούς 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 αυξάνει πάλι. Τώρα όταν η πίεση φτάσει περίπου τα 300 bar η βελόνα του μπεκ ανασηκώνεται ξανά και ψεκάζεται η κυρίως ποσότητα ψεκασμού. Εδώ η πίεση μπορεί να αυξηθεί μέχρι τα 2.050 bar σε καταστάσεις που ο κινητήρας δουλεύει σε ψηλές 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 τη παροχή του καυσίμου στα μπεκ λειτουργούν δύο αντλίες. Μια ηλεκτρική αντλία καυσίμου που βρίσκεται στο ρεζερβουάρ και μια μηχανική αντλία καυσίμου. Η ηλεκτρική στέλνει το καύσιμο με πίεση 0,5 bar στη μηχανική αντλία και η μηχανική αντλία στη παροχή καυσίμου των μπεκ με μια πίεση περίπου 7,5 bar.

### **7.3 Πλεονεκτήματα του UIS:**

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι ότι παρουσιάζει ελάχιστα κατάλοιπα καύσης, μικρή εκπομπή ρύπων, χαμηλή κατανάλωση καυσίμου και υψηλή απόδοση.

Τα αποτελέσματα αυτά επιτυγχάνονται με την υψηλή πίεση καυσίμου, τον ακριβή έλεγχο της διαδικασίας ψεκασμού και τη προέγχυση.

#### **7.4 Τύποι UIN:**

Τύπος UIN2 :

- εφαρμογή : σε επαγγελματικά αυτοκίνητα
- ισχύς : 80 KW/κύλινδρο
- αριθμός κυλίνδρων : <8
- ρύθμιση: ηλεκτρονική, μαγνητική βαλβίδα
- πίεση έγχυσης : 1800 bar
- ποσότητα έγχυσης : <400 mm<sup>3</sup> ανά διαδρομή

Τύπος UIN3 :

- εφαρμογή : σε επαγγελματικά αυτοκίνητα
- -ισχύς : 80 KW/κύλινδρο
- αριθμός κυλίνδρων : <8 (<16 με συσκευή ελέγχου με διαμόρφωση Master/Slave)
- ρύθμιση: ηλεκτρονική, μαγνητική βαλβίδα
- πίεση έγχυσης : 2200 bar
- ποσότητα έγχυσης : <400 mm<sup>3</sup> ανά διαδρομή

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Unit Pump System (UPS)**

Το Unit Pump System (UPS) είναι ένα σύστημα για την άμεση έγχυση ντίζελ. Έχει στενή συγγένεια με το Unit Injector System (UIS) και χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε επαγγελματικά αυτοκίνητα. Χαρακτηριστικό στο UPS είναι ότι σε κάθε κύλινδρο του κινητήρα αντιστοιχεί ένα Unit Pump (UP). Αυτό αποτελείται από την αντλία υψηλής πίεσης με ενσωματωμένη μαγνητική βαλβίδα, έναν κοντό αγωγό έγχυσης, ένα στόμιο αγωγού υπό πίεση και έναν συμβατικό συνδυασμό στήριξης ακροφυσίων.



Εικόνα 8.1: Unit Injector Pump

### **Πλεονεκτήματα συστήματος:**

Επιτρέπει πιέσεις έγχυσης μέχρι 2.200 bar. Επιπλέον κατά την μετατροπή από συστήματα έγχυσης με συμβατικές αντλίες σε σειρά ή αντλίες διανομής δεν απαιτείται ολοκληρωτική ανακατασκευή της κεφαλής του κυλίνδρου. Οι κατασκευαστές εξοικονομούν δαπάνες αναβάθμισης. Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι ότι φθαρμένες μονάδες αντλιών/βαλβίδων μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα.

Η Bosch εφαρμόζει συστήματα Unit Pump ιδιαίτερα σε κινητήρες επαγγελματικών αυτοκινήτων με τέσσερις έως δεκαοκτώ κυλίνδρους με μια ισχύ μέχρι και 92 kW ανά κύλινδρο. Αν υπάρχουν περισσότεροι από οκτώ κύλινδροι απαιτείται δεύτερη συσκευή ελέγχου.

Για την ανάπτυξη της πίεσης φροντίζει στο UIP ο εκκεντροφόρος άξονας του κινητήρα. Επειδή αυτός βρίσκεται στα επαγγελματικά αυτοκίνητα συνήθως κάτω, μεταφέρεται η διαδρομή του άξονα μέσω ενός κυλιόμενου εμβολέα στο μικρό έμβολο της μονάδας UP. Ο άξονας είναι έτσι διαμορφωμένος, ώστε να αναπτυχθεί η επιθυμητή υψηλή πίεση καυσίμων στο λεγόμενο χώρο του εμβόλου το ταχύτερο δυνατό. Μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη μαγνητική βαλβίδα ταχείας ενεργοποίησης καθορίζει την έναρξη και το πέρας της έγχυσης, ενώ η διάρκεια ελέγχου καθορίζει την ποσότητα έγχυσης.

Τύπος UP 12, 20

Εφαρμογή : σε επαγγελματικά αυτοκίνητα

Ισχύς : 80 KW / κύλινδρο

Αριθμός κυλίνδρων : 4...8 (με συσκευή ελέγχου σε διαμόρφωση Master/Slave)

Ρύθμιση : ηλεκτρονικά, μαγνητική βαλβίδα

Πίεση έγχυσης : 2.200 bar

Ποσότητα έγχυσης :  $\leq 150 \text{ mm} / \leq 400 \text{ mm}^3$  ανά διαδρομή

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Ρύποι πετρελαιοκινητήρων

### Αέριοι ρύποι:

Οι αέριοι ρύποι ειδικά με κρύο κινητήρα γίνονται άμεσα αντιληπτοί στα καυσαέρια και περιλαμβάνουν μη οξειδωμένους ή μερικώς οξειδωμένους υδρογονάνθρακες, στη μορφή σταγονιδίων λευκού ή μπλε καπνού και αλδεΐδες (-CHO) με έντονη οσμή. Οι σημαντικοί αέριοι ρύποι των πετρελαιοκινητήρων είναι οι ακόλουθοι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα δημιουργείται από έλλειψη οξυγόνου λόγω της ατελούς καύσης καυσίμων που περιέχουν άνθρακα. Είναι ένα άχρωμο, άγευστο και εκρηκτικό αέριο.
- Υδρογονάνθρακες (HC). Σαν υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται μια πληθώρα διαφόρων ενώσεων (π.χ. C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>), που εμφανίζονται μετά από ατελή καύση. Στον οργανισμό επιδρούν με διαφορετικό τρόπο. Μερικοί ερεθίζουν, ενώ μερικοί (αρωματικοί υδρογονάνθρακες) είναι καρκινογόνοι.
- Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Το διοξείδιο του θείου δημιουργείται από την καύση καυσίμου που περιέχει θείο. Είναι άχρωμο αέριο με έντονη οσμή. Το ποσοστό θείου στο καύσιμο έχει τάση μείωσης.
- Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Τα οξείδια του αζώτου (π.χ. NO, NO<sub>2</sub>), δημιουργούνται λόγω υψηλής πίεσης, υψηλής θερμοκρασίας και πλεόνασμα οξυγόνου κατά την διάρκεια της καύσης στον κινητήρα. Μερικά οξείδια του αζώτου είναι επιβλαβή για την υγεία.

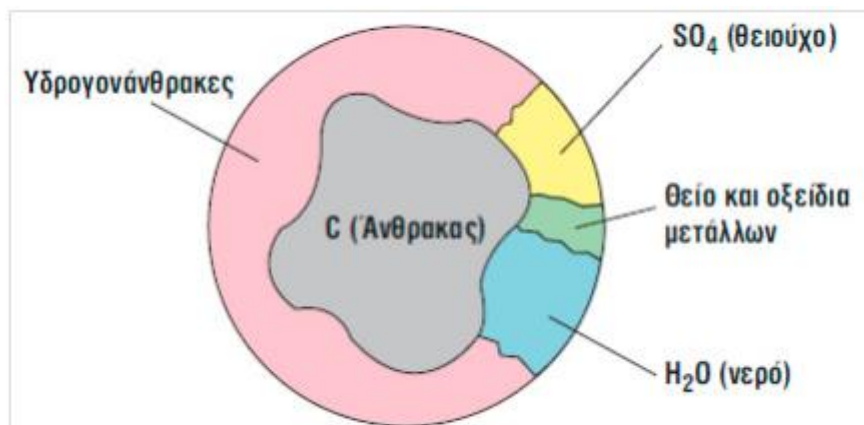
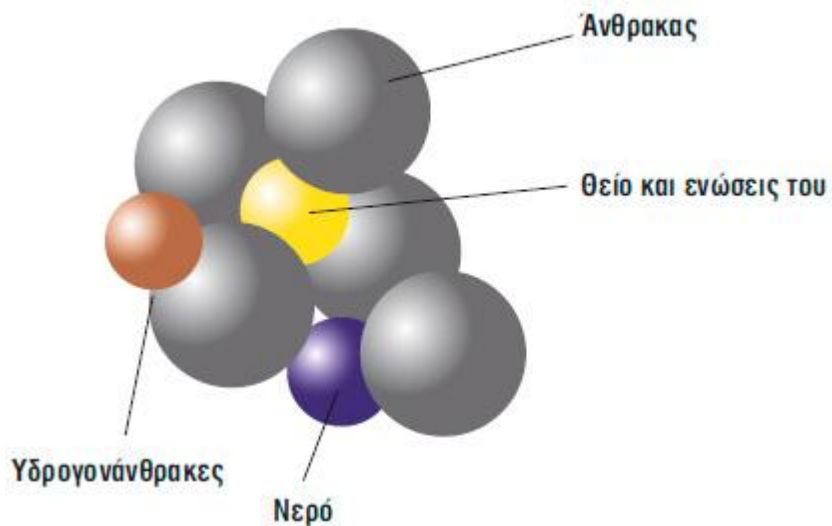


Τα μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου οδηγούν δυστυχώς στην αύξηση του ποσοστού των οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια, επειδή μια πληρέστερη καύση προκαλεί υψηλότερη θερμοκρασία στο χώρο καύσης.

### Στερεά σωματίδια:

Οι πετρελαιοκινητήρες εκπέμπουν εκτός των αερίων ρύπων και στερεά σωματίδια μαζί με τα καυσαέρια, σε μορφή σκόνης, τα οποία ανήκουν επίσης στον γενικό όρο "σωματίδια" στην αναζήτηση για επικίνδυνες για την υγεία και το περιβάλλον ουσίες.

- Σωματίδια αιθάλης PM (Particulate Matter). Σύμφωνα με την νομοθεσία των ΗΠΑ κάθε υλικό που υπό κανονικές συνθήκες περιλαμβάνεται στα καυσαέρια σαν στερεό σώμα (τέφρα, αιθάλη) ή σαν υγρό πρέπει να αξιολογείται σαν PM. Τα σωματίδια αιθάλης είναι μικροσκοπικά σφαιρίδια άνθρακα με διάμετρο περίπου 0,05μm. Ο πυρήνας τους αποτελείται από καθαρό άνθρακα. Σε αυτό τον πυρήνα συσσωρεύονται διάφορες ενώσεις υδρογονανθράκων, οξείδια μετάλλων και θείο.



Η δημιουργία σωματιδίων αιθάλης στον πετρελαιοκινητήρα εξαρτάται από διάφορες φάσεις της καύσης του πετρελαίου όπως παροχή αέρα, ψεκασμός, εξάπλωση της φλόγας. Η ποιότητα της καύσης εξαρτάται από το πώς σχηματίζεται το μείγμα από αέρα και καύσιμο. Σε μερικές περιοχές του χώρου καύσης μπορεί το μείγμα να είναι πλούσιο επειδή δεν υπάρχει επάρκεια οξυγόνου. Τότε η καύση παραμένει ατελής και δημιουργούνται σωματίδια αιθάλης.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Τεχνικές Αντιρύπανσης**

Σήμερα σημαντικές τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί στους πετρελαιοκινητήρες για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βαλβίδες ανακύκλωσης καυσαερίων, απλές ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενες, ο οξειδωτικός καταλύτης, το φίλτρο σωματιδίων αιθάλης (DPF), ο αναγωγικός καταλύτης, τα συστήματα πρόσθετων οξειδίων μετάλλων στο καύσιμο, η παροχή διαλύματος αμμωνίας (ουρία- Ad-blue) στην εξαγωγή καυσαερίων, αποτελούν τεχνολογίες που χαρακτηρίζουν τους κινητήρες ανάλογα με τις προδιαγραφές καυσαερίων EU (EURO) που τους διακρίνει.

### **Τι είναι οι προδιαγραφές EU:**

Οι προσπάθειες μείωσης της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων έχουν γίνει αντιληπτές ήδη από την δεκαετία του 70. Τότε τέθηκαν σε ισχύ οι πρώτες προδιαγραφές ελέγχου των καυσαερίων. Μεγάλη μείωση των εκπομπών επιτεύχθηκε τα τελευταία 15 χρόνια. Αυτό επιτεύχθηκε με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, την πρόοδο της ηλεκτρονικής και της τεχνικής των υπολογιστών.

Οι προδιαγραφές καυσαερίων EU καθορίζει τα όρια για όλους τους συνηθισμένους ρύπους καυσαερίων των κινητήρων εσωτερικής καύσης σε γραμμάρια ανά χιλιόμετρο, ιδιαίτερα για κινητήρες αυτανάφλεξης των ΙΧ-επιβατικών αυτοκινήτων. Οι προδιαγραφές καθορίζουν τις οριακές τιμές των ρύπων και για φορτηγά οχήματα ανάλογα με την κατηγορία βάρους.

### **Πίνακας εκπομπών ρύπων πετρελαιοκινητήρων επιβατικών οχημάτων ανάλογα με την κλάση (EURO) καυσαερίων σε gr/Km:**

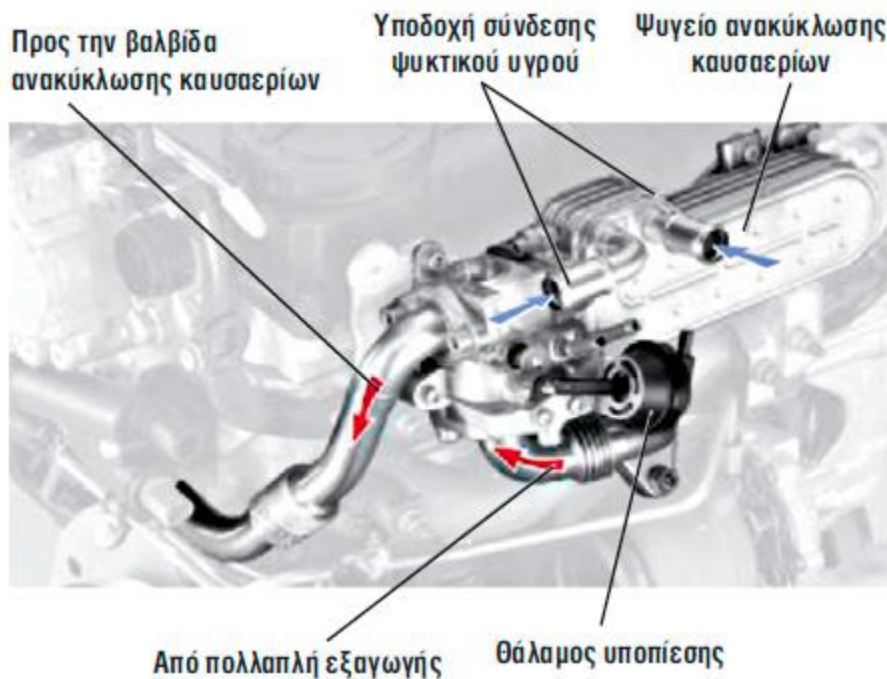
Πρότυπο	Ημερομηνία ισχύος για εγκρίσεις τύπου	Ημερομηνία ισχύος για ταξινομήσεις	Ανώτατα όρια ρύπων (gr./χλμ.)				
			Μονοξείδιο του Άνθρακα CO	Υδρογονάνθρακες HC	Οξείδια του Αζώτου NOx	Υδρογονάνθρακες + Οξείδια Αζώτου HC+NOx	Αιθάλη (PM)
Euro 1	Ιούλιος 1992	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	0,97	0,14
Euro 2	Ιανουάριος 1996	Ιανουάριος 1996	0,64	-	-	0,7	0,08
Euro 3	Ιανουάριος 2000	Ιανουάριος 2000	0,5	-	0,5	0,56	0,05
Euro 4	Ιανουάριος 2005	Ιανουάριος 2005	0,5	-	0,25	0,3	0,025
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	Σεπτέμβριος 2011	0,5	-	0,18	0,23	0,005
Euro 6	Σεπτέμβριος 2014	Σεπτέμβριος 2015	0,5	-	0,08	0,17	0,005

### **10.1 Σύστημα ανακύκλωσης καυσαερίων:**

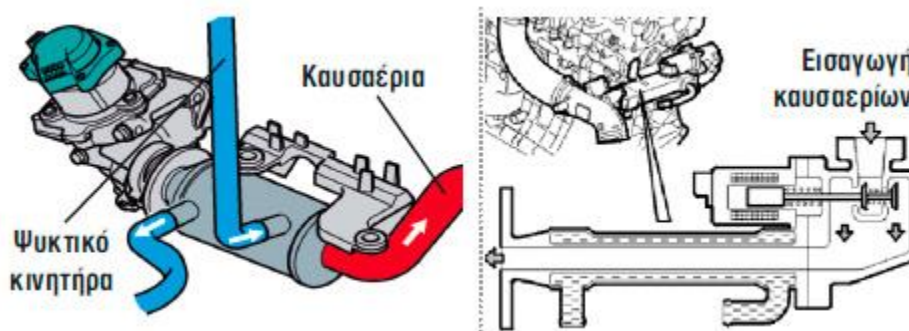
Κατά την ανακύκλωση καυσαερίων ένα μέρος των καυσαερίων επιστρέφει στην εισαγωγή και διοχετεύεται στο χώρο καύσης. Επειδή τα καυσαέρια περιέχουν πολύ λίγο οξυγόνο, μειώνεται η μέγιστη θερμοκρασία καύσης και συνεπώς η μέγιστη πίεση καύσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της εκπομπής οξειδίων του αζώτου. Η ανακύκλωση των καυσαερίων γίνεται από το σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation) ή αλλιώς βαλβίδα EGR.

### **Σύστημα με ψύξη της EGR και έλεγχο της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων:**

Στα συστήματα με ψύξη της EGR και έλεγχο της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, που ψύχει τα καυσαέρια, ακολουθεί τις μεταβολές της θερμοκρασίας του κινητήρα. Μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα παίρνει εντολή από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα και ρυθμίζει την επανακυκλοφορία των καυσαερίων.



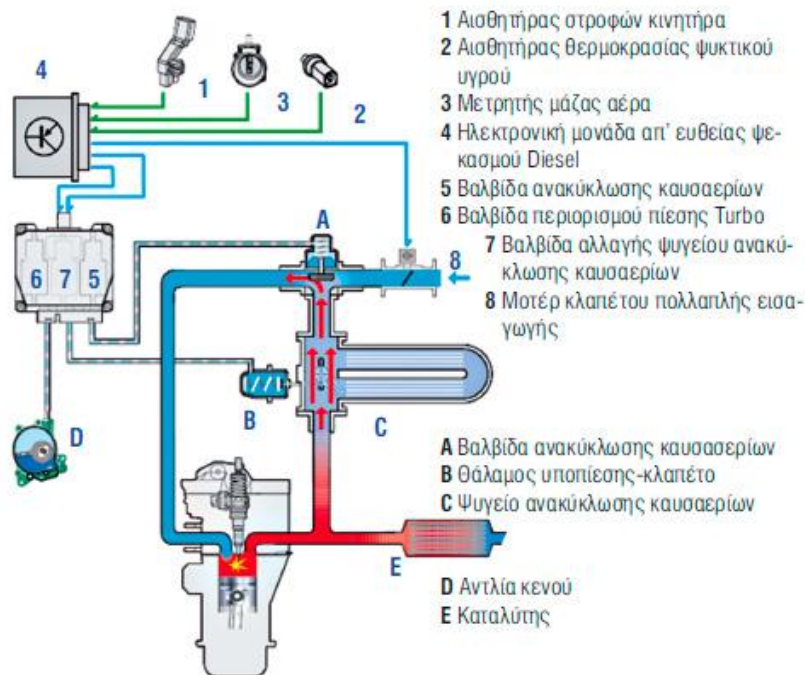
Εικόνα 10.1.1α: Ψύξη της EGR



Εικόνα 10.1.1β: Σύστημα με ψύξη της EGR και έλεγχο της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων

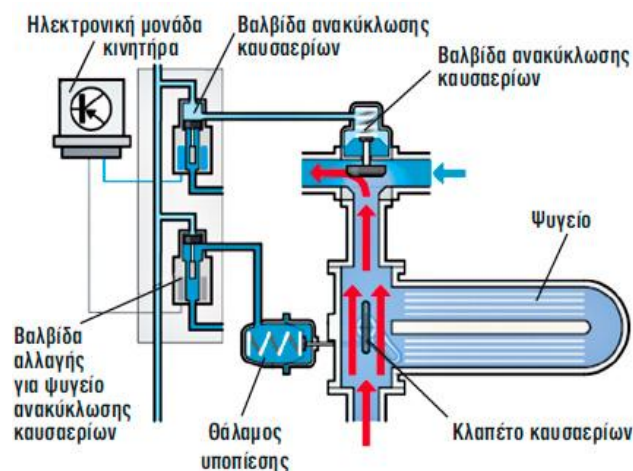
## Σύστημα με έλεγχο της ψύξης της EGR και της επανακυκλοφορίας καυσαερίων:

Στα συστήματα με έλεγχο τόσο της ψύξης της EGR όσο και της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού που ψύχει τα καυσαέρια ελέγχεται ως προς τις μεταβολές της θερμοκρασίας του κινητήρα. Μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα η οποία παίρνει εντολή από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα ενεργοποιεί μια δεύτερη βαλβίδα υποπίεσης η οποία ρυθμίζει την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσα από το ψυγείο ψύξης των καυσαερίων.



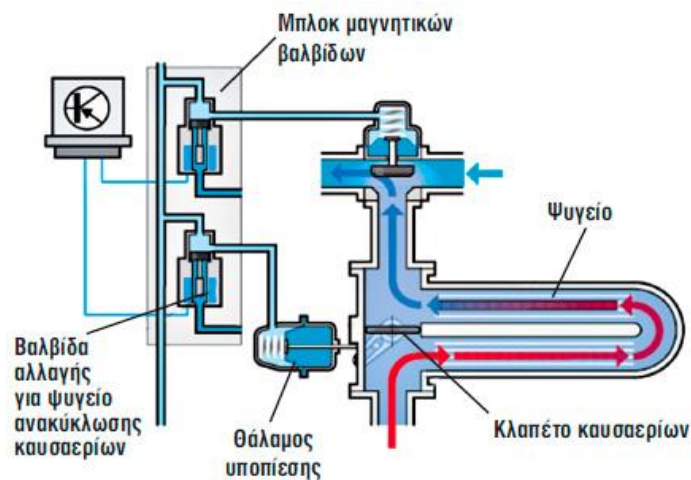
Εικόνα 10.1.2: Σύστημα με έλεγχο της ψύξης της EGR και της επανακυκλοφορίας καυσαερίων

**α) Ψύξη καυσαερίων εκτός λειτουργίας.** Μέχρι το ψυκτικό υγρό να φτάσει στους 50 °C παραμένει το κλαπέτο των καυσαερίων ανοιχτό και τα καυσαέρια προσπερνούν το ψυγείο. Έτσι ο καταλύτης και ο κινητήρας επιτυγχάνουν σε σύντομο χρονικό διάστημα την θερμοκρασία λειτουργίας τους.



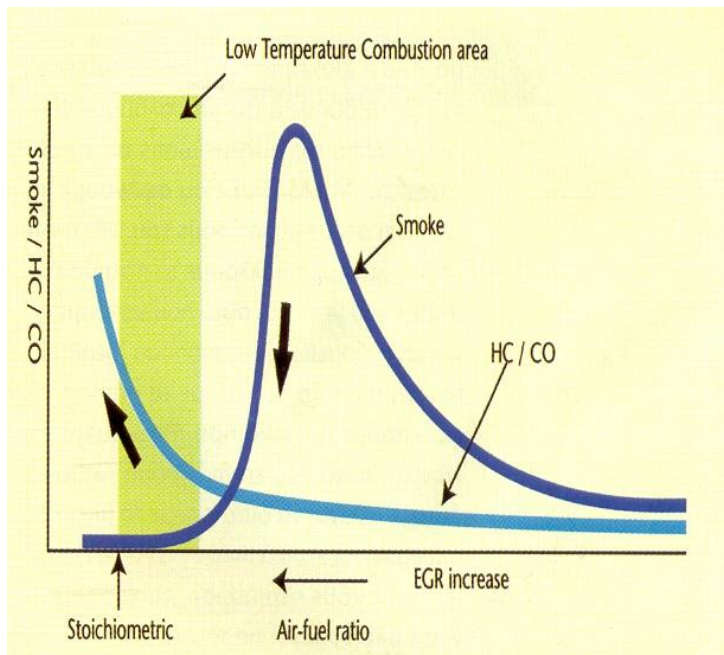
Εικόνα 10.1.2α: ψύξη καυσαερίων εκτός λειτουργίας (κλαπέτο καυσαερίων ανοιχτό)

**β) Ψύξη καυσαερίων σε λειτουργία.** Μετά από θερμοκρασία ψυκτικού υγρού 50 °C κλείνει το κλαπέτο καυσαερίων του ψυγείου. Τώρα τα ανακυκλούμενα καυσαέρια διαρρέουν το ψυγείο.



Εικόνα 10.1.2β: ψύξη καυσαερίων σε λειτουργία (κλαπέτο καυσαερίων κλειστό)

## **10.2 Μέθοδος ελαχιστοποίησης ρύπων σε χαμηλά και μεσαία φορτία με σύστημα LTC:**



Το διάγραμμα αυτό περιγράφει μία αρκετά ενδιαφέρουσα όσο και αποτελεσματική μέθοδο ελαχιστοποίησης των ρύπων, όταν ο κινητήρας λειτουργεί με μεσαία και χαμηλά φορτία. Πρόκειται για την καύση χαμηλής θερμοκρασίας (ή LTC από το Low Temperature Combustion) την οποία χρησιμοποιεί, για παράδειγμα, η Toyota στους κινητήρες D-CAT. Με τη λειτουργία LTC (στα μικρά και μεσαία φορτία, προφανώς), ένα μέρος του αέρα του κυλίνδρου αντικαθίσταται από

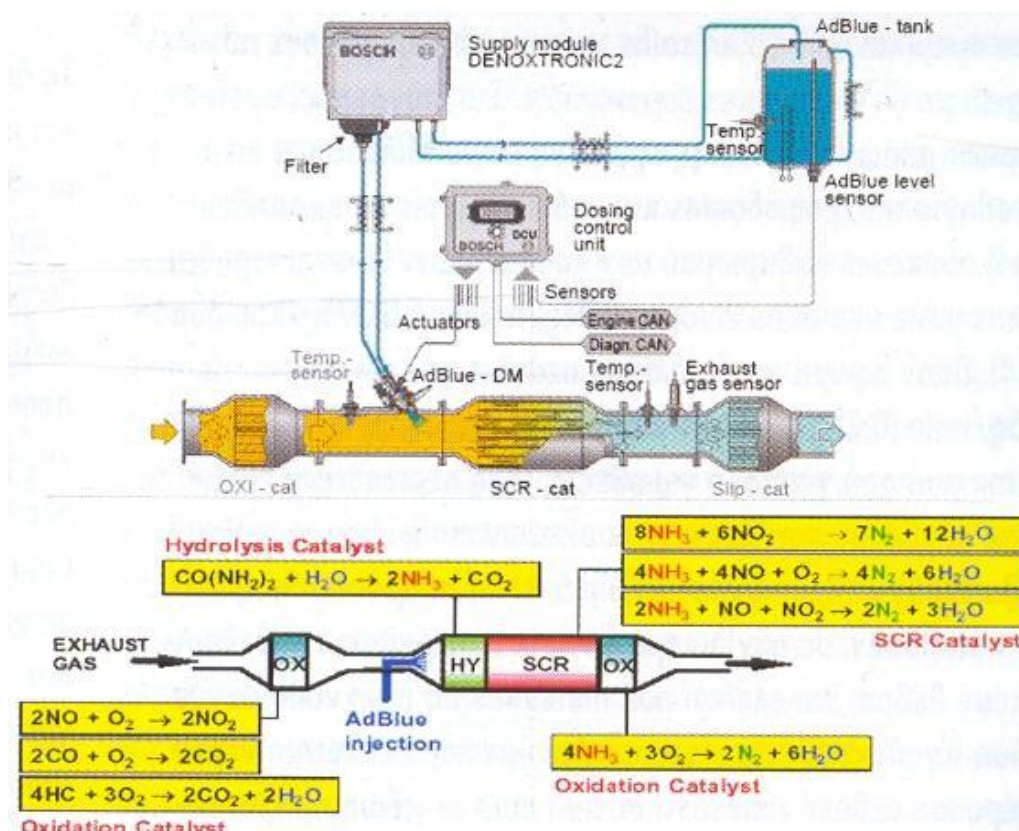
καυσαέρια τα οποία, αφού πρώτα περάσουν από έναν ξεχωριστό οξειδωτικό καταλύτη για να καθαριστούν και αφού κρυώσουν με τη βοήθεια ενός intercooler, διοχετεύονται ξανά στον κύλινδρο μέσω μιας ψηφιακά ελεγχόμενης βαλβίδας EGR. Η ποσότητα των καυσαερίων αυτών είναι απόλυτα ελεγχόμενη, έτσι ώστε το απαιτούμενο καύσιμο για τη συγκεκριμένη εκείνη τη στιγμή επιθυμητή απόδοση, να συναντήσει μέσα στον κύλινδρο τόσο οξυγόνο όσο αρκεί για να σχηματίσει μαζί του στοιχειομετρικό μίγμα (εδώ, τα πράγματα θυμίζουν καταλυτικό βενζινοκινητήρα...). Το αποτέλεσμα είναι μια καύση η οποία εξελίσσεται με βραδείς συγκριτικά ρυθμούς (πράγμα που δεν δημιουργεί πρόβλημα απόδοσης σε έναν αργόστροφο πετρελαιοκινητήρα) και σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες από τη συμβατική, πτωχή καύση των

πετρελαιοκινητήρων. Η χαμηλή θερμοκρασία, σε συνδυασμό με την απουσία περίσσειας οξυγόνου, έχουν ως αποτέλεσμα μια σημαντική μείωση όχι μόνο των οξειδίων του αζώτου (πράγμα που είναι αναμενόμενο) αλλά και της αιθάλης, γεγονός που ανακουφίζει την καπνοπαγίδα και μειώνει τις αιτήσεις της για αναγέννηση. Η εξήγηση για το φαινόμενο αυτό βρίσκεται στη χαμηλή θερμοκρασία: οι μικροπυρήνες αιθάλης δεν μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν μεγάλα σωματίδια, ανθεκτικά στην οξείδωση και επικαλυμμένα με υδρογονάνθρακες. Κατά συνέπεια, μπορεί πιο εύκολα να καούν μέσα σε κύλινδρο, πολύ πριν φτάσουν σε έναν καταλύτη ή βγουν στην ατμόσφαιρα.

Μια άλλη ωφέλεια από τη λειτουργία LTC είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του καταλύτη, ακόμα και στο ρελαντί. Αυτό οφείλεται στο ότι, από τη στιγμή που τα καυσαέρια δεν αποκτούν υψηλή θερμοκρασία, μειώνονται οι διαρροές της θερμικής τους ενέργειας μέσω των τοιχωμάτων του κυλίνδρου και του θαλάμου καύσης. Το αποτέλεσμα είναι να διατηρούν μεγάλα ποσά ενέργειας, ακόμα και με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής. Στη συνέχεια, τη θερμική αυτή ενέργεια την εναποθέτουν στο υπόστρωμα του καταλύτη, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία του.

Με άλλα λόγια, εδώ συμβαίνει κάτι ανάλογο με αυτό που παρατηρείται στους βενζινοκινητήρες όταν μειωθεί το αβάνς: η μέγιστη θερμοκρασία καύσης (και η πίεση, όπως και η απόδοση) μειώνεται σημαντικά, αλλά ο κινητήρας παράγει πολύ πιο θερμά καυσαέρια.

### 10.3 Ολοκληρωμένη διάταξη Urea-SCR:



Εικόνα 10.3: Ολοκληρωμένη διάταξη Urea-SCR

Στην εικόνα 10.3 απεικονίζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των καυσαερίων με “επιλεκτική κατάλυση” (SCR) και αναγωγικό μέσο την αμμωνία, η οποία ψεκάζεται από τον ψεκασμό ουρίας (Ad Blue) στη ροή των καυσαερίων και τη

θερμική της διάσπαση. Κάτω παρατίθενται σχηματικά, οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα διάφορα στάδια της διαδρομής των καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα. Από τη συγκεκριμένη απεικόνιση, η οποία αφορά εγκατάσταση σε κινητήρα βαρέως τύπου, απουσιάζει η παγίδα αιθάλης, ενώ απεικονίζεται και ένας επιπρόσθετος οξειδωτικός καταλύτης (Slip-cat), ο οποίος απουσιάζει από τις απεικονίσεις των αντίστοιχων εφαρμογών στα επιβατικά αυτοκίνητα. Προορισμός του καταλύτη αυτού είναι να διασπά τα όποια υπολείμματα αμμωνίας έχουν παραμείνει στα καυσαέρια, πριν αυτά απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Αρχίζοντας από αριστερά, βλέπουμε ότι τα καυσαέρια εισέρχονται στον οξειδωτικό καταλύτη, όπου οξειδώνονται τα προϊόντα ατελούς καύσης: το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) μετατρέπονται σε αβλαβές διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Αντίθετα το επιβλαβές μονοξείδιο του αζώτου (NO) μετατρέπεται στο πολύ πιο επιβλαβές διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), μετά το πέρασμα του από τον καταλύτη και την πρόσληψη ενός ατόμου οξυγόνου (το οποίο οξυγόνο το παίρνει από τον ατμοσφαιρικό αέρα που αφθονεί λόγω φτωχού μίγματος στα καυσαέρια των πετρελαιοκινητήρων).

Στο σημείο αυτό, παρότι είναι επιβλαβές για την υγεία μας, το διοξείδιο του αζώτου μας είναι εξαιρετικά χρήσιμο, για όσο διάστημα παραμένει μέσα στο “σύστημα” και δεν φεύγει στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία του στα καυσαέρια ενεργοποιεί την καύση της αιθάλης (στην περίπτωση βέβαια που υπάρχει μια καπνοπαγίδα, αμέσως μετά τον οξειδωτικό καταλύτη) ενώ, για όσο διάστημα η θερμοκρασία του εξακολουθεί να είναι υψηλή, το διοξείδιο του αζώτου συνεχίζει (ως οξειδωτικό μέσο, δηλαδή ως ουσία που επείγεται να προσφέρει άτομα οξυγόνου στα εύφλεκτα συστατικά που συναντά στο δρόμο του) να “καίει” τα μόρια διοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων τα οποία δεν είχαν την ευκαιρία να έρθουν σε επαφή με τα τοιχώματα του οξειδωτικού καταλύτη.

Από τη στιγμή όμως που τα οξείδια του αζώτου εξέλθουν από το χώρο του οξειδωτικού καταλύτη (ή του συνδυασμού οξειδωτικού καταλύτη/καπνοπαγίδας), θα πρέπει να εξουδετερωθούν, μετατρέπόμενα σε αδρανές άζωτο και οξυγόνο. Αυτό πραγματοποιείται μέσα στη μονάδα SCR.

Στην είσοδο της μονάδας SCR, ψεκάζονται (αυστηρά ελεγχόμενες) μικροποσότητες Ad Blue, του εμπορικού υδατικού διαλύματος ουρίας. Στο επάνω σχέδιο, μπορεί να δει κανείς τη σχετική διάταξη τροφοδοσίας, που περιλαμβάνει τη δεξαμενή Ad Blue, την αντλία παροχής Bosch Denoxtronic2, τη δοσιμετρική μονάδα ελέγχου και το (ελεγχόμενο από τη δοσιμετρική μονάδα) ακροφύσιο ψεκασμού, συνδεδεμένο με γραμμές παροχής και επιστροφής, που θυμίζουν αντίστοιχο σύστημα ψεκασμού καυσίμου.

Σε ένα προκαταρκτικό στάδιο, η “ομίχλη” ουρίας/καυσαερίων έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες της μονάδας υδρόλυσης (HY), όπου η ουρία διασπάται σε αμμωνία και διοξείδιο του άνθρακα, πριν προχωρήσει προς το εσωτερικό του καταλύτη SCR. Εκεί ευρισκόμενη σε αέρια μορφή, η αμμωνία αντιδρά με τα οξείδια του αζώτου σύμφωνα με μια ποικιλία αντιδράσεων (η οποία εξαρτάται από τις σχετικές συγκεντρώσεις και την εκάστοτε θερμοκρασία), με τελικά προϊόντα, άζωτο και νερό. Το ιδανικό θα ήταν να υπάρχει πάντοτε, περίσσεια αμμωνίας, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι ολόκληρη η ποσότητα των οξειδίων του αζώτου θα διασπαστεί. Αυτό όμως μας δημιουργεί ένα δευτερογενές πρόβλημα: τι γίνεται με την αμμωνία που θα περισσέψει;

Στους μικρούς κινητήρες, η ποσότητα των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου είναι μικρή, κατά συνέπεια δεν υπάρχει (νομικό) πρόβλημα αν η αμμωνία που θα χρησιμοποιηθεί είναι “ελαφρά λιγότερη του απαιτούμενου”, με αποτέλεσμα να απομείνουν αδιάσπαστες (και να φύγουν στην ατμόσφαιρα) κάποιες απειροελάχιστες ποσότητες οξειδίων του αζώτου. Στην περίπτωση αυτή βέβαια, δεν θα υπάρξει διαρροή αμμωνίας στην ατμόσφαιρα, εκτός και αν πάψει να λειτουργεί ο καταλύτης.

Αν πάλι χρησιμοποιηθεί ελαφρά περίσσεια αμμωνίας, θα έχουμε μια σχεδόν πλήρη εξάλειψη των οξειδίων του αζώτου και τη διαρροή απειροελάχιστων ποσοτήτων αμμωνίας στην ατμόσφαιρα, οι οποίες πιθανώς να προσδώσουν μια υποψία οσμής στα καυσαέρια και τίποτα περισσότερο.

Όταν όμως έχουμε ένα μεγάλο πετρελαιοκινητήρα (π.χ. φορτηγού), μιλάμε και για μεγάλες ποσότητες παραγόμενων οξειδίων του αζώτου. Στην περίπτωση αυτή, είναι προτιμότερο να παίξουμε εκ του ασφαλούς και να χρησιμοποιήσουμε μία αισθητή περίσσεια αμμωνίας, ώστε να είμαστε σίγουροι για τα αποτελέσματα. Στα μείον όμως μιας τέτοιας επιλογής, θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και την πιθανότητα παρουσίας αμμωνίας στα καυσαέρια, σε ποσότητες τέτοιες που η οσμή να είναι αισθητή (όχι όμως τέτοιες που να αποτελούν κίνδυνο για την υγεία). Ο τελικός οξειδωτικός καταλύτης αμμωνίας (Slip cat) κάνει ακριβώς αυτό: εξαναγκάζει την αμμωνία να αντιδράσει με το οξυγόνο των καυσαερίων και να διασπαστεί σε άζωτο και νερό.

#### **10.4 Οξειδωτικός καταλύτης:**

Από τη στιγμή που ένα ρεύμα αερίων εμπεριέχει οργανικές ουσίες, αιωρούμενα σωματίδια άνθρακα και άφθονο οξυγόνο, το τελικό αποτέλεσμα της καύσης του θα είναι διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί, αρκεί να συντρέχουν οι εξής δυο προϋποθέσεις :

α) να υπάρχει η απαιτούμενη (και αρκετά υψηλή) θερμοκρασία ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία οξειδωσης και

β) να παρέχεται και ο απαραίτητος χρόνος ώστε η καύση να ολοκληρωθεί. Κάτι που δεν συμβαίνει, φυσικά, στην πράξη – ιδιαίτερα από τη στιγμή που το ρεύμα αερίων έχει αφήσει πίσω του τον κύλινδρο και έχει πάρει το δρόμο του για την εξάτμιση.

Την λύση στο πρόβλημα της έναυσης έρχονται να το δώσουν οι καταλύτες. Πρόκειται για ουσίες οι οποίες δεσμεύουν, επιφανειακά, τα αντιδραστήρια (οξυγόνο και μονοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες για παράδειγμα) και μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων αντιδράσεων, επιτυγχάνουν την ολοκλήρωση της επιθυμητής αντίδρασης σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που απαιτούνται κάτω από κανονικές συνθήκες.

Οι καταλυτικές ουσίες, δεδομένου ότι επενεργούν μέσω της εκτεθειμένης επιφάνειάς τους, αποτελούν την εσωτερική “επάλειψη” των διόδων ενός διαπερατού, κεραμικού υποστρώματος-ο στόχος, εδώ, είναι να “απλωθεί” ο καταλύτης σε όσο γίνεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια, γεγονός που θα μεγιστοποιήσει την απόδοσή του.

Ο πρώτος καταλύτης που (πρέπει να) συναντούν τα καυσαέρια του πετρελαιοκινητήρα, μετά την έξοδό τους από τον κύλινδρο, είναι ο οξειδωτικός. Καθώς διέρχονται τα καυσαέρια από τις πολυάριθμες μικροδιόδους του, έρχονται σε επαφή με τις καταλυτικές επιφάνειες οι οποίες ενεργοποιούν μια σειρά από

οξειδωτικές αντιδράσεις-θυμίζουμε, στο σημείο αυτό, ότι τα καυσαέρια του πετρελαιοκινητήρα εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες οξυγόνου (3-17%, ανάλογα με το αν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί ή υπό πλήρες φορτίο) οι οποίες είναι υπερεπαρκής για την οξείδωση ολόκληρης της ποσότητας των προϊόντων ατελούς καύσης που εξέρχονται από τον κύλινδρο.

Στο εσωτερικό του οξειδωτικού καταλύτη, το μονοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε διοξείδιο, ενώ καίγεται και σημαντικό ποσοστό των άκαυστων υδρογονάνθρακων και των αλδευδών που έχουν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της καύσης(από αυτές προέρχεται και η χαρακτηριστική οσμή των “ακαθάριστων” καυσαερίων του πετρελαιοκινητήρα).

Ταυτόχρονα, κατά το πέρασμα μέσα από τον οξειδωτικό καταλύτη, μειώνει και το μέγεθος των στερεών σωματιδίων, καθώς καίγονται ή εξαερώνονται οι υδρογονάνθρακες που περιβάλλουν την επιφάνεια των κόκκων άνθρακα που εμπεριέχονται στα καυσαέρια.

Αυτοί οι συγκεκριμένοι υδρογονάνθρακες είναι ότι πιο τοξικό μπορεί να βρει κανείς μέσα στο σύνολο των στερεών ή αέριων εκπομπών ενός πετρελαιοκινητήρα! Και μιλάμε, συγκεκριμένα, για τους υδρογονάνθρακες εκείνους οι οποίοι, λόγω της μοριακής δομής τους, είναι και οι πλέον ανθεκτικοί στις θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης: τους κυκλικούς υδρογονάνθρακες με δύο –και πάνω αρωματικούς δακτυλίους (και συγκεκριμένα, με τέσσερις ή πέντε που είναι αποδεδειγμένα καρκινογόνοι...)

Αυτό που συμβαίνει στο εσωτερικό ενός οξειδωτικού καταλύτη (και, αντίθετα, δεν συμβαίνει μέσα στον θάλαμο καύσης) είναι ο πολύ μεγαλύτερος χρόνος παραμονής σε οξειδωτικό περιβάλλον, που διατίθεται στις αρωματικές αυτές ενώσεις. Από τη στιγμή που παρατείνεται η έκθεση (σε θερμό οξυγόνο) του οργανικού “περιβλήματος” των εξανθρακωμάτων, επόμενο είναι να προλάβουν να αποσυντεθούν οι δύστροποι δακτύλιοι των μορίων και, στη συνέχεια, να καούν τα υλικά που τους απαρτίζουν. Κάπως έτσι, όποιος μετράει “κατά βάρος” τη μείωση των στερεών εκπομπών ενός πετρελαιοκινητήρα, που προκαλεί η παρουσία ενός οξειδωτικού καταλύτη, έχει οδηγηθεί σε εσφαλμένα (κατά ένα μέρος ) συμπεράσματα: το μεγαλύτερο μέρος της μάζας που έχει εξαφανιστεί, δεν αφορά σε εξανθρακωμά αλλά στις οργανικές επικαθίσεις στην επιφάνειά του. Εκείνο όμως που είναι σίγουρο είναι ότι, μετά το επιφανειακό “ξύριμά” τους, τα αιωρούμενα σωματίδια άνθρακα είναι λιγότερο καρκινογόνα από ό,τι πριν.

Κάπου εδώ όμως, υπάρχει η πιθανότητα ένας οξειδωτικός καταλύτης να ΑΥΞΗΣΕΙ (αντί να μειώσει) τη συνολική μάζα των στερεών σωματιδίων που εξέρχονται από αυτόν! (Και μάλιστα, να προκαλέσει, από μόνος του, τόσο μεγαλύτερη αύξηση, όσο υψηλότερη είναι και η θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του.

Όσο παράλογο και να μας φαίνεται αυτό υπάρχει μια εξήγηση. Η αλήθεια είναι ότι, αν χρησιμοποιήσουμε οξειδωτικό καταλύτη σε κινητήρα που καίει πετρέλαιο με μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο, δεν πρόκειται να μειώσουμε τη μάζα των εκπεμπόμενων στερεών σωματιδίων- το μόνο που θα κάνουμε είναι να αλλάξουμε τη χημική σύστασή τους.

Όντως, ο συγκεκριμένος αυτός καταλύτης αφαιρεί τους υδρογονάνθρακες που περιβάλλουν τα στερεά σωματίδια άνθρακα, μειώνοντας έτσι την συνολική μάζα των στερεών αυτού του είδους που αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα όμως οξειδώνει και το διοξείδιο του θείου, το οποίο σχηματίστηκε κατά την καύση- και το προϊόν αυτής της αντίδρασης είναι το τριοξείδιο του θείου (ή ανυδρίτης του θεικού



οξέος). Αυτό, όπως είναι φυσικό, απορροφά τους υδρατμούς των καυσαερίων και μετατρέπεται σε θειικό οξύ –το οποίο, με τη σειρά του, αντιδρά με ότι βρει μπροστά του, για να δημιουργήσει θειικές ενώσεις οι οποίες αποβάλλονται (υπό στερεά, συνήθως, μορφή) στην ατμόσφαιρα. Κι αυτός, ακριβώς, είναι και ο λόγος που οι κυβερνήσεις, πριν από την υιοθέτηση προδιαγραφών για τα καυσαέρια των πετρελαιοκινητήρων (τέτοιες που να απαιτούν τη χρήση οξειδωτικών καταλυτών), ορίζουν πρώτα αυστηρότερες προδιαγραφές για την περιεκτικότητα του πετρελαίου κίνησης σε θείο.

### **10.5 Αναγωγικοί καταλύτες SCR (Selective Catalytic Reduction):**

Οι αναγωγικοί καταλύτες στηρίζουν την λειτουργία τους στον εμπλουτισμό των καυσαερίων με μια αναγωγική ουσία η οποία οξειδώνεται (σχηματισμός διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>) απορροφώντας οξυγόνο από τα οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>, με αποτέλεσμα να εξέρχεται από την εξαγωγή αδρανές άζωτο N<sub>2</sub>. Η παρουσία του καταλύτη διασφαλίζει ότι αυτή η αντίδραση θα πραγματοποιηθεί σε όσο το δυνατόν πιο χαμηλή θερμοκρασία και με όσο το δυνατόν υψηλότερο ποσοστό διάσπασης των οξειδίων για την θερμοκρασία αυτή. Έτσι επιτυγχάνεται μέχρι στιγμής η μέγιστη δυνατή μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> από κάθε άλλη τεχνολογία που υπάρχει. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των καταλυτών SCR είναι ότι λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται (όπως προηγούμενα αναφέρθηκε) η παραγωγή σωματιδίων αιθάλης μειώθηκε. (Τα σωματίδια αιθάλης παράγονται κάτω από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, τόσο στο θάλαμο καύσης όσο και μετά από αυτόν).

### **10.6 Αναγωγικοί καταλύτες HC-SCR (HydroCarbon-Selective Catalytic Reduction):**

Η απλούστερη μορφή διάταξης καταλύτη SCR είναι αυτή του “Hydrocarbon-SCR” ή (HC-SCR), στο εσωτερικό του οποίου ψεκάζονται μικροποσότητες υδρογονανθράκων. Και από τη στιγμή που οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι τι ίδιο το πετρέλαιο που καταναλώνει ο κινητήρας, επιτυγχάνεται μια σημαντική μείωση της πολυπλοκότητας της εγκατάστασης, δεδομένου ότι δεν απαιτείται η παρουσία χωριστής δεξαμενής, μέσα στην οποία θα αποθηκεύεται το αναγωγικό μέσο. Στο σημείο αυτό παρατηρούμε μια ομοιότητα του καταλύτη HC-SCR με τον καταλύτη DeNO<sub>x</sub>, δεδομένου ότι και οι δυο απαιτούν την παρουσία υδρογονανθράκων στο εσωτερικό τους – η διαφορά βρίσκεται στο ότι ο DeNO<sub>x</sub> απαιτεί, από καιρού εις καιρόν, τη στιγμιαία παρουσία μιας μικροποσότητας υδρογονανθράκων προκειμένου να αναγεννήσει την επιφάνεια του, με τη διάσπαση των Νιτρωδών ενώσεων → την αποβολή του διοξειδίου του Αζώτου, και την αποκάλυψη “παρθένων” επιφανειών οξειδίου αλκαλικής γαίας, έτοιμων να δεσμεύσουν νέες ποσότητες διοξειδίου του Αζώτου.

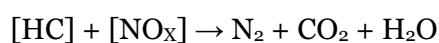
Αντίθετα γίνεται στη συσκευή HC- SCR, όπου η ροή των μικροποσοτήτων υδρογονάνθρακα είναι συνεχής, με ρυθμό ανάλογο της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε οξείδια του αζώτου. Από άποψη οικονομίας καυσίμου, θα μπορούσε να σημειωθεί ότι είναι κάπως οικονομικοί καθώς οι ποσότητες υδρογονανθράκων που ψεκάζονται στον καταλύτη είναι ίσες με τις ποσότητες καυσίμου που εξοικονομούνται από τον κινητήρα, κατά τη λειτουργία του. Όσο αφορά, τελικά την

αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου αναγωγικού μέσου, δεν είναι και ότι καλύτερο, από την άποψη ότι σε κινητήρες μεγάλων αποδόσεων δεν έχει μεγάλη απόδοση.

### **Τα υπέρ και τα κατά του καταλύτη HC-SCR:**

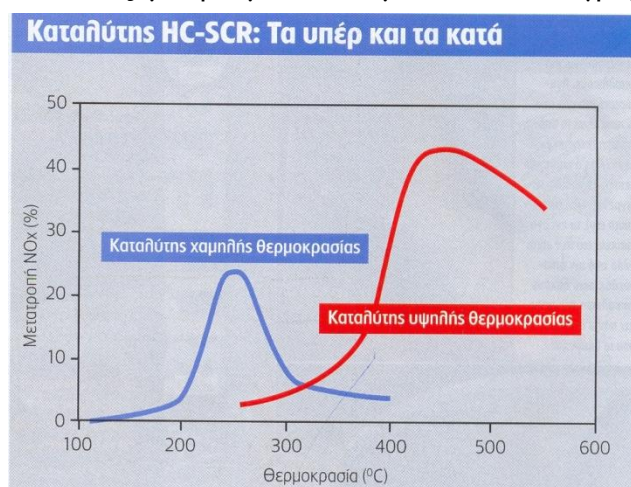
Με την υιοθέτηση της τεχνολογίας “Hydrocarbon-SCR”, χρησιμοποιούνται οι υδρογονάνθρακες, ως αναγωγικό μέσο και με τη βοήθεια του κατάλληλου καταλύτη, επιτυγχάνεται μία σημαντική μείωση των NO<sub>x</sub> χωρίς να απαιτείται από τον χρήστη να ανεφοδιάζεται με AdBlue, όπως συμβαίνει με τη διάταξη “Urea-SCR”. Τους υδρογονάνθρακες αυτούς τους παρέχει είτε ο ίδιος ο κινητήρας, κατά τη λειτουργία του με υψηλό φορτίο, είτε ένα πρόσθετο ακροφύσιο ψεκασμού, τοποθετημένο μπροστά από τον καταλύτη HC-SCR, το οποίο εμπλουτίζει με καύσιμο τα καυσαέρια που κατευθύνονται προς το εσωτερικό του.

Η γενική μορφή της χημικής αντίδρασης που πραγματοποιείται μέσα στη μονάδα HC-SCR, είναι:



Φυσικά η απόδοση αυτού του συστήματος είναι αισθητά χαμηλότερη από την αντίστοιχη της ουρίας και αυτός είναι ο λόγος που κατά κανόνα απαιτείται να υπάρχει ένας καταλύτης “Lean-DeNO<sub>x</sub>” για να μειώνει τα οξειδία αζώτου για όσο διάστημα ο κινητήρας λειτουργεί με φτωχό μίγμα.

Όπως μπορούμε να δούμε και στο διάγραμμα, υπάρχουν δύο ειδών καταλύτες



που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία συσκευή HC-SCR, εκ των οποίων ο πρώτος μεγιστοποιεί την απόδοση του σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, απαιτώντας και μια αντίστοιχα χαμηλή θερμοκρασία καυσαερίων. Όπως όμως μπορούμε να δούμε, ο καταλύτης αυτός δεν είναι σε θέση να διασπάσει ποσοστό μεγαλύτερο του 25% των NO<sub>x</sub> με τα οποία έρχεται σε επαφή. Από την άλλη, ο καταλύτης υψηλής

θερμοκρασίας μπορεί να φτάσει σε απόδοση πάνω από 40% αλλά με θερμοκρασία λειτουργίας αρκετά υψηλότερη των 400°C, γεγονός που απαιτεί μια αυξημένη διάρκεια λειτουργίας του ακροφυσίου ψεκασμού, μέχρι ο καταλύτης να αναπτύξει την επιθυμητή θερμοκρασία.

### **10.7 Καταλύτες UREA-SCR και διάλυμα AdBlue:**

Οι καταλύτες αυτού του είδους βασίζονται στον εμπλουτισμό των καυσαερίων με αμμωνία και επιτρέπουν τη μεγιστοποίηση των πιέσεων λειτουργίας των πετρελαιοκινητήρων. Βέβαια όσο πιο μεγάλες πιέσεις αναπτύσσονται στους θαλάμους καύσης τόσο πιο μεγάλες θερμοκρασίες αναπτύσσονται, συνθήκες οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη των οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub>. Το πλεονέκτημα του καταλύτη SCR είναι ότι μπορεί να διασπάσει απεριόριστες ποσότητες NO<sub>x</sub> σε ποσοστό 70-85% της

περιεκτικότητας τους στα καυσαέρια. Όμως στους πετρελαιοκινητήρες των σύγχρονων οχημάτων πρέπει να ξεπεραστούν δυο προβλήματα εφαρμογής αυτού του αναγωγικού μέσου.

-Το πρόβλημα της θερμοκρασίας άμεσης αναγωγής (η θερμοκρασία στην οποία η αποδέσμευση του οξυγόνου από τα  $\text{NO}_x$  γίνεται άμεσα χωρίς την παρουσία κάποιου καταλύτη). Αυτή η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 900-1100 °C. Στους πετρελαιοκινητήρες των οχημάτων η μέση θερμοκρασία των καυσαερίων είναι γύρω στους 300 °C, πράγμα που σημαίνει την ύπαρξη κάποιου καταλύτη που “βοηθά” στο να επιτελεστεί η διαδικασία κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες

-Το πρόβλημα της μεταφοράς της αμμωνίας για τη λειτουργία του καταλύτη, λόγω προβλημάτων κακοσμίας και έντονης εξάτμισης που παρουσιάζει ακόμα και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Για το λόγο αυτό προτάθηκε η εναλλακτική λύση της ουρίας. Η ουρία είναι μια αδρανής και αβλαβής κρυσταλλική ένωση, της οποίας κύριο χαρακτηριστικό είναι το ότι, όταν έρχεται σε επαφή με τους θερμούς υδρατμούς των καυσαερίων, μετασχηματίζεται σε αμμωνία και διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$ . Στη συνέχεια η αμμωνία αντιδρά με τα οξειδία του αζώτου μέσα στον καταλύτη SCR και αναλώνεται πλήρως, δίχως διαρροή προς το περιβάλλον με τα καυσαέρια. Απαραίτητη προϋπόθεση την εκάστοτε επακριβή δοσολογία της!!

Η προώθηση της ουρίας γίνεται με την εμπορική ονομασία **AdBlue** και είναι ένα διάλυμα 35% καθαρής ουρίας και το υπόλοιπο 65% είναι απιονισμένο νερό. Το κόστος του είναι πιο μικρό συγκριτικά με το πετρέλαιο κίνησης και η κατανάλωση του στον καταλύτη είναι 4% της κατανάλωσης του πετρελαίου. Το πλεονέκτημα ενός καταλύτη με ουρία UREA-SCR είναι ότι μπορεί να αυξηθεί σε ακραίες τιμές ο βαθμός απόδοσης του πετρελαιοκινητήρα με καθαρό κέρδος την αύξηση των χαρακτηριστικών του όπως, ροπή και ισχύς δίχως την υπέρβαση των νομοθετημένων ορίων όσο αφορά τα οξειδία του αζώτου  $\text{NO}_x$ .

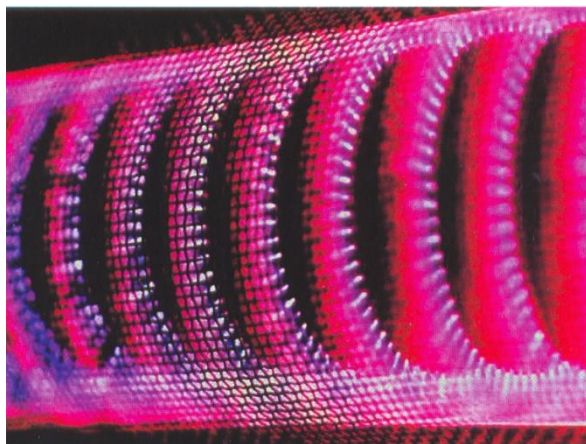
### **10.8 Καταλύτες DeNO<sub>x</sub> Υδρογόνου:**

Στους καταλύτες DeNO<sub>x</sub> Υδρογόνου χρησιμοποιούν ως αναγωγικό μέσο το υδρογόνο, το οποίο είναι αποτελεσματικότερο από τους υδρογονάνθρακες και δεν απαιτεί χωριστή αποθήκευση όπως η αμμωνία ή η ουρία. Η παραγωγή του υδρογόνου θα γίνεται με τη διάσπαση των υδρογονανθράκων του βασικού καυσίμου μέσα σε μια συσκευή αναμόρφωσης καυσίμου.

### **10.9 Non –Thermal-Plasma:**

Η ιδέα της προσφυγής στην τεχνολογία Non –Thermal-Plasma (NTP) για τον καθαρισμό των καυσαερίων των πετρελαιοκινητήρων, απασχολεί τους ερευνητές εδώ και πολλά χρόνια. Στην εικόνα 10.9.1, απεικονίζεται το NTP με το οποίο η Siemens πειραματίστηκε, για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, στα τέλη της δεκαετίας του '90. Πρόκειται για μια συσκευή, στο εσωτερικό της οποίας δημιουργείτε ένα ισχυρό ηλεκτροστατικό πεδίο, χωρίς να θερμαίνεται το αέριο που βρίσκεται στο εσωτερικό του (Κάτι ανάλογο με το να εξαναγκάσουμε τα καυσαέρια να περάσουν από το εσωτερικό μίας λάμπας ψυχρού φωτισμού!). Το πεδίο απομακρύνει τα ηλεκτρόνια από τους πυρήνες των μορίων, δημιουργώντας ελεύθερες ρίζες οι οποίες “επιτίθεντα”

στους ρύπους και τους εξουδετερώνουν . Έντονη είναι όμως και η παραγωγή διοξειδίου του αζώτου, το οποίο “καίει” τους άκαυστους υδρογονάνθρακες και ενεργοποιεί την ανάφλεξη της αιθάλης μέσα στην καπνοπαγίδα. Στα μειονεκτήματα του NTP συγκαταλέγεται και η ανάγκη χρήσης από τον κινητήρα απολύτως καθαρού (από θείο) πετρέλαιο (για την αποφυγή περιπλοκών με τα οξειδία του θείου), αλλά και οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία του.



Εικόνα 10.9.1: NTP

### **10.10 Χρονοπαγίδες:**

Παρά το γεγονός ότι, με τη βοήθεια των καταλυτών, οι επιθυμητές αντιδράσεις επιτυγχάνονται σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες, εντούτοις υπάρχουν περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία των καυσαερίων πέφτει σε επίπεδα χαμηλότερα από το ελάχιστο αναγκαίο όπως, για παράδειγμα, όταν ο κινητήρας παίρνει μπροστά (και μέχρι ο καταλύτης να αποκτήσει την κατάλληλη θερμοκρασία) ή όταν λειτουργεί παρατεταμένα στο ρελαντί, με αποτέλεσμα ο καταλύτης να «κρυώσει». Η παγίδα υδρογονανθράκων (HC-Trap) είναι μια σχετικά πρόσφατη επινόηση η οποία υπόσχεται να λύσει, στο μέτρο του δυνατού, τα προβλήματα αυτού του είδους. Πρόκειται για μια πορώδη, διαπερατή, μονολιθική κατασκευή (από ζεόλιθο), τοποθετημένη μπροστά από τον οξειδωτικό καταλύτη. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η ικανότητα της να απορροφά επιφανειακά τους άκαυτους υδρογονάνθρακες των καυσαερίων (φάση adsorption) όταν η θερμοκρασία της είναι χαμηλότερη από ένα κρίσιμο επίπεδο. Στη συνέχεια, όταν η θερμοκρασία της ανέβει πάνω από ένα επίπεδο (όταν δηλαδή ο κινητήρας λειτουργήσει με μεγάλο φορτίο) η απορροφητική επιφάνεια αρχίζει να «αποβάλλει» αυτούς τους υδρογονάνθρακες (φάση desorption), επιτρέποντας τους να αναμιχθούν με τα καυσαέρια που οδεύουν προς τον (ανάλογα υψηλής θερμοκρασίας) οξειδωτικό καταλύτη, όπου και καίγονται. Με τον τρόπο αυτόν, γίνεται ένα «παιχνίδι με τον χρόνο», για όσο διάστημα ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί- το τελικό αποτέλεσμα αυτού του παιχνιδιού είναι να μην εκπέμπονται από την εξάτμιση άκαυτοι υδρογονάνθρακες και δυσάρεστες οσμές, ακόμα κι όταν η θερμοκρασία του καταλύτη είναι τόσο χαμηλή ώστε να τον καθιστά προσωρινά ανενεργό.

Φυσικά, η διάρκεια «ωφέλιμης λειτουργίας» της παγίδας υδρογονανθράκων είναι περιορισμένη και καθορίζεται από το μέγεθος του πορώδους ζεόλιθου και, κατά συνέπεια, από τη συνολική εκτεθειμένη επιφάνεια των διόδων του. Έτσι, από τη στιγμή που η διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα στο ρελαντί (ή υπό καθεστώς μικρού

φορτίου) είναι μεγαλύτερη από ένα όριο, η επιφάνεια της παγίδας υδρογονανθράκων θα κορεστεί, αφήνοντας να διέρχονται ανεμπόδιστα οι «επόμενοι» υδρογονάνθρακες. Και όπως είναι προφανές, από τη στιγμή που αυτοί θα περάσουν μέσα από έναν «κρύο» (και ανενεργό) οξειδωτικό καταλύτη, θα καταλήξουν ανέπαφοι στην ατμόσφαιρα.

Αξίζει, στο σημείο αυτό, να αναφερθεί ότι το “HC-Trap” μπορούμε να το συναντήσουμε και σε βενζινοκινητήρες. Στην περίπτωση αυτή, ο ρόλος του είναι να δεσμεύει προσωρινά τους υδρογονάνθρακες όταν κινητήρας λειτουργεί με πλούσια μίγματα και κρύο καταλύτη.

Πάνω σε παραπλήσια αρχή με την παγίδα υδρογονανθράκων λειτουργεί και μια άλλη «χρονοπαγίδα», γνωστή ως «οξειδωτικό φίλτρο σωματιδίων» (Oxidation filter). Στην περίπτωση αυτή, η εκτεθειμένη επιφάνεια διόδων σχηματίζεται από ένα κυματοειδές ατσάλινο έλασμα, τυλιγμένο γύρω από τον εαυτό του, θυμίζοντας αντίστοιχη διάταξη που συναντάμε στους «μεταλλικούς» καταλύτες – η διάφορα είναι ότι, εδώ, το μέταλλο είναι μεν γυμνό, αλλά με τέτοιο τρόπο διαμορφωμένο ώστε να εξαναγκάζει τα καυσαέρια να διέρχονται από ένα στρώμα «χνουδωτού», μεταλλικού fleece. Τα ανθρακώδη σωματίδια προσκολλώνται προσωρινά πάνω στο χνουδι, όπου και παραμένουν για ικανό χρονικό διάστημα, μέχρι να οξειδωθούν. Στην περίπτωση αυτή, το οξυγόνο προέρχεται από το διερχόμενο διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) το οποίο, όταν συναντά τον άνθρακα, απελευθερώνει (ανά μόριο) ένα άτομο οξυγόνου, αναγόμενο προς μονοξείδιο του αζώτου (NO).

Οι δυο αυτές «χρονοπαγίδες» (υδρογονανθράκων και σωματιδίων) που περιγράψαμε, δεν απαιτούν κάποια άλλη υποδομή (π.χ. συνεργασία με την ψηφιακή μονάδα του κινητήρα) για να λειτουργήσουν. Αυτός είναι ο λόγος που, στις περισσότερες περιπτώσεις, συνιστώνται ως πρόχειρες λύσεις (aftermarket ή bolt-on) οι οποίες, παρά την απλότητα τους, έχουν να επιδείξουν αρκετά καλά αποτελέσματα.

Η τεχνολογία έχει αναπτύξει «χρονοπαγίδες» και για τα οξείδια του αζώτου μόνο που, στη περίπτωση αυτή, τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όπως τα περιγράψαμε, καθώς η λειτουργία των συσκευών αυτών προβλέπει τη στενή «συνεργασία» τους, σε πραγματικό χρόνο, με το σύστημα έλεγχου του κινητήρα.

Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε κάτι ανάλογο με τριοδικό καταλύτη, αλλά, απαιτεί στοιχειομετρικό μίγμα για να λειτουργήσει. Και στην περίπτωση του πετρελαιοκινητήρα, το στοιχειομετρικό μίγμα είναι ό,τι πιο σπάνιο μπορεί να συναντήσει κανείς, σε όλο το εύρος λειτουργίας του! Αντίθετα, τα πτωχά μίγματα είναι εκείνα που αφθονούν- και μαζί τους, τα οξείδια του αζώτου.

Το πρόβλημα με την λειτουργία των καταλυτών, στην περίπτωση των πετρελαιομηχανών, ξεκινά από το γεγονός ότι όσο πιο μικρό είναι το φορτίο του κινητήρα, τόσο πιο «κρύα» είναι τα καυσαέρια που παράγει και μάλιστα τόσο «κρύα», που να μην είναι σε θέση να ενεργοποιήσουν τις διεργασίες στο εσωτερικό ενός αναγωγικού καταλύτη. Ταυτόχρονα παρά το γεγονός ότι το φορτίο είναι μικρό, η παραγωγή οξειδίων του αζώτου συνεχίζεται αδιάλειπτη. Αν στο σημείο αυτό σκεφτεί κανείς ότι θα ήταν χρήσιμο, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας υπό χαμηλό φορτίο, να διαχωρίζουμε τα οξείδια του αζώτου και να τα αποθηκεύουμε μέχρι να έρθουν καλύτερες μέρες, έχει πέσει μέσα! Από εκεί και πέρα, δεν θα έχουμε παρά να περιμένουμε να αρχίσει ο κινητήρας, κάποια στιγμή, να λειτουργεί υπό υψηλό φορτίο (και με ζεστό καταλύτη) για να επανεισάγουμε στην εξάτμιση τα αποθηκευμένα οξείδια, για τα περαιτέρω.

Η χρονοπαγίδα των οξειδίων του αζώτου ονομάζεται «NO<sub>x</sub> adsorder» και, στην ουσία, πρόκειται για μια «χημική αποθήκη», μέσα στην οποία τα οξείδια παραμένουν δεσμευμένα μέχρι η θερμοκρασία να ανέβει σε επιθυμητά επίπεδα. Πάνω στην ίδια αρχή λειτουργίας βασίζονται και οι καταλύτες «πτωχού μίγματος» (lean DeNO<sub>x</sub>).

Το πρώτο μέρος του NO<sub>x</sub> Trap είναι ένας τυπικός οξειδωτικός καταλύτης (π.χ. λευκόχρυσος απλωμένος πάνω στις επιφάνειες πολλαπλών παράλληλων διόδων), του οποίου προορισμός είναι να μετατρέπει το μονοξείδιο του αζώτου σε διοξείδιο, δεσμεύοντας μέρος του οξυγόνου που αφθονεί στα καυσαέρια εκείνα που προέρχονται από καύση πτωχών μιγμάτων. Στη συνέχεια ακολουθεί το κύριο μέρος της παγίδας, το οποίο αποτελείται από επιφάνειες επιστρωμένες με οξείδιο του βαρίου. Η επαφή του οξειδίου του αζώτου με το οξείδιο του βαρίου έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό νιτρικού βαρίου το οποίο παραμένει «αγκιστρωμένο» πάνω στα τοιχώματα της παγίδας. Είναι προφανές ότι η επιφάνεια της παγίδας θα συνεχίζει να δεσμεύει το διερχόμενο διοξείδιο του αζώτου για όσο διάστημα θα εξακολουθούν να υπάρχουν Μοριακά οξείδιου του βαρίου εκτεθειμένα στη ροή των καυσαερίων κάτι που δεν μπορεί να διαρκέσει επ' άπειρον, δεδομένου ότι, από μια στιγμή και μετά, ολόκληρη η διαθέσιμη επιφάνεια οξειδίου βαρίου θα έχει μετατραπεί σε νιτρικό βάριο.

Λίγο πριν φτάσει η στιγμή του «χημικού κορεσμού» της επιφάνειας της παγίδας, γίνεται μια προγραμματισμένη έγχυση υδρογονανθράκων η οποία έχει διάρκεια ενός ή δυο δευτερόλεπτων, το πολύ. Η ποσότητα των υδρογονανθράκων είναι τέτοια ώστε το μίγμα καυσαερίων που θα δημιουργηθεί να είναι, κατά προσέγγιση στοιχειομετρικό.

Η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, μετά την έγχυση και καύση των υδρογονανθράκων, έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση των νιτρικών ενώσεων της επιφάνειας της παγίδας και την απελευθέρωση, εκ νέου, του διοξειδίου του αζώτου. Αμέσως όμως μετά την παγίδα, υπάρχει ένας συμβατικός τριοδικός καταλύτης ο οποίος αναλαμβάνει, υπό ευνοϊκές, πλέον συνθήκες στοιχειομετρικού μίγματος, τη διαχείριση του οξειδίου του αζώτου και οξυγόνου.

Εξυπακούεται ότι οι καταλύτες αυτού του είδους έχουν μια σχετικά περιορισμένη δυναμικότητα όσον αφορά τις ποσότητες οξειδίων του αζώτου που μπορούν να διασπάσουν για αυτό το λόγο ο ρόλος τους είναι, κατά βάση, επικουρικός.

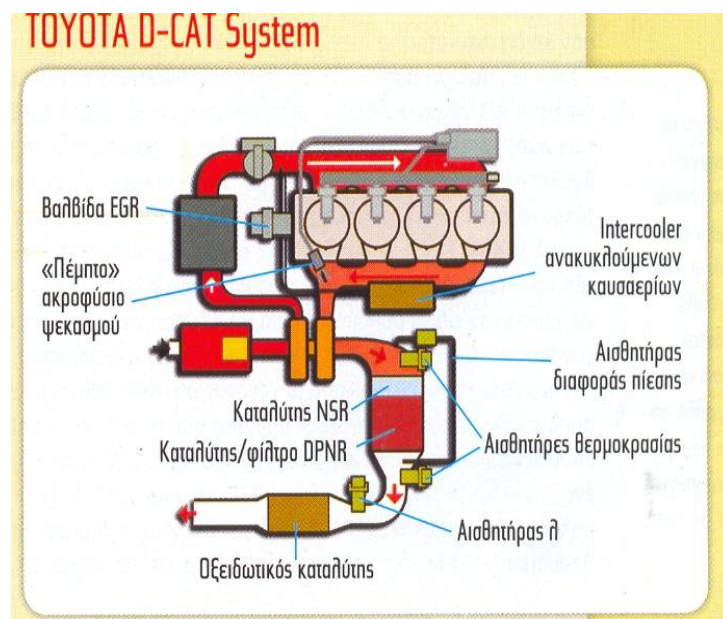
Αυτή είναι και η αιτία που, στην περίπτωση που δεν υπάρχει μια επόμενη, υψηλότερης απόδοσης, βαθμίδα διαχείρισης των καυσαερίων, οι κατασκευαστές προτιμούν τις «ήπιες» ρυθμίσεις του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτόν, αποφεύγεται η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης και η παραγωγή οξειδίων του αζώτου σε ποσότητες τέτοιες που δεν θα μπορούσε, στη συνέχεια, να διασπάσει πλήρως το ήδη υπάρχον σύστημα εξευγενισμού των καυσαερίων. Το τίμημα αυτής της «απλοποίησης» είναι μια πτώση του συντελεστή απόδοσης η οποία, έστω κι αν δεν ξεπερνά το 4%, δεν παύει να είναι υπολογίσιμη.

### **10.11 TOYOTA SYSTEM DPNR:**

Το σύστημα DPNR το "φοράει η TOYOTA στον κινητήρα 2,2 λίτρων που κινεί το Avensis D-4D 180. Στο συγκεκριμένο σύνολο η εταιρία είχε να αντιμετωπίσει όλες εκείνες τις συνθήκες υπό τις οποίες παράγονται σε μεγάλες ποσότητες NO<sub>x</sub> και σωματίδια άνθρακα, όπως υψηλός βαθμός υπερπλήρωσης άρα μεγάλες πιέσεις και

θερμοκρασίες στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης, όταν ο κινητήρας δουλεύει με μεγάλο φορτίο (τέρμα γκάζι). Έτσι για να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα η εταιρία κατασκεύασε ένα πρωτότυπο τετραδικό καταλύτη, ο οποίος ταυτόχρονα διαχειρίζεται 4 ρύπους:

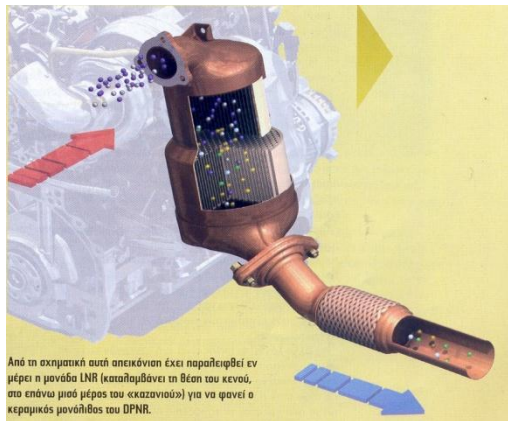
- Οξείδια του αζώτου  $\text{NO}_x$
- Υδρογονάνθρακες HC
- Μονοξείδιο του άνθρακα CO
- Σωματίδια αιθάλης



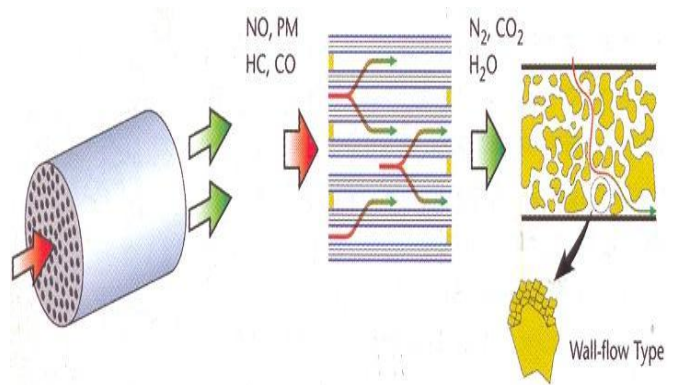
Εικόνα 10.8.1: TOYOTA D-CAT System

Η πρωτοτυπία του ξεκινά από το γεγονός ότι, σε αντίθεση με τις συμβατικές διατάξεις μπροστά από το φίλτρο σωματιδίων δεν βρίσκεται ένας οξειδωτικός καταλύτης αλλά ένας καταλύτης LNT (Lean  $\text{NO}_x$  Trap) τον οποίο η Toyota αποκαλεί NSR (NO<sub>x</sub> Storage and Reduction). Μια δεύτερη πρωτοτυπία, σχετική με την πρώτη είναι ότι ο οξειδωτικός καταλύτης, αντί να βρίσκεται πρώτος στη σειρά βρίσκεται τελευταίος (όσον αφορά τη διαδοχή των μερών στο σύστημα) και μάλιστα απομακρυσμένος πριν από το καζάνι του σιγαστήρα. Προορισμός του είναι να οξειδώνει τους υδρογονάνθρακες από το κυρίως σύστημα που προηγείται αλλά και να διασφαλίζει ότι δεν θα περνά μονοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, όταν καίγονται οι κόκκοι αιθάλης που παγιδεύονται στο φίλτρο.

Η Κυρίως Πρωτοτυπία είναι σε αυτό που αποκαλείται φίλτρο και βρίσκεται στην ίδια μονάδα με το NSR και ακριβώς πίσω από αυτό. Το όνομα αυτού DPNR (Diesel Particulate –Nox Reduction) χονδρικά Μονάδα Αναγωγής Οξειδίων Αζώτου μέσω Σωματιδίων Άνθρακα. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά πορώδες κεραμικό μονόλιθο, παραπλήσιας μορφής με αυτόν των συμβατικών φίλτρων αιθάλης. Η διαφορά τους βρίσκεται στο ότι οι κύριες δίοδοι του αλλά και τα πορώδη περάσματα που τις συνδέουν είναι επικαλυμμένα με καταλυτικό υλικό, το οποίο επίσης λειτουργεί ως αναγωγική αποθήκη οξειδίων του αζώτου, αυτή τη φορά όμως σε επαφή με τα μόρια της αιθάλης.



Από τη σχηματικά αυτή απεικόνιση έχει παραχρηστεί εν μέρει η μονάδα LNR (καταλαμβάνει τη θέση του κενού, στο επάνω μισό μέρος του «καζανισού») για να φανεί ο κεραμικός μονόλιθος του DPNR.

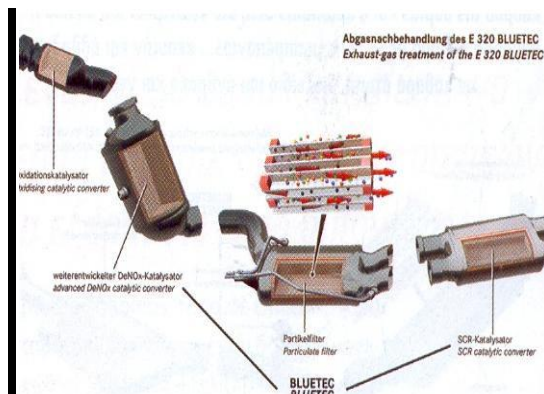
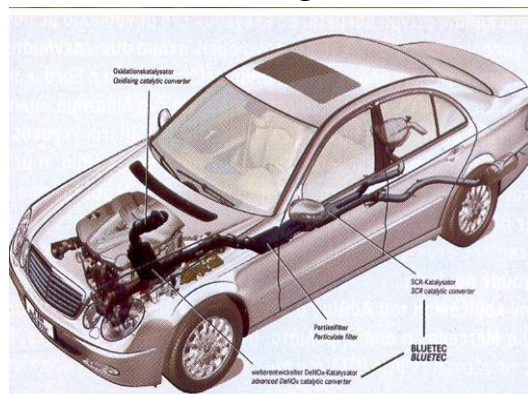


Εικόνες 10.8.2α,β: φίλτρο DPNR

Όσο ο κινητήρας λειτουργεί με πτωχό μίγμα, το οξειδωτικό μέρος του καταλύτη της μονάδας NSR εξαναγκάζει το NO να προσλάβει οξυγόνο από τα καυσαέρια, να οξειδωθεί προς NO<sub>2</sub> και να αποθηκευθεί χημικά στην επιφάνεια οξειδίου του βαρίου. Όταν προς στιγμή το πέμπτο μπεκ δημιουργήσει πλούσιο μίγμα στα καυσαέρια, το NO<sub>2</sub> απελευθερώνεται και αντιδρά με τους υδρογονάνθρακες και το CO, σχηματίζοντας CO<sub>2</sub> και μετατρέπόμενο το ίδιο σε άζωτο. Ταυτόχρονα, το οξυγόνο που απελευθερώνεται από τον ίδιο τον καταλύτη του DPNR (και το οποίο προήλθε αρχικά από την αναγωγή των NO<sub>x</sub>) οξειδώνει τον άνθρακα της παγιδευμένης αιθάλης, δημιουργώντας CO το οποίο με τη σειρά του αντιδρά με τα οξείδια του αζώτου απελευθερώνοντας το άζωτο και μετατρέπόμενο το ίδιο σε αβλαβές CO<sub>2</sub>. Όταν ξαναρχίσει ο κινητήρας να λειτουργεί με πτωχό μίγμα, η μονάδα NSR ξαναρχίζει τη “συλλογή οξειδίων του αζώτου”, ο καταλύτης όμως του DPNR συνεχίζει να αποδίδει ενεργά άτομα οξυγόνου, τα οποία αντιδρούν με τους κόκκους του άνθρακα, θερμαίνοντας τους (και παράγοντας CO) για να έρθει στη συνέχεια το οξυγόνο των καυσαερίων για να τα αποτελειώσει.

Με άλλα λόγια το DPNR είναι ένα ενεργό φίλτρο το οποίο σε αντίθεση με τα άλλα, έχει την ικανότητα να οξειδώνει τα μόρια του άνθρακα τόσο όταν ο κινητήρας λειτουργεί με πτωχό μίγμα όσο και όταν τα καυσαέρια που φθάνουν σε αυτό προέρχονται από ένα πλούσιο μίγμα.

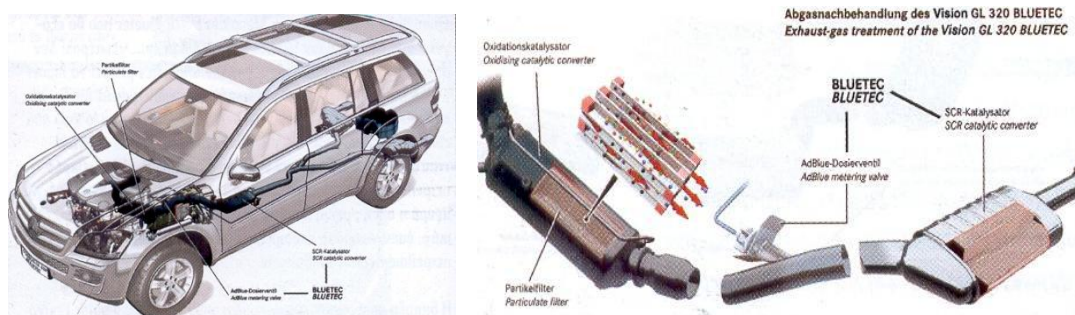
### 10.12 Mercedes E 320 HC-SCR:





Η διάταξη επεξεργασίας των καυσαερίων της E 320 ξεκινά με έναν οξειδωτικό καταλύτη. Αυτός με τη σειρά του τροφοδοτεί με (καθαρά από υδρογονάνθρακες, αλλά εμπλουτισμένα με NO<sub>2</sub>) καυσαέρια τον καταλύτη DeNO<sub>x</sub>, ο οποίος αποθηκεύει τα οξείδια του αζώτου για όσο διάστημα ο κινητήρας λειτουργεί με φτωχό μίγμα. Όταν δοθεί εντολή αναγέννησης του καταλύτη DeNO<sub>x</sub>, ο κινητήρας δημιουργεί θερμά καυσαέρια (με στιγμιαίο εμπλουτισμό) τα οποία αποσπούν τα NO<sub>x</sub> και τα διοχετεύουν, μέσω της παγίδας αιθάλης, στον καταλύτη HC-SCR, ο οποίος τροφοδοτείται από ένα μπέκ, με μικροποσότητες πετρελαίου, σε μορφή ομίχλης. Εκεί τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με τους υδρογονάνθρακες και ανάγονται, μετατρέπόμενα σε καθαρό άζωτο. Στην εικόνα βλέπουμε τις δύο γραμμές καυσίμου που καταλήγουν στην καπνοπαγίδα. Από αυτές η πρώτη τροφοδοτεί την είσοδο της με καύσιμο (μόνο κατά τη διαδικασία αναγέννησης της), ενώ η δεύτερη είναι αυτή που εμπλουτίζει με αναγωγικό μέσο (δηλαδή πετρέλαιο, αντί για την αμμωνία του συστήματος “Urea-SCR”) τη ροή των καυσαερίων που κατευθύνονται προς τη μονάδα HC-SCR.

### **10.13 Mercedes Vision GL 320 Bluetec:**



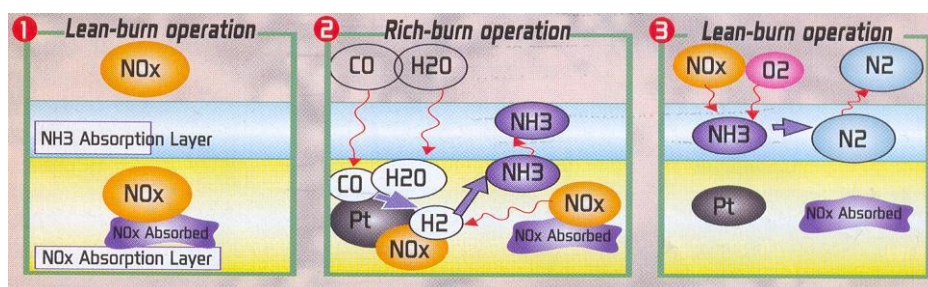
Το πειραματικό Vision GL 320 Bluetec , βασίζει τη λειτουργία του στην τροφοδοσία με ουρία (απαιτώντας ένα πρόσθετο ανεφοδιασμό), αλλά από την άλλη, είναι σε θέση να διαχειριστεί πολύ μεγαλύτερες ποσότητες NO<sub>x</sub> από οποιοδήποτε άλλο σύστημα, λύνοντας έτσι τα χέρια των μηχανικών σε ότι αφορά τη μέγιστη απόδοση του κινητήρα. Επιπλέον είναι πολύ φθηνότερο στην κατασκευή του από το “DeNox Bluetec” (σαν αυτό της E 320) καθώς δεν απαιτεί την παρουσία ενός δαπανηρού αποθηκευτικού καταλύτη NO<sub>x</sub>, κατά τη λειτουργία του κινητήρα με φτωχό μίγμα. Και παρά το γεγονός ότι συνοδεύεται από μια πολύπλοκη υποδομή (δοχείο ουρίας, ψηφιακή μονάδα ελέγχου, δοσιμετρική αντλία, ακροφύσιο), το συνολικό κόστος του δεν ξεπερνά το 60-70% του “DeNox Bluetec”.

Τα τρία κύρια εξαρτήματα του Bluetec: ένας οξειδωτικός καταλύτης, ενσωματωμένος στο φίλτρο αιθάλης, το ακροφύσιο ψεκασμού της ουρίας και ο καταλύτης SCR, στο εσωτερικό του οποίου η αμμωνία αντιδρά με τα NO<sub>x</sub>, μετατρέποντας την σε καθαρό άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

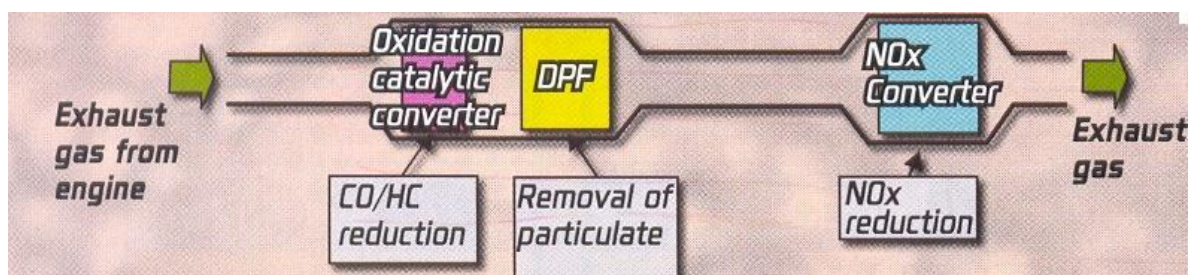
### 10.14 Μια προσέγγιση από τη honda:

Η χρήση αμμωνίας ,ως αναγωγικού μέσου, είναι ο αποτελεσματικότερος - μέχρι στιγμής -τρόπος διάσπασης (και μετατροπής σε άζωτο και υδρατμούς) των οξειδίων του αζώτου, στην εξάτμιση ενός κινητήρα του οποίου οι παράμετροι λειτουργίας έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να μεγιστοποιούν την απόδοση (άρα και την οικονομία ) όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό μερικό φορτίο ,παράγοντας <<κρύα>> καυσαέρια. Τι γίνεται όμως όταν το κοινό δεν επιθυμεί την πολυπλοκότητα και τον ανεφοδιασμό των συστημάτων ουρίας.

Η απάντηση από τη Honda είναι ένας καταλύτης ο οποίος θα αξιοποιεί τα οξείδια αζώτου , προκειμένου να <<παρασκευάζει>> επιτόπου , όση αμμωνία χρειάζεται , ανάλογα με τις διακυμάνσεις του φορτίου.



Όλο το μυστικό βρίσκεται στην δημιουργία μιας καταλυτικής επιφάνειας η οποία αποτελείτε από δύο στοιβάδες , καθεμιά με διαφορετικό προορισμό. Η εξωτερική επιφάνεια είναι ένα στρώμα το οποίο απορροφά , επιφανειακά, την αμμωνία, έτσι ώστε αυτή να είναι εκτεθειμένη στα (υψηλής περιεκτικότητας σε NO<sub>x</sub> και O<sub>2</sub> ) καυσαέρια του κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί με φτωχό μίγμα. Η εσωτερική επιφάνεια αποτελείτε από ένα "NO<sub>x</sub> Absorber", σε συνδυασμό με μια καταλυτική επίστρωση πλατίνας η οποία "ενεργοποιείτε" όταν ο κινητήρας λειτουργεί με πλούσιο μίγμα (και κατά συνέπεια παράγει υψηλής θερμοκρασίας προϊόντα ατελούς καύσης) για να συνθέσει αμμωνία. Σύμφωνα με όσα είπαμε η αμμωνία αυτή "αποθηκεύεται" στην εξωτερική στιβάδα του καταλύτη έτοιμη να αξιοποιηθεί όταν ο κινητήρας θα αρχίσει να λειτουργεί ξανά με φτωχό μίγμα.



Ο καταλύτης αυτός προορίζετε για τον κινητήρα 2.2i-CTDi, ο οποίος διαθέτει ένα πολύ πιο ενεργό (από τον προκάτοχό του) σύστημα EGR και καύση PCCI στα μικρά φορτία.

Τα αρχικά PCCI σημαίνουν "Premixed Charge Compression Ignition"δηλαδή προψεκασμός που γίνεται απευθείας μέσα στον κύλινδρο , ο ψεκασμός αυτός γίνεται κατά την διάρκεια του χρόνου της συμπίεσης (με τον συμπιεζόμενο αέρα να είναι "αραιωμένος" με μεγάλη ποσότητα ανακυκλωμένων ψυχρών καυσαερίων) και σε χρονική στιγμή κατά την οποία το έμβολο θα απέχει αρκετά από το ΑΝΣ ,ώστε να μπορέσει το καύσιμο να δημιουργήσει ομογενοποιημένο πτωχό μίγμα πριν αυτό

αναφλεγεί από τον κύριο ψεκασμό. Το είδος αυτής της λειτουργίας έχει σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας καύσης (άρα και την “αναστολή” σχηματισμού οξειδίων του αζώτου) όταν το φορτίο είναι τόσο χαμηλό ώστε ο καταλύτης DeNOx να μην μπορεί να αναπτύξει τη θερμοκρασία εκείνη που θα διασφαλίσει ικανοποιητική διαχείριση των οξειδίων του αζώτου. Αυτή η τεχνολογία έχει ως αποτέλεσμα σχεδόν την εκμηδένιση της παραγωγής NOx και αιθάλης, στα πολύ ελαφρά φορτία.

Όλα αυτά όμως με την προϋπόθεση να έχουμε κατάλληλη δέσμη ψεκασμού, δηλαδή, το σχήμα της δέσμης πρέπει να είναι στενότερο από αυτή του κανονικού ψεκασμού, ώστε να αποφευχθεί η προσκόλληση μέρους του καυσίμου στα τοιχώματα του κυλίνδρου με αποτέλεσμα δημιουργία προϊόντων ατελούς καύσης. Επίσης εκτός ότι το καύσιμό μας πρέπει να είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, πρέπει να έχει και συγκεκριμένο αριθμό κετανίων.

Την λύση στον αριθμό κετανίων έρχεται να δώσει ένας αισθητήρας πίεσης, τοποθετημένος μέσα στον θάλαμο καύσης όπου μαζί με το κατάλληλο λογισμικό θα υπολογίζει τον αριθμό κετανίων, και ανάλογα θα αναπροσαρμόζει τις παραμέτρους λειτουργίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : Συμπεράσματα**

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων σήμερα, προσφέρουν σχεδόν όλα τους τα αυτοκίνητα εφοδιασμένα και με πετρελαιοκινητήρες. Για ένα μεγάλο αριθμό κατόχων αυτοκινήτων, ο πετρελαιοκινητήρας είναι πολύ πιο οικονομικός από το βενζινοκινητήρα, γιατί η κατανάλωση καυσίμου είναι πάνω από 30% μικρότερη όταν χρησιμοποιείται diesel σε σχέση με τη βενζίνη. Τα πλεονεκτήματα του diesel περιλαμβάνουν, επίσης, περίπου 25% λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> καθώς και περίπου 50% μεγαλύτερη ροπή.



### **Diesel ή Βενζίνη**

Εδώ και δεκαετίες στις Ευρωπαϊκές αγορές, το δίλλημα «βενζίνη ή diesel» απασχολεί και τελικά καθορίζει την επιλογή του αγοραστή οποιουδήποτε καινούργιου αυτοκινήτου. Στην Ελλάδα η απελευθέρωση της χρήσης diesel στα δυο μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα-Θεσσαλονίκη), μετέφερε το δίλλημα αυτό στον Έλληνα αγοραστή. Και σίγουρα, με τη χαμηλή τους κατανάλωση και τις μειωμένες εκπομπές ρύπων οι diesel κινητήρες δείχνουν ως η πλέον κατάλληλη επιλογή σε αυτή την οικονομικά δύσχερη εποχή που περνά η χώρα.

Στην πλέον εμπορική κατηγορία αυτοκινήτων, αυτή των μικρών, το δίλλημα μεταξύ βενζινοκίνητης ή πετρελαιοκίνητης επιλογής αποκτά ακόμη περισσότερη σημασία, λόγω της καθημερινής οικονομίας κίνησης που οφείλει να προσφέρει το νέο απόκτημα στον αγοραστή του. Εδώ, οι πωλήσεις της πρώτης χρονιάς απελευθέρωσης του diesel (2012) δίνουν το πλεονέκτημα στα πετρελαιοκίνητα μικρά, αφού το 51% που πωλήθηκαν ήταν diesel.

## Βιβλιογραφία

- Κυριακής Νικόλαος, *Μηχανές εσωτερικής καύσης. Εισαγωγή στη λειτουργία και τη χρήση*, Σοφία, Θεσσαλονίκη 2008.
- Χασιώτης Περικλής, *Μηχανές εσωτερικής καύσης I*, Ίων, Αθήνα 2009.
- R. Gscheidle (επιμ.), *Τεχνολογία αυτοκινήτου 1. Μηχανές εσωτερικής καύσης*, 3<sup>η</sup> εκδ., Ίων, Αθήνα 2004.
- Ralbovsky Edward, *Εισαγωγή στους πετρελαιοκινητήρες αυτοκινήτων*, 2<sup>η</sup> εκδ., Ίων, Αθήνα 2003.
- Bosch, *Συστήματα Common Rail*, έντυπο εργασίας 1987727830.
- Bosch, *Common Rail*, Κέντρο Τεχνικής Εκπαίδευσης, 2006.
- Bosch, *Συστήματα ψεκασμού diesel U.I.S.*, Τμήμα Τεχνικής Εκπαίδευσης, 2005.
- Bosch, *Τεχνολογία καυσαερίων Diesel – συστήματα DNOX*, 2011.

### Διαδίκτυο\*:

- [http://ediktiomenoi.blogspot.com/2012/10/blog-post\\_1.html](http://ediktiomenoi.blogspot.com/2012/10/blog-post_1.html)
- <http://www.carbibles.com/enginehistory.html>
- <http://rustyiron.com/Articles/historyofthegase.html>
- <http://www.velocityjournal.com/journal/1936/mercedesbenz/22993/index.html>
- <http://www.americandreamcars.com/auction-advertising/gallery/pages/1929-Mack-Flatbed-Truck.htm>
- [http://www.dieselduck.net/historical/01%20diesel%20engine/rudolph\\_diesel.htm](http://www.dieselduck.net/historical/01%20diesel%20engine/rudolph_diesel.htm)
- [http://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com\\_content&view=category&id=62&Itemid=94](http://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com_content&view=category&id=62&Itemid=94)
- <http://www.ideea.gr/newspaper/ta/TA0003-NEWS-820.pdf>

\*Αυτές οι ιστοσελίδες ελέγχτηκαν στις 23 Μαΐου 2013 και ήταν υπό λειτουργία.