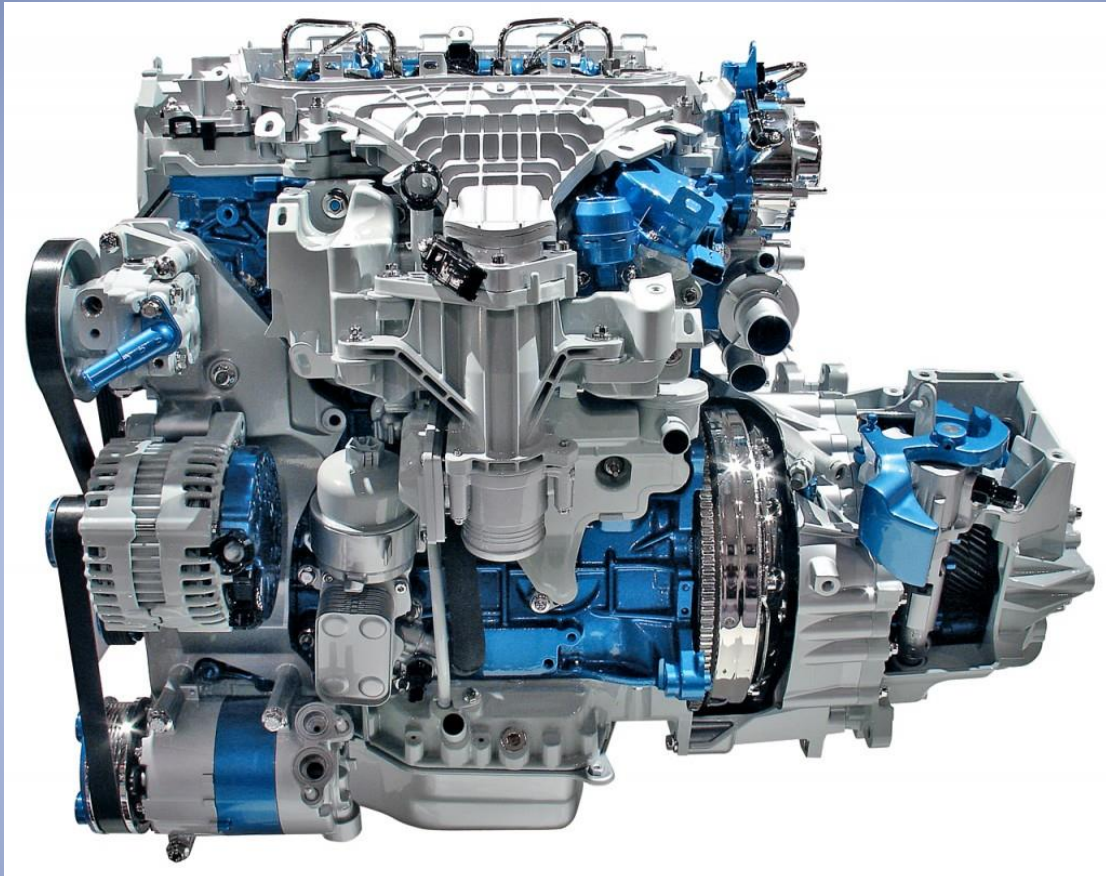


ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:ΚΑΚΟΥΡΙΩΤΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΑΜ:5873
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:ΤΖΙΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



ΘΕΜΑ

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ DIESEL
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία καταπιάνεται με το ζήτημα της ιστορικής πορείας των συστημάτων ψεκασμού στους diesel κινητήρες με την πάροδο των χρόνων, κινούμενη προς αυτή την κατεύθυνση μέσω της χρήσης της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Η κυρίως ανάλυση στηρίζεται σε τρεις βασικούς άξονες: αρχικά καταγράφονται ορισμένες εισαγωγικές πληροφορίες όπως το ιστορικό υπόβαθρο και ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια πραγματοποιείται εκτενέστερη αναφορά στα κομμάτια των τύπων αντλιών που χρησιμοποιούνται και των συστημάτων που τίθενται σε εφαρμογή για να εκτελεστεί η διαδικασία του ψεκασμού και, τέλος, στον επίλογο παρουσιάζονται τα συστήματα προθέρμανσης, ενώ απαριθμούνται επίσης τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν κατά τη διενέργεια αυτής της μελέτης.

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής περιέλαβε τη διαδικτυακή έρευνα και τη μελέτη σχετικών επιστημονικών άρθρων, μελετών και βιβλίων, τα οποία θα παρατεθούν στο τέλος του πονήματος, στο κομμάτι της βιβλιογραφίας.

ABSTRACT

This paper deals with the issue of the history of spraying systems in diesel engines over the years, moving in this direction through the use of the bibliographic review.

The main analysis is based on three main axes: initially, some introductory information such as the historical background and the operation of these systems is recorded. Thereafter, a more extensive reference is made to the parts of the types of pumps used and the systems put in place to perform the spraying process, and lastly, the warm-up systems are presented, along with the conclusions drawn in the course of this study.

The completion of this work included online research and study of related scientific articles, studies and books, which will be cited at the end of the lecture, in the bibliography section.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ABSTRACT	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ DIESEL.....	9
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	9
1.1.1 ΠΡΩΤΗ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ	9
1.1.2 20 ^{ος} ΑΙΩΝΑΣ	10
1.1.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	11
1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL	12
1.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	13
1.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	14
1.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	19
2.1 ΤΥΠΟΙ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	19
2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	20
2.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	20
2.4 ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	22
2.5 ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΑΠΛΗΣ.....	22
2.6 ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	23
2.7 ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΤΥΠΟΥ ΔΙΑΝΟΜΕΑ.....	23
2.8 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ ΑΝΤΛΙΑ ΕΓΧΥΣΗΣ (ΣΕ ΣΕΙΡΑ) ΤΥΠΟΥ BOSCH.....	25
2.9 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΠΡΟΘΑΛΑΜΟ.....	26
2.10 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΓΧΥΣΗΣ.....	29
2.11 ΤΥΠΟΙ ΕΓΧΥΤΗΡΩΝ (ΜΠΕΚ)	31
2.11.1 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ ΒΕΛΟΝΑΣ	32
2.11.2 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ ΟΠΗΣ	32
2.11.3 ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ (ΜΠΕΚ)	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ COMMON RAIL.....	34

3.1	ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COMMON RAIL	34
3.2	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COMMON RAIL	35
3.3	Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	36
3.4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	37
3.5	ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	38
3.5.1	ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ HALL	38
3.5.2	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	39
3.5.3	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ	40
3.5.4	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΓΚΑΖΙΟΥ	40
3.5.5	ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΡΕΛΑΝΤΙ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ KICK DOWN	40
3.5.6	ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΦΩΤΩΝ ΦΡΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΠΕΝΤΑΛ ΦΡΕΝΟΥ.....	40
3.5.7	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	41
3.5.8	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΨΟΥΣ.....	41
3.5.9	ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΠΕΝΤΑΛ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ	42
3.5.10	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	42
3.5.11	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	42
3.5.12	ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ.....	43
3.6	COMMON RAIL ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	43
3.7	ΤΥΠΟΙ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΙΕΣΗΣ.....	49
3.8	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΤΛΙΩΝ	50
3.9	ΚΟΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	51
3.10	ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	52
3.11	ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΧΥΣΗ / ΠΡΟΨΕΚΑΣΜΟΣ.....	53
3.11.1	ΚΥΡΙΑ ΕΓΧΥΣΗ.....	54
3.11.2	ΜΕΤΕΓΧΥΣΗ.....	54
3.11.3	ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΨΕΚΑΣΜΟΥ.....	54
3.11.4	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΠΡΟΨΕΚΑΣΜΟΥ	54
3.11.5	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	55
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	56
	<i>Συστήματα προθέρμανσης.....</i>	56
	<i>Συμπεράσματα</i>	57
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

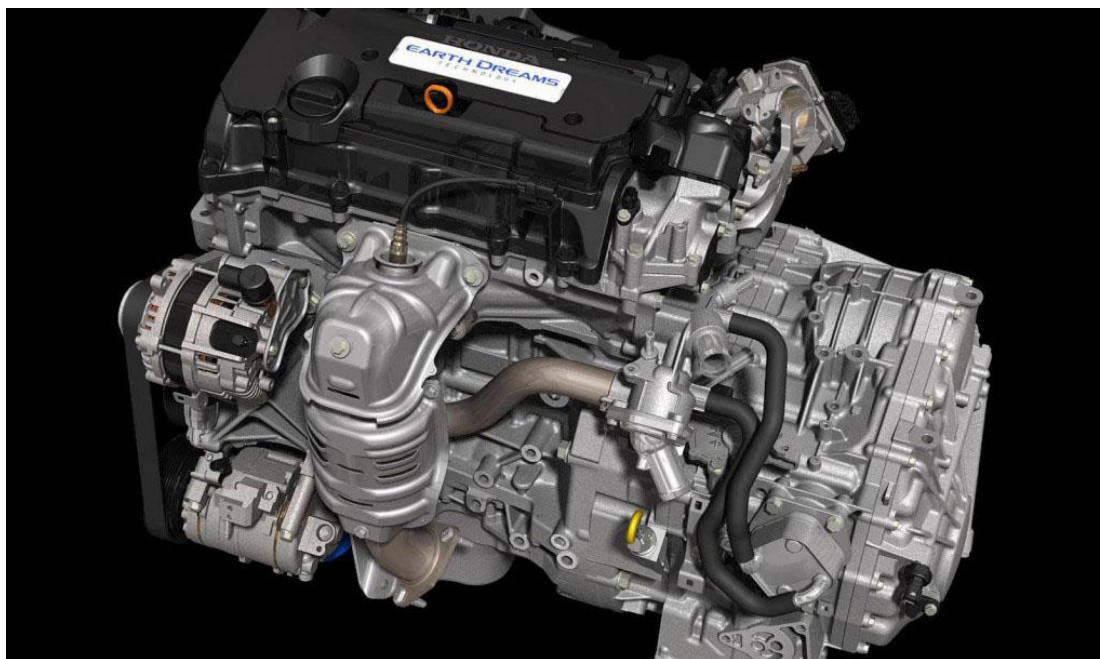
<i>Εικόνα 1: Κινητήρας diesel. Πηγή: https://www.caranddriver.gr/.....</i>	<i>7</i>
<i>Εικόνα 2: Ο Rudolf Diesel. Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Ρούντολφ_Ντίζελ</i>	<i>7</i>
<i>Εικόνα 3: Δεξαμενή καυσίμου. Πηγή: https://www.marinastores.gr/product/78-terozita-kafsimon-kai-axesoyar/5571-ercole-dexamenes-kafsimou</i>	<i>21</i>
<i>Εικόνα 4: Περιστροφική αντλία diesel. Πηγή: (Σουνδουλουνάκης, 2016)</i>	<i>24</i>
<i>Εικόνα 5: Εμβολοφόρος αντλία diesel εν σειρά. Πηγή: (Σουνδουλουνάκης, 2016)</i>	<i>26</i>
<i>Εικόνα 6: Εγχυτήρας τύπου οπής. Πηγή: (Σουνδουλουνάκης, 2016)</i>	<i>33</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας diesel. Πηγή: (Μαρινόπουλος, 2009) ..12

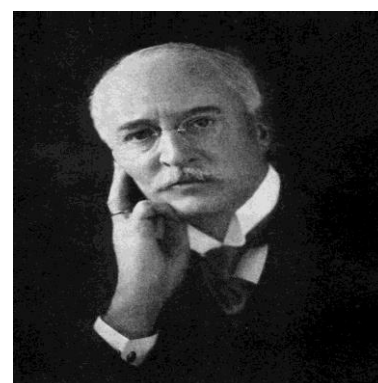
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κινητήρας diesel (ή πετρελαιοκινητήρας) είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια του πετρελαίου σε κινητική ενέργεια. Μοιάζει στα κύρια μέρη της με το βενζινοκινητήρα με τον οποίο κυρίως διαφέρει στον τρόπο ανάμειξης του αέρα με το καύσιμο καθώς και στον τρόπο ανάφλεξης του μίγματος (Πηλέας, 2016).



Εικόνα 1: Κινητήρας diesel. Πηγή: <https://www.caranddriver.gr/>

Εφευρέτης της μηχανής αυτής ήταν ο Γερμανός μηχανικός **Ρούντολφ Ντίζελ** (1858 – 1913), ο οποίος το 1892 κατέθεσε αίτηση ευρεσιτεχνίας στο Βασιλικό Γραφείο ευρεσιτεχνιών του Βερολίνου περί «μιας αποδεκτής θερμικής μηχανής». Στις 23 Φεβρουαρίου 1893 κατοχυρώθηκε στο όνομά του η ευρεσιτεχνία **DRP 67207** για τον «Σχεδιασμό και τρόπο λειτουργίας των μηχανών εσωτερικής καύσεως» (Σουνδουλουνάκης, 2016).



Οι πετρελαιοκινητήρες απέκτησαν μεγάλη σημασία κυρίως στα οχήματα βαρέων τύπων, λόγω της

Εικόνα 2: Ο Rudolf Diesel. Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Ρούντολφ_Ντίζελ

μεγαλύτερης ανταπόκρισης σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες οι οποίοι πλέον δεν εγκαθίστανται σε τέτοιες περιπτώσεις. Κινητήρα diesel φέρουν ακόμη και σήμερα τα λεωφορεία, τα χωματουργικά και αγροτικά μηχανήματα, τα πλοία, τα τρένα, οι βιομηχανίες και τέλος τα επιβατικά οχήματα τα οποία κατά το παρελθόν είχαν τοποθετημένους μόνο βενζινοκινητήρες κάτω από τα καπό τους εξαιτίας του υψηλού κόστους που έχουν οι πετρελαιοκινητήρες.

Μέχρι πρότινος οι κινητήρες diesel κατά κανόνα δεν λειτουργούσαν τόσο ήσυχα όσον αφορά στους κραδασμούς όπως οι βενζινοκινητήρες. Παρά τα βήματα προόδου στον τομέα της τεχνολογίας κινητήρων, οι βενζινοκινητήρες θεωρούνταν ανώτεροι από πλευράς ήρεμης λειτουργίας και φιλοσοφίας λειτουργίας. Ωστόσο, οι υψηλές πιέσεις ψεκασμού έχουν βελτιώσει σημαντικά το εν λόγω ζήτημα με μοντέρνα πιεζοηλεκτρικά ακροφύσια ψεκασμού που φτάνουν έως και 2.500 bar και εξασφαλίζουν πολύ λεπτή διασπορά του καυσίμου ντίζελ, ενώ τα υψηλής απόδοσης ηλεκτρονικά συστήματα διαχείρισης κινητήρα καθιστούν το μοντέρνο κινητήρα diesel σαφώς πιο λειτουργικό (Κωσταρέλος, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ DIESEL

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1.1 ΠΡΩΤΗ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ

Η πρώτη μηχανή που κατασκευάστηκε δεν ήταν επιτυχημένη, καθώς υπήρξαν σοβαρά προβλήματα με την ψύξη του κυλίνδρου, καθώς και τις μεγάλες πιέσεις που απαιτούσε η λειτουργία της. Όμως, δύο χρόνια αργότερα, το 1895, η τρίτη κατά σειρά μηχανή που κατασκευάστηκε λειτούργησε κανονικά, χρησιμοποιώντας νερό για την ψύξη των κυλίνδρων και αέρα με μεγάλη πίεση για την έγχυση του καυσίμου. Ο πρώτος κινητήρας που κατασκεύασε ο Rudolf Diesel, φυλάσσεται στο MAN Diesel Museum στο Augsburg και έχει διάμετρο 150 χιλιοστών και διαδρομή 400 χιλιοστών. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μηχανές του Diesel, επειδή χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο το πετρέλαιο το οποίο δεν παραγόταν στη Γερμανία, συνάντησαν σοβαρή αντίδραση στη χώρα αυτή και γι' αυτό όλες οι πρώτες, βιομηχανικής παραγωγής μηχανές, κατασκευάστηκαν στην Αγγλία, στην Ελβετία και στις Ηνωμένες Πολιτείες (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Από το 1897 και μετά, η μηχανή diesel γνώρισε αλματώδη ανάπτυξη. Μάλιστα, το 1898 δημιουργήθηκε το Συνδικάτο των μηχανών diesel, του οποίου μέλη ήταν τα εργοστάσια κατασκευής τους στις κυριότερες χώρες της Ευρώπης. Η ελεύθερη διακίνηση των πληροφοριών μεταξύ των μελών του Συνδικάτου, σε ό,τι αφορά την πρόοδο και την εξέλιξη της κατασκευής των μηχανών diesel έγινε η αφορμή αυτές να εξελιχθούν ταχύτατα και να εξαπλωθεί ραγδαία η βιομηχανική χρήση τους. Παράλληλα ο Ρούντολφ Ντίζελ, με την χορηγία μηχανολογικών εταιριών, παρουσίασε τον πρώτο πετρελαιοκινητήρα κατάλληλο για ευρεία χρήση (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Το 1899, μηχανές diesel κατασκευάζονταν πλέον στη Γερμανία, το Βέλγιο και την Ελβετία, ενώ σε χώρες, όπως η Αγγλία, η Δανία, η Ολλανδία, η Σουηδία και η Γαλλία, η κατασκευή μηχανών diesel ξεκίνησε γύρω στο 1909.

1.1.2 20^{ος} ΑΙΩΝΑΣ

Το 1910, ο Ρούντολφ Ντίζελ σε συνεργασία με ένα γαλλικό εργοστάσιο κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο με τη μηχανή που εφηύρε, ισχύος 30 ίππων στις 600 στροφές ανά λεπτό. Ωστόσο, το αυτοκίνητο αυτό θεωρήθηκε αποτυχημένο αφού υστερούσε σε ευελιξία όσον αφορά τα διάφορα φορτία και τους χειρισμούς, κατά τη διάρκεια της κυκλοφορίας του στους δρόμους. Πάντως, την ίδια χρονιά, τα εργοστάσια Sulzer κατασκεύασαν την πρώτη τετρακύλινδρη δίχρονη μηχανή με ιπποδύναμη 2.000 ίππους, για ναυτική χρήση. Το ίδιο εργοστάσιο, τρία χρόνια αργότερα (1913) κατασκεύασε την πρώτη μηχανή diesel για χρήση σε σιδηρόδρομους.

Ο πρώτος παγκόσμιος πόλεμος αποτέλεσε κίνητρο για την εξέλιξη των diesel οι οποίοι όμως λόγω του όγκου τους έβρισκαν εφαρμογή κυρίως στο ναυτικό και σε μεγάλα άρματα μάχης. Η εικόνα αυτή επικράτησε μέχρι την δεκαετία του 1920, αφού προς τα τέλη της σχεδιάστηκαν νέοι, μικρότεροι, τύποι αντλίας καυσίμου που επέτρεπαν την τοποθέτηση των πετρελαιοκινητήρων σε οχήματα. Το πρώτο βαρέως τύπου όχημα, με κινητήρα diesel, εμφανίστηκε με τα σήματα της MAN, ενώ το πρώτο επιβατικό μοντέλο ήταν μια **Mercedes-Benz 260D** του 1936 (Μαρινόπουλος, 2009).

Στις επόμενες δεκαετίες, η πρόοδος στο τομέα των diesel ήταν σημαντική αλλά πάντοτε η προτεραιότητα των μηχανικών στον τομέα των επιβατικών αυτοκινήτων ήταν οι βενζινοκινητήρες. Το ενδιαφέρον για τους diesel αναζωπυρώθηκε την δεκαετία του 1970 σε μια περίοδο που θεσπίστηκε η **Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος** (αγγλ.: *EPA / Environmental Protection Agency*) και όταν ο **Οργανισμός Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών** (αγγλ.: *OPEC / Organization of the Petroleum Exporting Countries*) σκόρπισε τον πανικό κυρίως στις ΗΠΑ όταν αποφάσισε να μειώσει την ποσότητα του εξαγόμενου πετρελαίου. Η μειωμένη κατανάλωση των diesel ήταν μια λύση η οποία όμως και πάλι επέστρεψε στο παρασκήνιο μιας και η ενεργειακή κρίση ξεπεράστηκε σύντομα. Αξίζει να σημειωθεί, πως εκείνη τη περίοδο, για πρώτη φορά μια αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία αποφάσισε να ασχοληθεί σοβαρά με τους diesel. Αυτή δεν ήταν άλλη από την GM αλλά η προσπάθεια των μηχανικών της ήταν απογοητευτική καθώς, σε αντίθεση με τους ευρωπαίους, δεν διέθεταν την κατάλληλη τεχνογνωσία

ώστε τα μπλοκ και οι κυλινδροκεφαλές των μοτέρ να μην ραγίζουν μετά από μόλις μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Μέχρι το 1940, η εξέλιξη των μηχανών αυτών υπήρξε αλματώδης, ενσωματώνοντας τις τεχνολογίες της υπερπλήρωσης και της μηχανικής έγχυσης του καυσίμου, γνωστές ήδη από το 1925 και 1934, αντίστοιχα, ενώ η κορύφωση της εξέλιξης σε ό,τι αφορά το σχεδιασμό και την παραγωγή τους ήλθε κατά τη διάρκεια του δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου. Ο Ντίζελ έγινε στόχος μεγάλης κριτικής, ακόμα και μετά το θάνατό του, το 1913. Αν και είναι αλήθεια ότι δεν ανακάλυψε κάποια νέα ιδέα, συνδύασε πάντως και εφάρμοσε, έστω και παλαιές ιδέες, δημιουργώντας ένα επιτυχές σύνολο (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

1.1.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Συνεχίζοντας την ιστορική ανασκόπηση για την τεχνολογία diesel, αξίζει να αναφερθεί το χρονικό τους, το οποίο παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

ΕΤΟΣ	ΣΥΜΒΑΝ
1892	Ο Rudolph Diesel καταθέτει την πατέντα για τον κινητήρα.
1893	Κατασκευή του πρώτου diesel κινητήρα.
1924	Πρώτο πετρελαιοκίνητο φορτηγό (MAN).
1936	Πρώτο πετρελαιοκίνητο επιβατικό (Mercedes-Benz).
1962	Πρώτη περιστροφική αντλία διανομής πετρελαίου.
1977	Turbo diesel κινητήρας (Mercedes-Benz 300SD).

1986	Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού (Bosch EDC).
1988	Άμεσος ψεκασμός σε diesel (Fiat Croma).
1989	Υπερτροφοδοτούμενος diesel άμεσου ψεκασμού (Volkswagen).
1994	Εμφάνιση του συστήματος EUI (Electronic Unit Injector).
1997	Εμφάνιση του συστήματος common rail (Magneti Marelli).
2000	Αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο (Peugeot 607).
2001	Πιεζοηλεκτρικό μπεκ (Siemens).
2003	Φίλτρο NOx (Toyota D-CAT).

Πίνακας 1: Ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας diesel. Πηγή: (Μαρινόπουλος, 2009)

1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL

Ο κύκλος λειτουργίας των πετρελαιοκινητήρων μοιάζει με αυτών των βενζινοκινητήρων, με κύρια διαφορά το ότι κατά τη διαδικασία της εισαγωγής στον κύλινδρο της μηχανής, εισέρχεται μόνο αέρας και όχι αέριο μείγμα από αέρα και καύσιμο, όπως γίνεται στη μηχανή Otto. Στη συνέχεια, ο αέρας αυτός αρχίζει να συμπιέζεται, ενώ συγχρόνως αυξάνει και η θερμοκρασία του. Έτσι, στις μηχανές diesel, τόσο η πίεση στην οποία συμπιέζεται ο αέρας, όσο και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται, λόγω της συμπίεσης, είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από την αντίστοιχη πίεση και θερμοκρασία που αναπτύσσονται στον κύκλο της Otto μηχανής, κατά τη διάρκεια του αντίστοιχου χρόνου λειτουργίας (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της μηχανής diesel, η πίεση συμπίεσης ξεκινά από τα 30 bar και φθάνει έως και τα 556 bar, ενώ η συμπίεση είναι τέτοια, ώστε η θερμοκρασία του συμπιεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα που αντιστοιχεί στην πίεση αυτή να φθάνει από 600 έως 900 βαθμούς Κελσίου. Η θερμοκρασία αυτή είναι κατάλληλη για την αυτανάφλεξη του πετρελαίου, το οποίο ψεκάζεται από τον εγχυτήρα, στο τέλος της συμπίεσης. Με την έναρξη του ψεκασμού του καυσίμου, αρχίζει η καύση του καυσίμου που θεωρητικά, τουλάχιστον, γίνεται υπό σταθερή πίεση καθώς το έμβολο κινείται προς το κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ), λόγω της μεγάλης πίεσης και εκτόνωσης των αερίων. Στο τέλος, τα καυσαέρια απομακρύνονται από τον κύλινδρο και μια νέα ποσότητα αέρα τον γεμίζει και πάλι για να ξεκινήσει ένας νέος κύκλος λειτουργίας (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

1.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το diesel, όπως και η βενζίνη, είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας απόσταξης του αργού πετρελαίου. Οι μηχανές τύπου diesel μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο όλα σχεδόν τα είδη πετρελαίου, από το πολύ βαρύ έως και το πετρέλαιο diesel, καθώς και άλλα ελαφρότερα. Το ποιος τύπος πετρελαίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια πετρελαιομηχανή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου καυσίμου και της μηχανής, αλλά κυρίως από την ταχύτητα λειτουργίας της. Έτσι, το βαρύ πετρέλαιο χρησιμοποιείται σε μεγάλης ισχύος αργόστροφες μηχανές, όπως για παράδειγμα σ' εκείνες που προορίζονται για την πρόωση των πλοίων.

Από την άλλη πλευρά, diesel χρησιμοποιούν οι μηχανές που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρογεννήτριες) στα πλοία, αλλά και ορισμένες από τις κύριες μηχανές που χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων, ειδικά όταν αυτές είναι ταχύστροφες. Οι πετρελαιομηχανές των αυτοκινήτων και των φορτηγών χρησιμοποιούν αποκλειστικά ως καύσιμο το diesel. Για να χρησιμοποιηθεί το πετρέλαιο στις πολύστροφες μηχανές των αυτοκινήτων και των φορτηγών, πρέπει να έχει ορισμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες οι οποίες επηρεάζουν τη λειτουργία και τη διάρκεια της ζωής μιας μηχανής, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

Οι ιδιότητες αυτές είναι:

- Το σημείο ανάφλεξης.
- Το σημείο ροής.
- Το ιξώδες.
- Η πτητικότητα.
- Η θερμαντική ικανότητα.
- Το ειδικό βάρος.
- Η περιεκτικότητα σε θείο.
- Ο αριθμός κετανίου.
- Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης.

1.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- **Σημείο ανάφλεξης:** Σημείο ανάφλεξης του πετρελαίου είναι η θερμοκρασία εκείνη, στην οποία οι ατμοί που παράγονται από τη σταδιακή θέρμανσή του σχηματίζουν αρκετή ποσότητα, ώστε όταν αναμειχθούν με τον αέρα, να δημιουργούν ένα μείγμα το οποίο μπορεί να αναφλεγεί, όταν έρθει σε επαφή με φλόγα. Συνήθως, το σημείο ανάφλεξης εξαρτάται από το πού φυλάσσεται το diesel, δηλαδή σε κλειστό ή ανοικτό δοχείο. Έτσι, για κλειστό δοχείο, το σημείο ανάφλεξης είναι χαμηλότερο απ' ό τι για το ανοικτό. Η γνώση του ακριβούς σημείου ανάφλεξης είναι απαραίτητη, κυρίως για λόγους ασφάλειας, κατά την αποθήκευσή του σε δεξαμενές (Πηλέας, 2016).
- **Σημείο ροής:** Σημείο ροής είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία το πετρέλαιο παραμένει ακόμη σε υγρή κατάσταση, και συνεπώς μπορεί να αναρροφηθεί από τις αντλίες. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι απαραίτητο να το γνωρίζουμε, όταν το πετρέλαιο που χρησιμοποιεί η μηχανή είναι πολύ βαρύ ή όταν υπάρχουν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τουλάχιστον κατά την εκκίνηση της μηχανής.
- **Ιξώδες:** Ιξώδες ή συνοχή του πετρελαίου είναι η αντίσταση την οποία αυτό παρουσιάζει λόγω εσωτερικών τριβών των μορίων του, όταν τείνει να μετακινηθεί. Αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου καυσίμου, γιατί φανερώνει μέχρι ποιο σημείο το πετρέλαιο

μπορεί να διασπασθεί, προκειμένου να καεί ολόκληρο και να αποδώσει το μεγαλύτερο ποσό της θερμότητάς του. Το ιξώδες ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και όσο μεγαλύτερο είναι αυτό τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίστασή του στις σωληνώσεις και στη διάσπασή του στους εγχυτήρες (Σουνδουλουνάκης, 2016).

- **Πτητικότητα:** Πτητικότητα ή εξατμιστική ικανότητα του πετρελαίου είναι η ικανότητά του να παράγει ατμούς.
- **Θερμαντική ικανότητα:** Θερμαντική ικανότητα του πετρελαίου είναι το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται, όταν μια ορισμένη ποσότητα καυσίμου καεί πλήρως. Παρά το γεγονός ότι η θερμαντική ικανότητα του πετρελαίου δεν διαφέρει πολύ από ποιότητα σε ποιότητα, η γνώση της είναι απαραίτητη, γιατί από αυτή εξαρτάται η αποδιδόμενη ισχύς (ιπποδύναμη) από μια συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου που καίγεται στη μηχανή. Εφόσον όλες οι υπόλοιπες συνθήκες, που επηρεάζουν την καύση σε μια μηχανή, είναι ίδιες, όσο χαμηλότερη είναι η θερμαντική ικανότητα του καυσίμου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απαιτούμενη ποσότητα του πετρελαίου που πρέπει να καεί, προκειμένου να παραχθεί η ίδια ισχύς (Πηλέας, 2016).
- **Ειδικό βάρος:** Ειδικό βάρος του πετρελαίου είναι η αναλογία του βάρους ενός λίτρου πετρελαίου προς το βάρος ενός λίτρου καθαρού νερού. Το ειδικό βάρος του πετρελαίου κυμαίνεται από 0,80 έως 0,87 ενώ μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του. Το ειδικό βάρος είναι ένα χαρακτηριστικό του καυσίμου, το οποίο έχει σχέση με τον καλό διασκορπισμό του κατά τη φάση της έγχυσης καθώς και με τον υπολογισμό της κατανάλωσης.
- **Περιεκτικότητα σε θείο:** Γενικά, το θείο είναι ανεπιθύμητο ως συστατικό του πετρελαίου, όπως άλλωστε και της βενζίνης, διότι μολύνει το περιβάλλον. Έτσι, η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θείο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,25% (Σουνδουλουνάκης, 2016).
- **Θερμοκρασία αυτανάφλεξης:** Θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι η θερμοκρασία εκείνη στην οποία, όταν θερμανθεί το πετρέλαιο, μπορεί να αναφλέγει στον αέρα χωρίς τη χρήση κάποιου θερμαντικού στοιχείου ή πηγής φλόγας. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του πετρελαίου είναι παρά πολύ σημαντική για τις μηχανές diesel, αφού, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ανάφλεξη του καυσίμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία που έχει ο αέρας κατά τη διάρκεια της φάσης της συμπίεσης. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία

αυτανάφλεξης του πετρελαίου θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλότερη από την αντίστοιχη που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση του αέρα, έτσι ώστε να μπορεί να αναφλέγει ακόμα και σε χαμηλές στροφές ή και κατά την εκκίνηση της μηχανής, όταν δηλαδή η θερμοκρασία της μηχανής δεν είναι ακόμα αρκετά υψηλή (Πηλέας, 2016).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί κατά την περιγραφή των διαφόρων τύπων θαλάμων καύσης, το πετρέλαιο όταν ψεκάζεται μέσα στον θάλαμο καύσης, δεν καίγεται αμέσως, αλλά υπάρχει μια μικρή καθυστέρηση, από τη στιγμή που ψεκάζεται έως τη στιγμή που ξεκινά η καύση του. Η καθυστέρηση αυτή ονομάζεται καθυστέρηση ανάφλεξης και παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην καλή λειτουργία της μηχανής. Αυτό συμβαίνει, γιατί όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση αυτανάφλεξης, τόσο περισσότερο καύσιμο συγκεντρώνεται στον θάλαμο καύσης το οποίο, στη συνέχεια, καίγεται απότομα. Η ανεξέλεγκτη αυτή καύση δημιουργεί απότομη αύξηση στην πίεση του κυλίνδρου, που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ισχυρού θορύβου (φαινόμενο «κρουστικής καύσης» ή «πειράκια») (Σουνδουλουνάκης, 2016). Η μεγάλη καθυστέρηση της αυτανάφλεξης μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα, τόσο στην εκκίνηση της μηχανής, όσο και στις αλλαγές του φορτίου. Η καθυστέρηση, πάντως, της αυτανάφλεξης μειώνεται, όταν η θερμοκρασία του αέρα στο τέλος της συμπίεσης είναι πολύ μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου.

- **Αριθμός κετανίου:** Ο προσδιορισμός της καθυστέρησης αυτανάφλεξης για κάθε ποιότητα πετρελαίου γίνεται με μια μέθοδο σύγκρισης. Με αυτή τη μέθοδο, η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου πετρελαίου συγκρίνεται με μια πρότυπη ποιότητα πετρελαίου, σε ένα δοκιμαστικό κινητήρα.

Έτσι προσδιορίζεται ο αριθμός κετανίου του πετρελαίου, ο οποίος προσδιορίζει το μέτρο της ταχύτητας αυτανάφλεξης του. Το κετάνιο είναι ένας υδρογονάνθρακας που χαρακτηρίζεται με το 100 της κλίμακας και έχει μεγάλη ταχύτητα αυτανάφλεξης. Με αυτό αναμιγνύεται σε διάφορες αναλογίες ένας άλλος υδρογονάνθρακας (ά-μεθυλοναφθαλίνη), ο οποίος χαρακτηρίζεται με το 0 της κλίμακας και έχει μικρή ταχύτητα αυτανάφλεξης. Έτσι, ένα πετρέλαιο έχει 55 αριθμό κετανίου όταν από άποψη καθυστέρησης

της αυτανάφλεξης συμπεριφέρεται παρόμοια με μίγμα υδρογονανθράκων 55% κετανίου και 45% α-μεθυλοναφθαλίνης. Στα συνηθισμένα πετρέλαια που χρησιμοποιούνται ο αριθμός κετανίου είναι 45% ως 70% (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Η πολύ μικρή καθυστέρηση αυτανάφλεξης (μεγάλος αριθμός κετανίου), δεν είναι επιθυμητή, γιατί το πετρέλαιο δεν προλαβαίνει να καεί και η καύση είναι ατελής.

1.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Για την επίτευξη μιας περισσότερο ολοκληρωμένης σύγκρισης ανάμεσα στους βενζινοκινητήρες, οι οποίοι αποτελούν τον ανταγωνιστή των πετρελαιοκινητήρων, θεωρήθηκε αναγκαίο το γεγονός να παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός:

- ✓ Ο πετρελαιοκινητήρας έχει καλύτερη ροπή και μάλιστα στις χαμηλές στροφές εκεί δηλαδή που τη χρειαζόμαστε.
- ✓ Ο πετρελαιοκινητήρας έχει πιο βαριά κατασκευή σε σχέση με αυτή του βενζινοκινητήρα, λόγω των λειτουργικών χαρακτηριστικών (πίεση, θερμοκρασία, δυναμική κλπ.).
- ✓ Η ενεργειακή απόδοση του πετρελαιοκινητήρα υπερβαίνει το 36-38% και εάν διαθέτει και υπερσυμπιεστή (αγγλ.: *turbo*) τότε ξεπερνά και το 50%. Η καλύτερη ενεργειακή απόδοση μεταφράζεται και σε αντίστοιχο κέρδος στην κατανάλωση καυσίμου.
- ✓ Το κόστος συντήρησης είναι σήμερα περίπου το ίδιο.
- ✓ Η βαριά κατασκευή, τόσο του κινητήρα όσο και του αμαξώματος, εξασφάλιζε και εξασφαλίζει διπλάσιο χρόνο ζωής στο όχημα, όχι όμως και στα συστήματα αντιρρύπανσης.
- ✓ Το κόστος παραγωγής του πετρελαιοκίνητου είναι μεγαλύτερο (περίπου 10%)
- ✓ Το πετρελαιοκίνητο κατηγορείται κυρίως για τις εκπομπές σωματιδίων (PM) και NOX, όμως η νέα τεχνολογία αντιρρύπανσης έχει φθάσει τα επίπεδα των εκπομπών αυτών, σε όμοια με αυτά του βενζινοκίνητου, κάτι που μπορεί να

το εξακριβώσει κανείς από τον πίνακα των οριακών τιμών για την τεχνολογία Euro VI (Πέππας, 2011).

Κλείνοντας, το diesel αποτελεί καύσιμο ενώσεων υδρογονανθράκων που παράγονται από την διύλιση του ακατέργαστου πετρελαίου (μαζούτ), ενώ επίσης είναι βαρύτερο σαν καύσιμο, εξατμίζεται δυσκολότερα ενώ όταν υπάρχει παγωνιά οι παραφίνες του πήζουν και το εμποδίζουν να φτάσει μέχρι τα μπεκ. Το υψηλό ιξώδες, δηλαδή η ρευστότητα, δυσχεραίνει τη λειτουργία της αντλίας και στην καλύτερη περίπτωση επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα καύσης. Για αυτόν, και αρκετούς άλλους λόγους, η σύσταση του πετρελαίου διαφέρει ανάλογα με τις θερμοκρασίες που επικρατούν σε διαφορετικές περιοχές (π.χ. Νότια ή Βόρεια Ευρώπη) (Σουνδουλουνάκης, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Το σύστημα τροφοδοσίας – έγχυσης καυσίμου θεωρείται (και είναι) το σημαντικότερο σύστημα που επηρεάζει τη λειτουργία ενός πετρελαιοκινητήρα, θετικά αλλά και αρνητικά, σε περίπτωση δυσλειτουργίας. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα μέρη που το αποτελούν και ανάλυση των λειτουργιών του κάθε εξαρτήματος. Παρουσιάζονται τα είδη των αντλιών έγχυσης, περιγράφεται η λειτουργία τους και αναφέρεται η εξέλιξή τους με τη χρήση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων – συστημάτων.

Για τη λειτουργία ενός οποιουδήποτε κινητήρα είναι απαραίτητη η τροφοδότησή του με το αντίστοιχο καύσιμο. Το σύστημα τροφοδοσίας – έγχυσης έχει σκοπό τη μεταφορά του καυσίμου από τη δεξαμενή αποθήκευσης και την τροφοδοσία του κινητήρα με την κατάλληλη για την καλύτερη δυνατή καύση ποσότητα καυσίμου. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα (π.χ. στροφές και φορτίο), αλλά και από τις επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος (π.χ. ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία) (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

2.1 ΤΥΠΟΙ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Το σύστημα τροφοδοσίας – έγχυσης καυσίμου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και επηρεάζει άμεσα τη λειτουργία και το βαθμό απόδοσης ενός πετρελαιοκινητήρα ενώ παράλληλα σε περίπτωση δυσλειτουργίας μπορεί να συμβάλει αρνητικά όχι μόνο στο βαθμό απόδοσης αλλά γενικά στην κακή λειτουργία του κινητήρα και στην καταστροφή των επιμέρους μελών που τον απαρτίζουν. Στα συμβατικού τύπου έγχυσης καυσίμου χρησιμοποιούνται αντλίες (περιστροφικές και εν σειρά) και εγχυτήρες (τύπου οπής και με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας) καυσίμου χαμηλών πιέσεων σε σχέση με νεότερες αντλίες και εγχυτήρες νεότερης γενιάς (Σουνδουλουνάκης, 2016).

2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Με τα συμβατικά συστήματα ψεκασμού, τα οποία χρησιμοποιούν διανομέα και σειριακές αντλίες, ο ψεκασμός καυσίμου αποτελεί σήμερα μόνο την κυρία φάση ψεκασμού, χωρίς πιλοτικό ψεκασμό.

Στα συμβατικά οχήματα η δημιουργία πίεσης και η παροχή της ψεκαζόμενης ποσότητας καυσίμου, είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους από έναν έκκεντρο άξονα και μια εμβολοφόρα αντλία. Αυτό έχει τα παρακάτω αποτελέσματα στα χαρακτηριστικά του ψεκασμού (Σουνδουλουνάκης, 2016):

- ✓ Η πίεση του ψεκασμού αυξάνεται μαζί με την αύξηση των στροφών του κινητήρα και την ποσότητα του ψεκαζομένου καυσίμου.
- ✓ Κατά την διάρκεια μιας διαδικασίας ψεκασμού, η πίεση ψεκασμού αυξάνεται και μετά πέφτει ξανά ενώ το μπεκ κλείνει την πίεση στο τέλος του ψεκασμού.

Οι επιπτώσεις είναι οι έξι:

- ✓ Λιγότερη ποσότητα καυσίμου ψεκάζεται με μικρότερη πίεση αντί να ψεκάζονται μεγαλύτερες ποσότητες.
- ✓ Η στιγμιαία μέγιστη πίεση είναι πέραν του διπλάσιου από την ενδιάμεση πίεση.

2.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι απαραίτητες συνθήκες για τη βέλτιστη χρήση του συστήματος αυτού είναι οι ακόλουθες (Σουνδουλουνάκης, 2016):

- ❖ Η δεξαμενή καυσίμου πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικό που δεν οξειδώνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ούτε να διαβρώνεται από τον πετρέλαιο.
- ❖ Η χωρητικότητά της δεξαμενής πρέπει να είναι τόση ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική αυτονομία του οχήματος.
- ❖ Το υλικό κατασκευής της πρέπει να είναι συνήθως χαλύβδινο έλασμα (λαμαρίνα), ή ελαφρά κράματα αλουμινίου καθώς και από ειδικό πλαστικό.

- ❖ Η θέση της πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απομακρυσμένη από τον κινητήρα, ώστε, σε περίπτωση ατυχήματος, να μειώνεται η πιθανότητα πυρκαγιάς.
- ❖ Πρέπει να τηρούνται οι κανονισμοί ασφαλείας που ισχύουν σε ό,τι αφορά το ελάχιστο ύψος της από το οδόστρωμα, τη στερέωσή της στο αμάξωμα, ιδιαίτερα σε μεγάλα ή βαρέα οχήματα, όπως φορτηγά, λεωφορεία, ρυμουλκά κλπ.
- ❖ Δεν πρέπει να παρουσιάζει διαρροές και να αντέχει στις πιέσεις λειτουργίας και οπωσδήποτε σε υπερπίεση 0,3 bar.
- ❖ Πρέπει ακόμα να έχουν προβλεφθεί κατάλληλα ανοίγματα ή βαλβίδες ασφαλείας και να έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα για την εκτόνωση πιθανής υπερπίεσης που μπορεί να αναπτυχθεί.
- ❖ Το πετρέλαιο σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να διαρρέει από την τάπα πλήρωσης ή τις διατάξεις ασφαλείας, στις διάφορες συνθήκες οδήγησης, (π.χ. στροφές, δρόμος με κλίση, απότομα φρεναρίσματα και μικροσυγκρούσεις, που πιθανόν να συμβούν στα τοιχώματα της δεξαμενής).



Εικόνα 3: Δεξαμενή καυσίμων. **Πηγή:** <https://www.marinastores.gr/product/78-tepozita-kafsimon-kai-axesoyar/5571-ercole-dexamenes-kafsimou>

2.4 ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η διάρκεια ζωής του συστήματος έγχυσης πετρελαίου εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό από την καλή ποιότητα του φίλτρου πετρελαίου. Η πίεση που αναπτύσσεται στα έμβολα της αντλίας έγχυσης και στους εγχυτήρες, απαιτεί την κατασκευή εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας κατασκευής με πολύ μικρές ανοχές κατεργασίας της τάξης μερικών εκατοστών του χιλιοστού. Αυτό σημαίνει ότι το πετρέλαιο το οποίο κυκλοφορεί δια μέσου αυτών των εξαρτημάτων θα πρέπει είναι απαλλαγμένο από οποιοσδήποτε ακαθαρσίες, υπολείμματα και γενικά σωματίδια παρόμοιων μεγεθών. Με άλλα λόγια, εάν το πετρέλαιο δεν είναι πλήρως φιλτραρισμένο, τα διάφορα στοιχεία του μηχανισμού έγχυσης μπορεί να καταστραφούν με δυσμενή αποτελέσματα για τη λειτουργία του κινητήρα, όπως (Αρκούλης & Γιάννος, 2014):

- α. Ανεπαρκής καύση.
- β. Μεγάλη κατανάλωση καυσίμου.
- γ. Δύσκολη εκκίνηση.
- δ. Ανώμαλη λειτουργία στο ρελαντί.
- ε. Μειωμένη απόδοση ισχύος.

Για τον λόγο αυτόν, απαιτούνται ειδικά φίλτρα. Τα στοιχεία των φίλτρων αυτών είναι κατασκευασμένα από σπιράλ χαρτί σχήματος V με διηθητική ικανότητα της τάξης των 8 μm (μικρών). Εκτός από τα φίλτρα μίας βαθμίδας φιλτραρίσματος, υπάρχουν φίλτρα πολλαπλών βαθμίδων φιλτραρίσματος, με μεγαλύτερη απόδοση καθώς και παράλληλα φίλτρα με μεγαλύτερη επιφάνεια φιλτραρίσματος, για ειδικές συνθήκες φιλτραρίσματος. Τα φίλτρα διαθέτουν μια μεγάλη ποικιλία καλυμμάτων για τη σύνδεσή τους με το υπόλοιπο κύκλωμα και τη στερέωσή τους, με επίπεδες ή γωνιακές φλάντζες. Τα φίλτρα ανάλογα με τη ροή του καυσίμου διακρίνονται σε φίλτρα αξονικής και ακτινικής ροής (Σουνδουλουνάκης, 2016).

2.5 ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΑΠΛΗΣ

Στην φωτογραφία φαίνεται σε τομή μία αντλία τροφοδοσίας απλής ενέργειας. Η υποπίεση που δημιουργείται στο θάλαμο αναρρόφησης της αντλίας αναγκάζει τη βαλβίδα αναρρόφησης να ανοίξει και να εισέλθει πετρέλαιο στο θάλαμο μεταξύ των

βαλβίδων αναρρόφησης και κατάθλιψης. Με την περιστροφή του εκκεντροφόρου άξονα, το έμβολο ωθείται προς τα κάτω υπερνικάτε η τάση του ελατηρίου, κλείνει η βαλβίδα αναρρόφησης και ανοίγει η βαλβίδα κατάθλιψης. Το πετρέλαιο υπό πίεση καταθλίβεται προς την αντλία έγχυσης (Κονταξάκης, 2006).

2.6 ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι αντλίες διπλής ενέργειας έχουν μεγαλύτερη παροχή από τις αντλίες απλής ενέργειας, και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αντλίες έγχυσης με πολλούς κυλίνδρους ώστε να παρέχουν μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου. Οι αντλίες διπλής ενέργειας καταθλίβουν το πετρέλαιο προς την αντλία έγχυσης με δύο εμβολισμούς του εμβόλου.

Σε πολλές αντλίες τροφοδοσίας συμπεριλαμβάνεται και μια χειροκίνητη αντλία που έχει σκοπό, τη πλήρωση του συστήματος τροφοδοσίας με καύσιμο κατά την πρώτη φορά λειτουργίας του, την εξαγωγή και πλήρωση του συστήματος με καύσιμο μετά από επισκευή ή συντήρηση, καθώς και την εξαγωγή και πλήρωση του συστήματος όταν απαιτείται η εκκένωση της δεξαμενής καυσίμου για καθαρισμό, επισκευή κλπ. Σε μερικές περιπτώσεις η χειροκίνητη αντλία είναι ανεξάρτητη και τοποθετείται στη γραμμή μεταξύ της δεξαμενής καυσίμου και της αντλίας τροφοδοσίας (Κονταξάκης, 2006).

Για την προστασία της αντλίας τροφοδοσίας από διάφορες ακαθαρσίες που πιθανώς περιέχονται στο καύσιμο υπάρχουν και προ-φίλτρα πετρελαίου. Αυτά τοποθετούνται είτε στη γραμμή μεταξύ της δεξαμενής πετρελαίου και αντλίας τροφοδοσίας, είτε βρίσκονται στην είσοδο της αντλίας τροφοδοσίας.

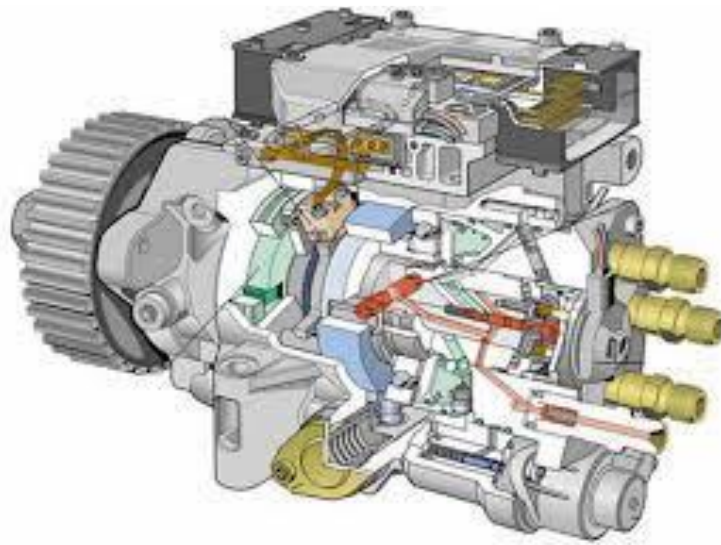
2.7 ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΤΥΠΟΥ ΔΙΑΝΟΜΕΑ

Το καύσιμο οδηγείται από ειδική εγκοπή στις θυρίδες εξόδου οι οποίες αντι-στοιχούν στους κυλίνδρους του κινητήρα. Η αντλία τύπου διανομέα περιλαμβάνει τα παρακάτω συγκροτήματα (Αρκούλης & Γιάννος, 2014):

1. Ενσωματωμένη αντλία τροφοδοσίας.
2. Αντλία υψηλής πίεσης με διανομέα.
3. Μηχανικό ρυθμιστή στροφών με αντίβαρα.
4. Υδραυλική διάταξη χρονισμού.
5. Πρόσθετες βοηθητικές διατάξεις.

Η αντλία τύπου διανομέα λαμβάνει κίνηση από τον κινητήρα και για τετράχρονους κινητήρες η αντλία περιστρέφεται με τις μισές στροφές του στροφαλοφόρου άξονα. Η περιστροφή του άξονα της αντλίας πρέπει να είναι συγχρονισμένη με την κίνηση των εμβόλων του κινητήρα. Για τον λόγο αυτόν, η μετάδοση της κίνησης στην αντλία γίνεται είτε με οδοντωτό μάντα, είτε με οδοντωτούς τροχούς, είτε με αλυσίδα και αλυσοτροχούς.

Οι αντλίες τύπου διανομέα κατασκευάζονται για δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη περιστροφή του άξονά τους, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα με τον οποίο συνεργάζονται και οι έξοδοι του πετρελαίου προς τους κυλίνδρους της μηχανής φέρουν τα γράμματα A, B, C και D για να υπάρχει αντιστοιχία με τους κυλίνδρους της μηχανής. Οι αντλίες τύπου διανομέα κατασκευάζονται για πετρελαιοκινητήρες με μέγιστο αριθμό μέχρι έξι κυλίνδρων (Σουνδουλουνάκης, 2016).



Εικόνα 4: Περιστροφική αντλία diesel. **Πηγή:** (Σουνδουλουνάκης, 2016)

2.8 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ ΑΝΤΛΙΑ ΕΓΧΥΣΗΣ (ΣΕ ΣΕΙΡΑ) ΤΥΠΟΥ BOSCH

Η εμβολοφόρος αντλία έγχυσης Bosch αποτελείται από ένα ενιαίο συγκρότημα μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένα τα αντλητικά στοιχεία. Τα αντλητικά στοιχεία είναι σε σειρά και τα έμβολά τους ωθούνται από τα έκκεντρα ενός εκκεντροφόρου άξονα. Ο αριθμός των αντλητικών στοιχείων της αντλίας ισούται με τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα. Η αντλία αποτελείται από τα εξής 5 βασικά μέρη (Σουνδουλουνάκης, 2016):

- **Τη θήκη (σώμα).**
- **Τα αντλητικά στοιχεία.**
- **Τον ρυθμιστή στροφών.**
- **Τον ρυθμιστή προέγχυσης.**
- **Την αντλία τροφοδοσίας.**

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 (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

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 μπορεί να καθοριστεί η 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).



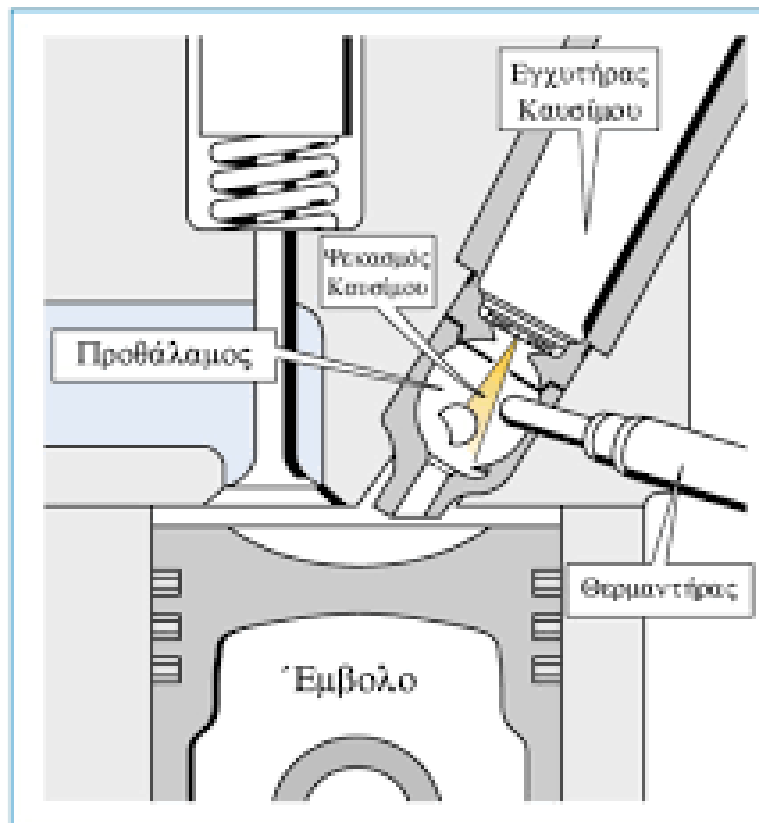
Εικόνα 5: Εμβολοφόρος αντλία diesel εν σειρά. Πηγή: (Σουνδουλουνάκης, 2016)

2.9 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΠΡΟΘΑΛΑΜΟ

Πρόκειται για παλαιότερης τεχνολογίας κινητήρες diesel, οι οποίοι ήταν εφοδιασμένοι με προθερμαντήρες, οι οποίοι άναβαν για να προθερμάνουν τον προθάλαμο καύσης, στον οποίο γινόταν η έγχυση του καυσίμου και η έναρξη της καύσης (η καύση συνεχιζόταν και ολοκληρωνόταν με την έξοδο του μισοκαμένου μίγματος αέρα καυσίμου από τον προθάλαμο στον κυρίως θάλαμο καύσης). Οι κινητήρες αυτοί ήταν συνήθως εφοδιασμένοι με μηχανικές αντλίες πετρελαίου, ως επί το πλείστον περιστροφικού τύπου για τα επιβατικά αυτοκίνητα, και παλαιότερα αντλίες εν σειρά (όπως είχαν και έχουν ακόμη κάποιοι κινητήρες απ' ευθείας έγχυσης, φορτηγών και λεωφορείων). Η περιστροφικού τύπου αντλία πετρελαίου διανέμει το συμπιεσμένο καύσιμο διαδοχικά στους κυλίνδρους, και οι εγχυτήρες (μπεκ) ανοίγουν με την πίεση του πετρελαίου. Η αντλία πετρελαίου «εν σειρά» έχει

τόσα στοιχεία εμβολοφόρου αντλίας υψηλής πίεσης, όσοι και οι κύλινδροι του κινητήρα.

Οι μηχανικές αντλίες πετρελαίου είχαν μειονεκτήματα όσον αφορά τη μεταβατική λειτουργία (απότομες επιταχύνσεις), όπου αύξαναν τις εκπομπές αιθάλης του κινητήρα. Η πίεση έγχυσης στις μηχανικές αντλίες πετρελαίου ήταν της τάξης των 130 bar για τις περιστροφικού τύπου, έως και 150 bar για τις εν σειρά (Σουνδουλουνάκης, 2016).



Παρακάτω φαίνονται διάφορα μοντέλα επιβατικών αυτοκινήτων εξοπλισμένα με κινητήρες diesel με προθάλαμο:

Peugeot:

- J7
- J5 (turbo)
- Boxer 1.9D
- 2.5D
- TD

Citroën:

- C25
- C35
- Jumper 1.9D
- 2.5D
- TD

Fiat Ducato:

- 1.9 I
- 2.5 I

Mercedes:

- X07
- X08
- X09
- X10

Renault:

- Trafic
- Master
- B70
- Sofim 8 140-061

VW:

- Combi
- LT

Ford:

- Όλα τα παλιά μοντέλα

Toyota:

- Lite Ace

- Hi Ace
- Hi Lux

IVECO:

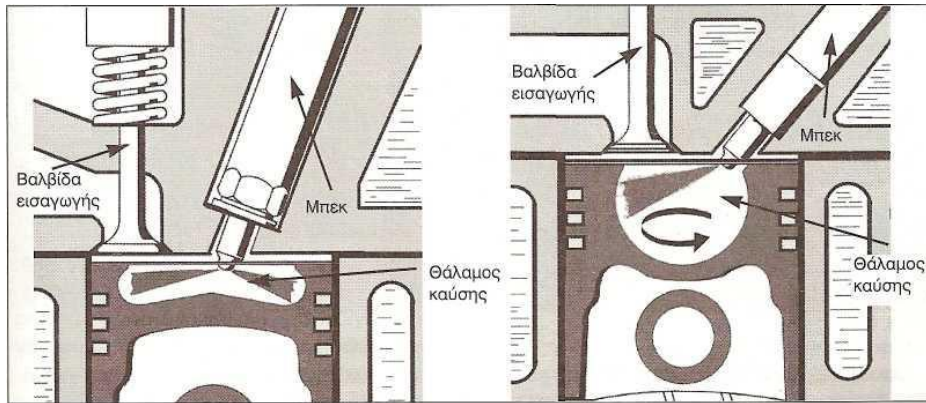
- Daily 35-8
- Sofim 8140-61

2.10 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΓΧΥΣΗΣ

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι κινητήρες με προθάλαμο ή με θάλαμο στροβιλισμού, αντικαταστάθηκαν με κινητήρες απ' ευθείας έγχυσης στα επιβατικά αυτοκίνητα, ξεκινώντας από τους κινητήρες TDI του γκρουπ WW, των 90 και 110 PS των Golf και Passat, τους κινητήρες dti της Renault, και τους tddi της Ford, τους IVECO και FIAT TDI εξοπλισμένων με κινητήρες SOFIM.

Έτσι απέκτησαν και οι κινητήρες diesel των επιβατικών αυτοκινήτων, τα πλεονεκτήματα των κινητήρων των φορτηγών και λεωφορείων χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, μεγαλύτερη αξιοπιστία, λιγότερες αστοχίες φλάντζας κεφαλής λόγω υπερθέρμανσης. Όμως πήραν και κάποια από τα μειονεκτήματα των κινητήρων απ' ευθείας έγχυσης, όπως τον αυξημένο θόρυβο λόγω της αυξημένης πίεσης έγχυσης που απαιτείται, καθώς και τις δυσκολίες να πετύχουν τα αυστηρότερα όρια εκπομπών αιθάλης και NOx. Οι κινητήρες της κατηγορίας αυτής είναι εφοδιασμένοι με μία μηχανική περιστροφική αντλία έγχυσης υψηλής πίεσης, η οποία όμως έχει κάποια ηλεκτρονικά εξαρτήματα, και ορισμένες φορές και εγκέφαλο. Η αντλία πετρελαίου διανέμει το καύσιμο διαδοχικά σε κάθε κύλινδρο, ανοίγοντας τα μπεκ με την πίεση του καυσίμου, αλλά βέβαια η έγχυση γίνεται πλέον απ' ευθείας μέσα στον κύλινδρο. Οι κινητήρες αυτοί συνήθως δεν χρειάζονται προθερμαντήρες και αρχικό χρόνο προθέρμανσης (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Συχνά όμως είναι εφοδιασμένοι με ένα θερμοστάτη στην εξάτμιση του κινητήρα, ο οποίος ενεργοποιεί κάποιο σύστημα προθέρμανσης του αέρα εισαγωγής κατά την ψυχρή εκκίνηση. Η πίεση έγχυσης είναι πιο ανεβασμένη και φτάνει μεταξύ 180 και 250 bar.



Παρακάτω φαίνονται κάποια παραδείγματα:

Peugeot:

- Boxer 2,5 CV Tdi

Citroën:

- Jumper 2,5 CV Tdi

Fiat Ducato:

- 1,9 tdi Sofim
- 2,5 tdi 85CV Sofim
- 2,8 tdi 116 & 122 CV Sofim

Mercedes:

- Sprinter X8
- X10
- X12

Renault:

- Master moteur Sofim
- B80 Sofim 8140-07
- B90 Sofim 8140-21
- B110 Sofim 8140-27
- B120 Sofim 8140-47
- Master nouvelle versions 2,8 tdi moteur Sofim 8140-23-43 7

Opel:

- Movano tous les DTI 115 CV

VW:

- T 4 68 CV
- 88 CV
- 102 CV
- LT 88 CV SDi
- 102 CV TDi
- LT 130 CV TDi

Ford:

- Όλα τα μοντέλα απευθείας έγχυσης

IVECO:

- 35-8 (new Daily) Sofim 8140-07
- 35-10 Sofim 8140-021
- 35-10 New Daily Sofim 3140-27
- 35-12 Sofim 8140-47
- Nouvelle generation 35-9
- 35-11 Sofim 8140-23
- Sofim 8140-43 (sauf unijet)

2.11 ΤΥΠΟΙ ΕΓΧΥΤΗΡΩΝ (ΜΠΕΚ)

Οι εγχυτήρες (μπεκ) είναι τα τελευταία εξαρτήματα στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, παραλαμβάνουν το καύσιμο με υψηλή πίεση από την αντλία έγχυσης, προετοιμάζουν το καύσιμο για ψεκασμό με την βοήθεια των κατάλληλα διαμορφωμένων ακροφυσίων και το διασκορπίζουν στους θαλάμους καύσης του κινητήρα. Ανάλογα με τον τύπο του θαλάμου καύσης του πετρελαιοκινητήρα, εάν δηλαδή υπάρχει προθάλαμος καύσης, προθάλαμος στροβιλισμού ή απευθείας έγχυσης επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος εγχυτήρα (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Υπάρχουν τρεις τύποι εγχυτήρων: οι εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας, οι εγχυτήρες με οπές και οι μηχανικοί εγχυτήρες.

2.11.1 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ ΒΕΛΟΝΑΣ

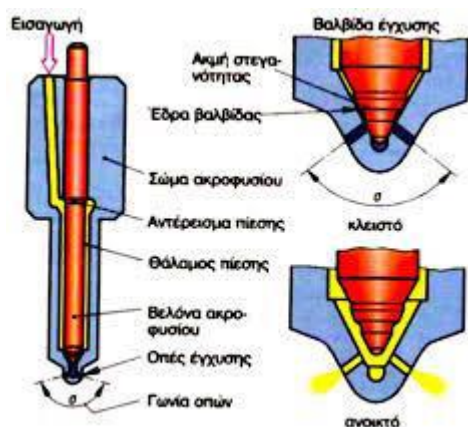
Οι εγχυτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται όταν ο κινητήρας έχει ξεχωριστό προθάλαμο καύσης ή θάλαμο στροβιλισμού. Το ακροφύσιο αυτού του τύπου των εγχυτήρων ψεκάζει ομοαξονική δέσμη καυσίμου και κατά το άνοιγμα του η βελόνα του ακροφυσίου μετακινείται προς το εσωτερικό του εγχυτήρα. Ο εγχυτήρας συνοδεύεται με τον συγκρατητήρα του ο οποίος έχει εσωτερικό σπείρωμα για την συγκράτηση του εγχυτήρα και εξωτερικό σπείρωμα για την συγκράτηση του στη κυλινδροκεφαλή. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των εγχυτήρων τύπου βελόνας είναι ο τρόπος ελέγχου της δια-τομής παροχής καυσίμου. Η ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται είναι συνάρτηση της ανύψωσης της βελόνας του ακροφυσίου (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

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

Έτσι η ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται μέσα στο θάλαμο καύσης στη μονάδα του χρόνου, είναι απευθείας συνάρτηση της διαδρομής της βελόνας του ακροφυσίου (Κονταξάκης, 2006).

2.11.2 ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ ΟΠΗΣ

Οι εγχυτήρες τύπου οπής χρησιμοποιούνται σε κινητήρες άμεσης έγχυσης που δεν διαθέτουν προθάλαμο καύσης. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εγχυτήρων τύπου οπής και των αντίστοιχων συγκρατητήρων τους στην αγορά. Οι οπές ψεκασμού του καυσίμου είναι σε διάφορες γωνίες στο σώμα των ακροφυσίων και για τον λόγο αυτό όταν τοποθετούνται οι εγχυτήρες στον κινητήρα, πρέπει οι άξονες των οπών να ευθυγραμμίζονται απολύτως σε σχέση με τον θάλαμο καύσης. Για τον λόγο αυτό



Εικόνα 6: Εγχυτήρας τύπου οπής.
Πηγή: (Σουνδουλουνάκης, 2016)

χρησιμοποιούνται ειδικοί τρόποι στερέωσης των εγχυτήρων στην κυλινδροκεφαλή, με βίδες ασφαλείας καθώς και με χρήση ειδικού εξαρτήματος μανδάλωσης του ακροφυσίου στη σωστή θέση. Οι εγχυτήρες τύπου οπής έχουν βελόνες διαμέτρου 4 έως 6 mm. Τα ελατήρια των εγχυτήρων είναι υπολογισμένα σε σχέση με την διάμετρο της βελόνας και των πιέσεων ανοίγματος των ακροφυσίων που είναι μεγαλύτερες από 180 bar (Σουνδουλουνάκης, 2016).

2.11.3 ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΕΓΧΥΤΗΡΕΣ (ΜΠΕΚ)

Για τους εγχυτήρες, τα ακροφύσια 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 διασπάται σε λεπτά σταγονίδια (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 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 άκομψο 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* (ελλ.: κοινή κεντρική γραμμή σωλήνα [θάλαμος]). Την πατέντα για αυτή τη τεχνολογία είχε η **Fiat**, ενώ η **Bosch** έκανε τη κατασκευή των εξαρτημάτων και του προγράμματος λειτουργίας της ηλεκτρονικής διαχείρισης του συστήματος (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.1 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COMMON RAIL

Κάθε σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου common rail αποτελείται από δύο βασικά υποσυστήματα:

- Το υποσύστημα τροφοδοσίας καυσίμου (χαμηλής, υψηλής πίεσης και επιστρεφόμενου καυσίμου).
- Το υποσύστημα Ηλεκτρονικού Ελέγχου Diesel (αγγλ.: *Electronic Diesel Control – EDC*) (αισθητήρες, μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου / εγκέφαλος, ενεργοποιητές).

Τα συστήματα ψεκασμού καυσίμου common rail των διαφόρων εταιριών (Bosch, Delphi, Denso, Siemens – V.D.O.) διαφέρουν ως προς τον σχεδιασμό, τη διάταξη των εξαρτημάτων, τις επιμέρους λειτουργίες, όμως όλα λειτουργούν με την ίδια αρχή.

Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου common rail χωρίζεται σε τρία κυκλώματα ως προς την κυκλοφορία του καυσίμου:

- **Κύκλωμα καυσίμου χαμηλής πίεσης**
- **Κύκλωμα καυσίμου υψηλής πίεσης.**
- **Κύκλωμα επιστροφών καυσίμου** (που υπάρχει σχεδόν σε όλους τους πετρελαιοκινητήρες).

3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COMMON RAIL

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, οι τεχνικοί κατάφεραν να αποσυνδέσουν τη δημιουργία πίεσης καυσίμου από το χρόνο ψεκασμού. Η πίεση του καυσίμου δημιουργείται ανεξάρτητα από τις στροφές του κινητήρα και μπορεί σε κάθε στιγμή να ρυθμιστεί και να επιλεγεί πίεση από 250 μέχρι 2000 bar 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 (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

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 οξείδια 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

- ❖ **1997:** Η εξέλιξη του συστήματος common rail έγινε για πρώτη φορά στην παγκόσμια αγορά με τη εισαγωγή του στα επιβατικά οχήματα. Η πίεση έγχυσης ήταν στα 1350 bar, ενώ η 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 δεύτερη 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 δεύτερη 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:** Εμφανίστηκε η τρίτη 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:** Τρίτη 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 τέταρτη γενιά για τα επιβατικά αυτοκίνητα, η Bosch μελετά συστήματα με εφαρμογή πιο υψηλών πιέσεων ψεκασμού. Το σύστημα τέταρτης 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 δια-μόρφωσης της μεταβολής της πίεσης μειώνει τη δημιουργία ρύπων (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα Common Rail της πρώτης γενιάς αποτελείται από:

- ✓ Προ-φίλτρο
- ✓ Φίλτρο καυσίμου
- ✓ Αντλία χαμηλής πίεσης, ηλεκτρική εξωτερικά στο ρεζερβουάρ
- ✓ Ρεζερβουάρ
- ✓ Βαλβίδα ρύθμισης πίεσης

- ✓ Αγωγός τροφοδοσίας
- ✓ 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

3.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Κατά την εκκίνηση πρέπει η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα να αναγνωρίσει ποιος κύλινδρος βρίσκεται στη φάση συμπίεσης, έτσι ώστε να ενεργοποιήσει την αντίστοιχη βαλβίδα στη μονάδα αντλίας - μπεκ, κάτι το οποίο πραγματοποιείται μέσω της αξιολόγησης του σήματος του επαγωγικού αισθητήρα. Ο επαγωγικός αισθητήρας ανιχνεύει τα δόντια, σε έναν ξεχωριστό δίσκο πίσω από το γρανάζι εκκεντροφόρου, τον δίσκο παλμών του εκκεντροφόρου. Έτσι υπολογίζεται η θέση του εκκεντροφόρου και συνεπώς η θέση του αντίστοιχου εμβόλου (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.5.1 ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ HALL

Ο επαγωγικός αισθητήρας τύπου Hall είναι στερεωμένος στο προστατευτικό του μάντα κάτω από το γρανάζι του εκκεντροφόρου. Ο αισθητήρας καταμετρά τα δόντια στον δίσκο παλμών που είναι στερεωμένος στο γρανάζι του εκκεντροφόρου.

Το σήμα από τον επαγωγικό αισθητήρα χρησιμεύει στην ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα για την αναγνώριση της θέσης των κυλίνδρων κατά την εκκίνηση του κινητήρα. Σε περίπτωση βλάβης του σήματος η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα χρησιμοποιεί το σήμα από τον αισθητήρα στροφών του κινητήρα (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

Ο δίσκος παλμών του εκκεντροφόρου. Επειδή ο εκκεντροφόρος εκτελεί μία περιστροφή 360° ανά κύκλο εργασίας, υπάρχει πάνω στον δίσκο παλμών για κάθε κύλινδρο ένα δόντι σε απόσταση 120° . Ένα μοναδικό δόντι για τον κύλινδρο 4 και από δύο δόντια με διαφορετική απόσταση για τους υπολοίπους. Για να μπορέσει να γίνει αντιστοιχία των δοντιών για κάθε κύλινδρο, ο δίσκος παλμών έχει από ένα πρόσθετο δόντι για τον κύλινδρο 1 και 2 με αντίστοιχα διαφορετικές αποστάσεις.

3.5.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Ο αισθητήρας στροφών του κινητήρα είναι ένας επαγωγικός αισθητήρας. Είναι τοποθετημένος στον κορμό των κυλίνδρων. Ο αισθητήρας στροφών, όταν πρόκειται για τρικύλινδρο κινητήρα, ανιχνεύει 54 δόντια ($60 - 2 - 2 - 2$) στον δίσκο παλμών που είναι στερεωμένος στον στροφαλοφόρο. Για την επίτευξη μιας γρήγορης εκκίνησης η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα αξιολογεί τα σήματα του επαγωγικού αισθητήρα και του αισθητήρα στροφών του κινητήρα.

Με το σήμα του επαγωγικού αισθητήρα, που ανιχνεύει τον δίσκο παλμών του εκκεντροφόρου, η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα αναγνωρίζει τον κάθε κύλινδρο. Από τα τρία διάκενα στον δίσκο παλμών στο στροφαλοφόρο η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα λαμβάνει ήδη μετά από το ένα τρίτο της στροφής ένα σήμα αναφοράς. Έτσι η ηλεκτρονική μονάδα αναγνωρίζει έγκαιρα τη θέση του στροφαλοφόρου και μπορεί να ενεργοποιήσει τη σωστή μαγνητική βαλβίδα για να ξεκινήσει τη διαδικασία του ψεκασμού (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Με το σήμα του αισθητήρα στροφών του κινητήρα καταγράφονται οι στροφές του κινητήρα και η ακριβής θέση του στροφαλοφόρου. Με τις πληροφορίες αυτές υπολογίζεται το χρονικό σημείο και η ποσότητα ψεκασμού.

3.5.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ

Ο αισθητήρας θέσης του πεντάλ αποτελεί τμήμα της μονάδας του πεντάλ. Η μονάδα του πεντάλ αποτελείται από το πεντάλ του γκαζιού, τους αισθητήρες και ένα μπλοκ. Η εξωτερική κατασκευή είναι ίδια με το ηλεκτρικό πεντάλ των βενζινοκινητήρων. Μέσα στη μονάδα του πεντάλ βρίσκονται οι παρακάτω αισθητήρες:

- **Αισθητήρας θέσης πεντάλ γκαζιού**
- **Διακόπτης ρελαντί**
- **Διακόπτης kick down**

3.5.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΓΚΑΖΙΟΥ

Ο αισθητήρας θέσης του πεντάλ γκαζιού είναι ένα ποτενσιόμετρο επαφής. Είναι σημαντικός αισθητήρας, καθώς πληροφορεί τη μονάδα για τις προθέσεις του οδηγού. Κατά την αλλαγή της θέσης του πεντάλ αλλάζει η αντίσταση του ποτενσιόμετρου.

3.5.5 ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΡΕΛΑΝΤΙ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ KICK DOWN

Ο διακόπτης του ρελαντί και ο διακόπτης kick down είναι διακόπτες επαφής (ψύκτρες). Όταν η επαφή βρίσκεται στον αντίστοιχο διάδρομο, η αντίσταση είναι περίπου 900 Ω (μετράται μεταξύ των επαφών και του αισθητήρα) και ο διακόπτης του ρελαντί ή του kick down είναι κλειστός. Αν η ψύκτρα βρίσκεται έξω από τον διάδρομο, η αντίσταση έχει άπειρη τιμή και ο διακόπτης είναι ανοικτός. Εάν χαλάσει αυτός ο αισθητήρας, ο κινητήρας δεν ανταποκρίνεται στα πατήματα του πεντάλ και πηγαίνει σε πρόγραμμα γρήγορου ρελαντί (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.5.6 ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΦΩΤΩΝ ΦΡΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΠΕΝΤΑΛ ΦΡΕΝΟΥ

Ο διακόπτης φώτων των φρένων και ο διακόπτης του πεντάλ του φρένου βρίσκονται σε ένα ενιαίο εξάρτημα στην πεταλιέρα. Οι δύο διακόπτες παρέχουν στην

ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα το σήμα «φρένο πατημένο». Επειδή ο αισθητήρας θέσης του γκαζιού μπορεί να είναι κατεστραμμένος, όταν πατηθεί το φρένο ο κινητήρας για λόγους ασφαλείας μειώνει στροφές.

Σε περίπτωση βλάβης ενός από τους δύο διακόπτες η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα μειώνει την παροχή καυσίμου. Ο κινητήρας λειτουργεί με μειωμένη απόδοση.

3.5.7 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας καυσίμου είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (αγγλ.: *NTC / Negative Temperature Coefficient*). Αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση του αισθητήρα μειώνεται με αυξανόμενη θερμοκρασία καυσίμου.

Βρίσκεται στο σωληνάκι επιστροφών του καυσίμου μεταξύ της μηχανικής αντλίας καυσίμου και του ψυγείου καυσίμου. Ο αισθητήρας μετρά την τρέχουσα θερμοκρασία του καυσίμου. Για να συνυπολογιστεί η πυκνότητα του καυσίμου σε διαφορετικές θερμοκρασίες η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα χρειάζεται την τρέχουσα θερμοκρασία του καυσίμου για τον υπολογισμό της αρχής και της ποσότητας ψεκασμού. Σε περίπτωση βλάβης του αισθητήρα η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα προβλέπει ως βάση υπολογισμού μία σταθερή τιμή. Αυτή η βλάβη του αισθητήρα εμφανίζεται με την προειδοποιητική λυχνία των καυσαερίων στον πίνακα οργάνων (Κονταξάκης, 2006).

3.5.8 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΨΟΥΣ

Ο αισθητήρας ύψους βρίσκεται στην ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα, διαβιβάζει στην ηλεκτρονική μονάδα την πραγματική βαρομετρική πίεση της ατμόσφαιρας. Αυτή εξαρτάται από το υψόμετρο. Με αυτό το σήμα πραγματοποιείται υψομετρική διόρθωση για τη ρύθμιση της πίεσης πλήρωσης. Σε υψόμετρο εμφανίζεται μαύρος καπνός.

3.5.9 ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΠΕΝΤΑΛ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ

Ο διακόπτης του πεντάλ του συμπλέκτη βρίσκεται στην πεταλιέρα. Με το σήμα η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα αναγνωρίζει αν υπάρχει σύμπλεξη ή αποσύμπλεξη. Κατά το πάτημα του πεντάλ του συμπλέκτη μειώνεται για λίγο η ποσότητα ψεκασμού. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται «σκορτσάρισμα» του κινητήρα κατά την αλλαγή ταχυτήτων. Σε περίπτωση βλάβης του σήματος του αισθητήρα στο πεντάλ του συμπλέκτη μπορεί να εμφανιστούν «σκορτσάρια» κατά την αλλαγή των ταχυτήτων (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.5.10 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

Το σήμα του αισθητήρα πίεσης της πολλαπλής εισαγωγής χρησιμεύει για τον έλεγχο της πίεσης πλήρωσης. Η μετρούμενη τιμή συγκρίνεται από την ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα με την ονομαστική τιμή από το χαρακτηριστικό διάγραμμα πλήρωσης. Αν η πραγματική τιμή διαφέρει από την ονομαστική τιμή τότε διορθώνεται η πίεση πλήρωσης από την ηλεκτρονική μονάδα μέσω της μαγνητικής βαλβίδας περιορισμού της πίεσης υπερπλήρωσης. Εάν η ρύθμιση της πίεσης υπερπλήρωσης δεν είναι πλέον δυνατή τότε κινητήρας λειτουργεί με μειωμένη απόδοση (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Ο αισθητήρας πίεσης και θερμοκρασίας της πολλαπλής εισαγωγής βρίσκονται σε ένα ενιαίο εξάρτημα στην πολλαπλή εισαγωγή.

3.5.11 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

Το σήμα του αισθητήρα θερμοκρασίας της πολλαπλής εισαγωγής χρειάζεται από την ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα ως διορθωτική τιμή για τον υπολογισμό της πίεσης πλήρωσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο συνυπολογίζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στην πυκνότητα του αέρα πλήρωσης. Σε περίπτωση βλάβης του σήματος η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα υπολογίζει με μία σταθερή εναλλακτική τιμή, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει πτώση της απόδοσης.

3.5.12 ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ

Ο μετρητής μάζας αέρα είναι ο αισθητήρας που μας δείχνει το πραγματικό φορτίο του κινητήρα. Με μέτρηση επιστροφών υπολογίζει την αναρροφούμενη ποσότητα αέρα. Βρίσκεται στην πολλαπλή εισαγωγής. Με το άνοιγμα και το κλείσιμο βαλβίδων δημιουργούνται επιστροφές της αναρροφούμενης ποσότητας αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής.

Ο μετρητής μάζας αέρα με υπολογισμό της επιστρεφόμενης ποσότητας αναγνωρίζει την επιστρεφόμενη ποσότητα του αέρα και με ένα σήμα τη συνυπολογίζει από την ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα. Έτσι είναι πολύ ακριβής η μέτρηση της μάζας του αέρα. Οι τιμές μέτρησης χρησιμοποιούνται από την ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα για τον υπολογισμό της ποσότητας ψεκασμού και της ποσότητας των καυσαερίων ανακύκλωσης. Σε περίπτωση βλάβης του μετρητή μάζας αέρα η ηλεκτρονική μονάδα λειτουργεί βάσει μίας σταθερής τιμής (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

Επιπλέον, η ηλεκτρονική μονάδα λαμβάνει και υπολογίζει και άλλα σήματα αισθητήρων, όπως είναι η ενεργοποίηση του κλιματισμού, η ταχύτητα αυτοκινήτου, καθώς και το σήμα από τον αισθητήρα του συστήματος ελέγχου ταχύτητας (αγγλ.: *cruise control*).

3.6 COMMON RAIL ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Η διαφορά μεταξύ των συστημάτων δεύτερης και τρίτης γενιάς, εκτός από την πίεση έγχυσης, είναι η αντλία χαμηλής πίεσης που είναι ηλεκτρική εσωτερικά στο ρεζερβουάρ. Στο σύστημα τρίτης γενιάς, εκτός από τη πίεση έγχυσης, 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:

- ✓ Στο υποσύστημα καυσίμου χαμηλής πίεσης.
- ✓ Στο υποσύστημα καυσίμου υψηλής πίεσης.
- ✓ Στο υποσύστημα επιστρεφόμενου καυσίμου.

Η αντλία χαμηλής πίεσης (5-10 bar, 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 – 6 μm .

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 (Δακτυλίδης, 2014).

Εν συνεχεία, η γρاناζωτή 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 γρاناζωτή. 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

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 1.600 bar, 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 (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

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 κατάθλιψης 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

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 – καυσίμου, 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 ακριβείς έλεγχοι στο σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR (Δακτυλίδης, 2014).

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 πιλοτικού ψεκασμού, στις μεταβλητές του συστήματος και σε διάφορες λειτουργίες που αφορούν το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

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.

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 4.5 bar. Η βοηθητική αντλία πετρελαίου είναι εξωτερική κοντά στο ρεζερβουάρ στο rail πρώτης γενιάς και εσωτερική στο ρεζερβουάρ της δεύτερης 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 έξοδό 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. (Δακτυλίδης, 2014)

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). 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

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. 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 σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο (πάνω από 95 cc), έτσι ώστε ο οδηγός να προβεί σε αποστράγγιση (Δακτυλίδης, 2014).

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 (Δακτυλίδης, 2014).

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 40C), ενώ όταν η θερμοκρασία του καυσίμου φτάσει τους 97°C, η μονάδα ελέγχου θα διακόψει τη λειτουργία του κινητήρα (Σουνδουλουνάκης, 2016).

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

Η βαλβίδα υπερχειλίσσης 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Η 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η εκτόνωση – μείωση της πίεσης του καυσίμου στην κοινή γραμμή τροφοδοσίας.

3.7 ΤΥΠΟΙ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΙΕΣΗΣ

1. Ελέγχου 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 (Δακτυλίδης, 2014).

2. Ελέγχου 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 μεταξύ 4.5 και 6.0 bar, 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.8 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΤΛΙΩΝ

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° 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 (Δακτυλίδης, 2014).

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 (Δακτυλίδης, 2014).

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 (χρονισμός) και γι' αυτό το λόγο δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτησή τους σε συγκεκριμένη θέση σε σχέση με την περιστροφή του κινητήρα.

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 200 bar 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 l/h , ενώ για τη λίπανση των εμπρόσθιων ρουλεμάν, χρησιμοποιείται το λάδι του κινητήρα (Αρκούλης & Γιάννος, 2014).

3.9 ΚΟΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Ο 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

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. 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 αλλάζει 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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.10 ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

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 .

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. 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 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 (Κονταξάκης, 2006).

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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.11 ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΓΧΥΣΗ / ΠΡΟΨΕΚΑΣΜΟΣ

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 (Δακτυλίδης, 2014).

3.11.1 ΚΥΡΙΑ ΕΓΧΥΣΗ

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.

3.11.2 ΜΕΤΕΓΧΥΣΗ

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 (Σουνδουλουνάκης, 2016).

3.11.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΨΕΚΑΣΜΟΥ

Οι σκοποί του προψεκασμού είναι οι εξής:

- Μείωση θορύβου καύσης - εκπομπών άκαυστων υδρογονανθράκων (HC).
- Κατανάλωσης (αργοπορία έναρξης ψεκασμού).

3.11.4 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΠΡΟΨΕΚΑΣΜΟΥ

Οι συνέπειες του προψεκασμού είναι οι εξής:

- 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.

3.11.5 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Οι συνέπειες του δευτερεύοντα ψεκασμού είναι οι εξής:

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

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συστήματα προθέρμανσης

Τα συστήματα προθέρμανσης που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) προθερμαντήρες αέρα εισαγωγής και β) προθερμαντήρες θαλάμου καύσης.

ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ ΑΕΡΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

Οι προθερμαντήρες αέρα εισαγωγής τοποθετούνται στη ροή του εισερχόμενου αέρα τον οποίο και θερμαίνουν είτε με φλόγα που παράγεται από την καύση καυσίμου είτε με θερμαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση (θερμαινόμενη φλάντζα). Οι δε προθερμαντήρες θαλάμου καύσης τοποθετούνται στην κυλινδροκεφαλή του κινητήρα με τέτοιο τρόπο ώστε η πυρακτωμένη άκρη του προθερμαντήρα να βρίσκεται στον θάλαμο καύσης (Σουνδουλουνάκης, 2016).

ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ ΘΑΛΑΜΟΥ ΚΑΥΣΗΣ

Ένα σύστημα προθέρμανσης κινητήρα εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες (Σουνδουλουνάκης, 2016):

- ⇒ Προθέρμανση / μεταθέρμανση θαλάμου καύσεως κινητήρα.
- ⇒ Ενεργοποίηση μονάδας προθέρμανσης μέσω ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου κινητήρα.
- ⇒ Ανίχνευση θερμοκρασίας και φορτίου κινητήρα.
- ⇒ Έλεγχος χρόνου προθέρμανσης / μεταθέρμανσης.
- ⇒ Έλεγχος ενδεικτικής λυχνίας προθέρμανσης.
- ⇒ Μετάδοση πληροφορίας αυτοδιάγνωσης και κατάστασης λειτουργίας προθερμαντήρων στη μονάδα ελέγχου ECM.

Συμπεράσματα

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας τείνουν να εκλείψουν όλες εκείνες οι αιτίες που συντελούσαν στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους και της συγκέντρωσης των σωματιδίων του καπνού. Η ποιότητα των ρύπων έχει βελτιωθεί σημαντικά, ενώ νέου τύπου τεχνολογίες μειώνουν αισθητά το πρόβλημα της αιθαλομίχλης.

Μεγάλη μείωση των εκπομπών επιτεύχθηκε τα τελευταία χρόνια, όποτε και τέθηκαν σε ισχύ οι πρώτες προδιαγραφές ελέγχου καυσαερίων. Αυτό επιτεύχθηκε με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, την ευρύτερη εφαρμογή της ηλεκτρονικής και της τεχνικής των υπολογιστών. Κατά την καύση του πετρελαίου κίνησης σχηματίζονται αέριοι ρύποι καθώς και στερεοί & υγροί ρύποι - Σωματίδια. Οι σημαντικότεροι ρύποι ενδιαφέροντος για τους πετρελαιοκινητήρες είναι οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες (HC), τα οξειδία του αζώτου (NOx), τα σωματίδια αιθάλης (C) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Τα συστήματα αντιρρύπανσης των πετρελαιοκινητήρων είναι εφαρμοσμένες τεχνολογίες που αφορούν τόσο το εσωτερικό όσο και το εξωτερικό του κινητήρα.

Μία από τις τεχνολογίες που αναπτύσσεται είναι η επανακυκλοφορία καυσαερίων. Κατά την ανακύκλωση καυσαερίων ένα μέρος τους επιστρέφεται στην εισαγωγή και διοχετεύεται στον χώρο καύσης. Επειδή τα καυσαέρια περιέχουν πολύ λίγο οξυγόνο μειώνεται η μέγιστη θερμοκρασία καύσης και συνεπώς η μέγιστη πίεση καύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εκπομπής οξειδίων του αζώτου. Η ανακύκλωση των καυσαερίων γίνεται από ένα σύστημα που ονομάζεται σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων.

Με τη χρήση των φίλτρων συγκράτησης μικροσωματιδίων, επιτυγχάνεται μείωση των υδρογονανθράκων και των μονοξειδίων του άνθρακα. Το εσωτερικό των φίλτρων συγκράτησης μικροσωματιδίων μοιάζει με αυτό των καταλυτικών μετατροπέων και συνήθως είναι κατασκευασμένα από καρβίδιο πυριτίου, ενώ η επένδυσή τους είναι από ευγενή μέταλλα. Το φίλτρο σωματιδίων diesel πρέπει τακτικά να απελευθερώνεται από τα σωματίδια αιθάλης, έτσι ώστε να μην βουλώνει και να μην επηρεάζεται η λειτουργία του. Τα σωματίδια της αιθάλης που συγκεντρώνονται στο φίλτρο καίγονται (οξειδώνονται) και έτσι καθαρίζει το φίλτρο.

Σύμφωνα με το Σύστημα Επιλεκτικής Κατάλυσης, συνδυάζεται η βελτιστοποιημένη καύση του κινητήρα σε συνεργασία με ένα σύστημα τελικής επεξεργασίας των καυσαερίων με κύριο σκοπό την ελάττωση των επιπέδων οξειδίου του αζώτου. Βασικό στοιχείο της όλης διεργασίας είναι η χρήση του διαλύματος AdBlue. Το Σύστημα Επιλεκτικής Κατάλυσης (αγγλ.: *SCR / Selective Catalytic Reduction*) είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλα σύγχρονα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται προκειμένου να ανταποκριθούν οι κατασκευαστές επαγγελματικών οχημάτων στην οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για οχήματα με SCR με σκοπό τη μείωση των εκπομπών καυσαερίων σε κινητήρες πετρελαίου Euro 4 και μετέπειτα βαρέων οχημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✚ Αρκούλης, Ν. & Γιάννος, Γ., 2014. *Συστήματα πετρελαιοκίνησης αυτοκινήτων*, Αθήνα: ΙΜΕ - ΓΣΕΒΕΕ.
- ✚ Δακτυλίδης, Α., 2014. *Συστήματα ψεκασμού βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων (Πτυχιακή εργασία)*. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτης.
- ✚ Κονταξάκης, Δ., 2006. *Μελέτη Πετρελαιοκινητήρα (1.900cc) με Υπερπλήρωση TURBO*. Άγιος Νικόλαος: s.n.
- ✚ Κωσταρέλος, Δ., 2013. *Ντίζελ, πετρελαιοκινητήρες, μπεκ και common rail*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.caroto.gr/2013/04/09/diesel-common-rail-2013-caroto/>
[Πρόσβαση 26 Μάρτιος 2019].
- ✚ Μαρινόπουλος, Ν. Ι., 2009. *Τα πάντα για τους κινητήρες*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.caroto.gr/2009/03/03/diesel-%CF%80%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82-%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%B5%CF%87%CF%8E%CF%82-%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AC/>
[Πρόσβαση 26 Μάρτιος 2019].
- ✚ Πέππας, Γ., 2011. *Βενζίνη VS Diesel*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.gpeppas.gr/4x4/BenzinaVsDiesel.html>
[Πρόσβαση 25 Μάρτιος 2019].
- ✚ Πηλέας, Π., 2016. *Πετρελαιοκινητήρες (Diesel engines)*, Καβάλα: ΑΤΕΙ Καβάλας.
- ✚ Σουνδουλουνάκης, Σ., 2016. *Η εξέλιξη των συστημάτων ψεκασμού diesel common rail*, Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτης.

- ✚ https://gr.bosch-automotive.com/el/parts_and_accessories_4/engine_systems_3/diesel_2/unit_injector_system_2/unit_injector_system_diesel_motorsys_parts
- ✚ <https://www.caroto.gr/2013/04/09/diesel-common-rail-2013-caroto/>
- ✚ <https://www.autodoc.gr/info/tdi>
- ✚ <https://infoservice.com.gr/technical/vw-group-i-kinitires-tdi-ke-ta-provli%C2%B5ata-tous-meros-a/>
- ✚ <https://infoservice.com.gr/technologie/vw-group-i-kinitires-tdi-ke-ta-provlimata-tous-meros-b%CE%84/>
- ✚ https://www.autotriti.gr/data/news/preview_news/102856_8550.asp
- ✚ <https://www.auto-diesel.gr/article.php?cat=153>
- ✚ <http://www.power-service.gr/site/page/%CE%99%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CE%95%CE%BE%CE%AD%CE%BB%CE%B9%CE%BE%CE%B7?CMCCode=6001&extLang=>
- ✚ https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82_%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB
- ✚ <https://www.caroto.gr/2009/03/18/831/>