



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

«Συγκριτική Αξιολόγηση Λειτουργικής Απόδοσης και Επιπέδου

Εκπεμπόμενων Ρύπων κινητήρων Diesel και Otto Αυτοκίνησης»



Του φοιτητή Μανωλιουδάκη Παναγιώτη

Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1	Εισαγωγικά Στοιχεία στους Εμβολοφόρους Κινητήρες Otto και Diesel.....	7
1.1.1	Αρχή λειτουργίας - Ιστορική Αναδρομή Κινητήρων Otto και Diesel	7
1.1.2	Κατηγοριοποίηση – Τομείς εφαρμογής	11
1.1.2.1	Διαχωρισμός με βάση τον τρόπο ανάφλεξης	11
	Κινητήρες Otto.....	12
	Κινητήρες Diesel	15
1.1.2.2	Διαχωρισμός με βάση τους χρόνους λειτουργίας	17
	Δίχρονοι κινητήρες	18
	Τετράχρονοι κινητήρες	19
	Σύγκριση 2-Χ και 4-Χ κινητήρων	21
1.1.3	Ιδανικοί κύκλοι αέρα Otto και Diesel	22
1.1.4	Πραγματικοί κύκλοι λειτουργίας εμβολοφόρων μηχανών-Βασικά μεγέθη επίδοσης-απόδοσης.....	25
1.1.4.1	Εισαγωγικά στοιχεία για τον πραγματικό κύκλο	25
1.1.4.2	Πραγματικός κύκλος λειτουργίας κινητήρα σπινθηρισμού (Spark ignited engine)	28
1.1.4.3	Σημεία διαφοροποίησης πραγματικού και αντίστοιχου ιδανικού κύκλου λειτουργίας.....	32

1.1.4.4	Παράθεση βασικών μεγεθών επίδοσης-απόδοσης πραγματικής λειτουργίας εμβολοφόρου μηχανής.....	34
1.1.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα – Περιβαλλοντικό αποτύπωμα.....	37
1.2	Εφαρμογές Κινητήρων Otto και Diesel	39
1.3	Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας	39
2.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΟΤΤΟ.....	41
2.1	Εξέλιξη στο Σύστημα Προσαγωγής Καυσίμου.....	41
2.1.1	Ο Εξαερωτήρας	41
2.1.2	Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου	44
2.2	Σύστημα Χρονισμού Κινητήρα.....	48
2.2.1	Μεταβλητό Σύστημα Χρονισμού Κινητήρα	49
2.3	Σύστημα Προσαγωγής Αέρα.....	51
2.3.1	Συστήματα Υπερπλήρωσης.....	52
2.4	Σύστημα Διαχείρισης Καυσαερίου	57
2.4.1	Καταλυτικοί Μετατροπείς.....	57
2.4.2	Σύστημα Ανακυκλοφορίας Καυσαερίων	59
2.5	Σύγχρονα Συστήματα Ψύξης και Λίπανσης.....	61
2.5.1	Σύγχρονα Συστήματα Ψύξης.....	61
2.5.2	Σύγχρονα Συστήματα Λίπανσης	64
3.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL.....	66
3.1	Εξέλιξη στο Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου	66
3.1.1	Ιστορική Αναδρομή Συστήματος Έγχυσης Καυσίμου.....	66

3.1.2	Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου	67
3.1.2.1	Συστήματα Έμμεσου Ψεκασμού	67
3.1.2.2	Συστήματα Άμεσης Έγχυσης Καυσίμου	69
3.1.2.3	Σύστημα Common Rail	71
3.2	Συστήματα Υπερπλήρωσης	72
3.3	Σύστημα Διαχείρισης Καυσαερίου	73
3.3.1	Ανακυκλοφορία Καυσαερίων (EGR).....	74
3.3.2	Οξειδωτικός Καταλύτης.....	75
3.3.3	Παγίδα Αιθάλης (DPF)	76
3.3.4	Επιλεκτικός Αναγωγικός Καταλύτης.....	78
3.4	Μικτή Καύση Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου σε Κινητήρες Diesel.....	79
4.	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ	
	ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗΣ	81
4.1	Εισαγωγή-Σύντομη Ανάλυση Ρύπων από Κινητήρες Αυτοκίνησης.....	81
4.2	Περιορισμοί και Προδιαγραφές Εκπομπής Ρύπων από Εμβολοφόρους Κινητήρες Οχημάτων.....	84
4.2.1	Κατηγοριοποίηση των Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	84
4.3	Προδιαγραφές Εκπομπής Ρύπων Οχημάτων Κατηγορίας M ₁	86
4.3.1	Εκπομπές από την Εξάτμιση των Οχημάτων	87
4.3.1.1	Προδιαγραφές Euro.....	87
4.3.1.2	Δυναμομέτρηση Κινητήρα σε Κύκλο Οδήγησης.....	92
4.3.2	Διάρκεια Ζωής των Μέσων Αντιρύπανσης	94

4.3.3	Προδιαγραφές Εκπομπών Θορύβου.....	95
5.	ΕΠΙΛΕΞΙΜΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΓΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	98
5.1	Εισαγωγή.....	98
5.2	Παρουσίαση Επιλέξιμου Κινητήρα Diesel	99
5.3	Παρουσίαση Επιλέξιμου Κινητήρα Otto	103
6.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΛΕΞΙΜΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	107
6.1	Εισαγωγή.....	107
6.2	Συγκριτική αξιολόγηση.....	107
6.2.1	Κόστος Κτήσης	107
6.2.2	Κόστος Χρήσης.....	108
6.2.2.1	Κόστος καυσίμου	108
6.2.2.2	Κόστος συντήρησης.....	109
6.2.3	Επιδόσεις των Επιλέξιμων Κινητήρων	111
6.2.4	Απόδοση των Επιλέξιμων Κινητήρων	112
6.2.4.1	Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου.....	113
6.2.4.2	Ειδική Ισχύς και Ειδική Ροπή Κινητήρα.....	114
6.2.4.3	Μέγιστη Αυτονομία	115
6.2.5	Μέσα Επίπεδα Εκπομπών	116
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	117
7.1	Κόστος Χρήσης.....	117
7.2	Επιδόσεις.....	118

7.3	Απόδοση.....	119
7.4	Μέσα Επίπεδα Εκπομπών	119
7.5	Τελική Συγκριτική Αξιολόγηση.....	120
8.	Βιβλιογραφία.....	122

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία στους Εμβολοφόρους Κινητήρες Otto και Diesel

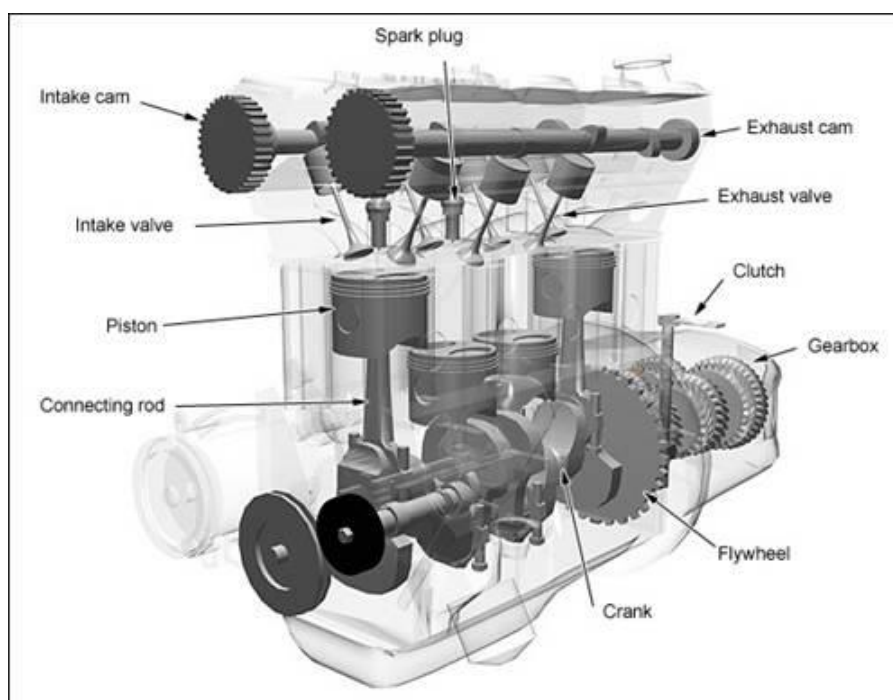
Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή μηχανικού έργου, χρησιμοποιώντας τη χημική ενέργεια των καυσίμων που εκλύεται με τη μορφή θερμότητας κατά την καύση. Διαφοροποιούνται από τις μηχανές εξωτερικής καύσης στο ότι τα προϊόντα της αντίδρασης του καυσίμου με το οξειδωτικό (καύση) αποτελούν και το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή μηχανικής ισχύος. Η πιο κοινή κατηγορία μηχανών εσωτερικής καύσης είναι οι εμβολοφόρες ΜΕΚ λόγω της σχετικά απλής κατασκευής τους και τη μεγάλη συγκέντρωση ισχύος που εμφανίζουν. Χρησιμοποιούνται ευρέως κυρίως στις μεταφορές (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, τραίνα, αεροπλάνα, πλοία κλπ) και σε μικρότερο βαθμό στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.1.1 Αρχή λειτουργίας - Ιστορική Αναδρομή Κινητήρων Otto και Diesel

Στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ), το εργαζόμενο μέσο αναρροφάται από τη μηχανή και συμπιέζεται αυξάνοντας τη θερμοκρασία του. Στη συνέχεια αναφλέγεται το μίγμα καυσίμου αέρα αποδίδοντας θερμική ενέργεια στο εργαζόμενο μέσο οδηγώντας στην αύξηση της πίεσης ή του όγκου (Otto ή Diesel αντίστοιχα) και της θερμοκρασίας του. Ακολουθεί η αποτόνωση του εργαζόμενου μέσου που αποδίδει το παραγόμενο έργο της μηχανής. Ένα μέρος χρησιμοποιείται για την συμπίεση του μέσου και το υπόλοιπο αποτελεί το ωφέλιμο έργο. Τα βασικά μέρη που απαρτίζουν μία εμβολοφόρο μηχανή εσωτερικής καύσης είναι ο θάλαμος καύσης, το έμβολο, ο διωστήρας και ο στροφαλοφόρος άξονας. Η καύση γίνεται στο θάλαμο καύσης,

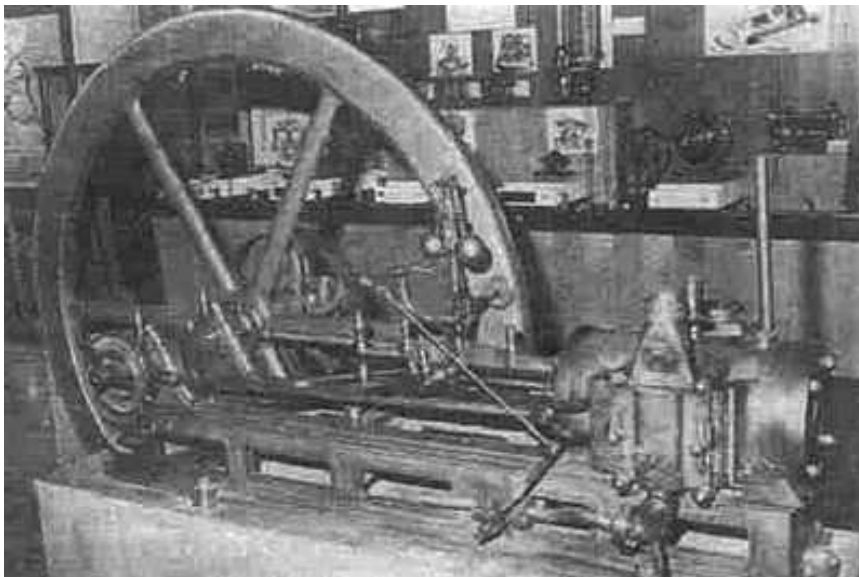
δημιουργώντας καυσαέρια τα οποία εκτονώνονται αναγκάζοντας το έμβολο να μετακινηθεί. Η κίνηση του εμβόλου μέσω του διωστήρα περιστρέφει το στροφαλοφόρο άξονα αποδίδοντάς του μηχανική ισχύ.

Μια εμβολοφόρος μηχανή εσωτερικής καύσης αποτελείται από το κυρίως μέρος του κινητήρα (μπλοκ), την κυλινδροκεφαλή, και τα περιφερειακά εξαρτήματα. Το μπλοκ του κινητήρα αποτελείται από τον κορμό, και το μηχανισμό έμβολο, διωστήρα, στροφαλοφόρου άξονα. Η κυλινδροκεφαλή τοποθετείται πάνω από το μπλοκ του κινητήρα και περιλαμβάνει τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής (όπου υπάρχουν) και τον εκκεντροφόρο άξονα. Στα περιφερειακά συστήματα περιλαμβάνονται οι αντλίες που απαιτούνται για τη λειτουργία του κινητήρα (λαδιού, νερού), το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, τα φίλτρα λαδιού και καυσίμου, το σύστημα χρονισμού, το σύστημα εκκίνησης του κινητήρα, το ηλεκτρικό σύστημα με τους απαραίτητους αισθητήρες, οι πολλαπλές εισαγωγής και εξαγωγής, οι απαραίτητες σωληνώσεις για την κυκλοφορία του αέρα, του νερού και του λαδιού.



Εικόνα 1 Απεικόνιση των μερών μιας εμβολοφόρου ΜΕΚ

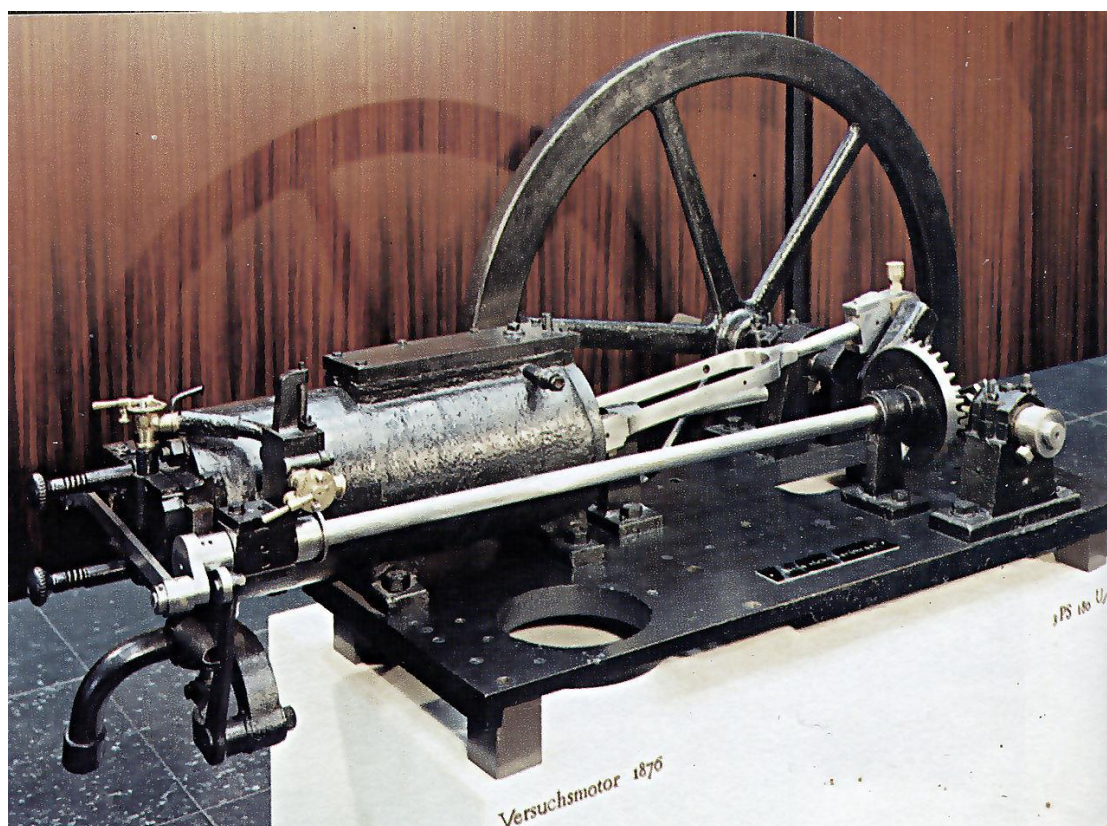
Το 19^ο αιώνα έγιναν πολλές προσπάθειες για την κατασκευή μηχανών εσωτερικής καύσης. Από το 17^ο αιώνα χρησιμοποιούνταν θερμά καυσαέρια για να κινήσουν αντλίες. Το 1820 στην Αγγλία, κατασκευάστηκε ένας κινητήρας ο οποίος λειτουργούσε με έκρηξη μίγματος αέρα-υδρογόνου. Αυτοί οι κινητήρες ήταν ιδιαίτερα βαριοί, όμως έθεσαν τη βάση για την μετέπειτα εξέλιξη των ΜΕΚ. Το 1824 ο Γάλλος μηχανικός Sadi Carnot δημοσίευσε το σύγγραμμα «Σκέψεις πάνω στην ωστική δύναμη της θερμότητας», θέτοντας τις βασικές αρχές για τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Ο πρώτος πρακτικά χρησιμοποιήσιμος κινητήρας εσωτερικής καύσεως κατασκευάστηκε το 1860 από τον Βέλγο εφευρέτη Jean Joseph Étienne Lenoir. Όμως λόγω της ελάχιστης συμπίεσης του μίγματος αέρα-γκαζιού η απόδοση του κινητήρα ήταν ιδιαίτερα χαμηλή.



Εικόνα 2 Ο κινητήρας του Lenoir

Ο Γερμανός μηχανικός Nicolaus August Otto παρουσίασε το 1876 τον πρώτο τετράχρονο κινητήρα εφαρμόζοντας τον τετράχρονο κύκλο που είχε προτείνει ο Beau

de Rochas το 1862. Ο τετράχρονος αυτός κινητήρας συμπιέζε το μίγμα αέρα-καυσίμου, αυξάνοντας σημαντικά την αποδιδόμενη ισχύ.



Εικόνα 3 Ο 4-Χ κινητήρας του Otto

Την ίδια εποχή αντί για γκάζι άρχισε να χρησιμοποιείται ως καύσιμο η βενζίνη. Οι Γερμανοί Gottlieb Daimler και Wilhelm Maybach κατασκεύασαν το 1883 έναν κινητήρα που περιστρεφόταν γρηγορότερα από τους υπόλοιπους κινητήρες Otto, με 900 σαλ. Ο επίσης Γερμανός Carl Benz, το 1885 κατασκεύασε το πρώτο του όχημα. Επρόκειτο για ένα τρίκυκλο με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ένα χρόνο αργότερα ξεκίνησαν να κατασκευάζουν και να πωλούν μαζικά αυτοκίνητα.

Το 1892 ο Rudolf Diesel κατέθεσε ευρεσιτεχνία για τον ομώνυμο κινητήρα, ο οποίος μελετήθηκε μέχρι το 1897 με χρηματοδότηση της εταιρίας Friedrich Krupp AG. Ο κινητήρας που πρότεινε ο Diesel είχε ιδιαίτερα υψηλή απόδοση της τάξης του 26%, ενώ οι ατμομηχανές έφταναν σε απόδοση το 12%. Το 1897 παρουσιάστηκε ο πρώτος

κινητήρας κατάλληλος για ευρεία χρήση. Λίγο αργότερα παρουσιάστηκε ένας ακόμη κινητήρας ο οποίος χρησιμοποιούσε σαν καύσιμο το φυσικέλαιο.

Ο πρώτος κινητήρας Diesel με βελτιωμένη απόδοση κατασκευάστηκε από την εταιρία MAN το 1926 και χρησιμοποιήθηκε σε φορτηγά. Πρώτη φορά σε επιβατικό όχημα εφαρμόστηκε το 1936 στο Mercedes Benz 260D. Από τότε οι κινητήρες συνεχώς εξελίσσονται βελτιώνοντας την απόδοσή τους, την κατανάλωση καυσίμου, την αξιοπιστία τους, διατηρώντας όμως τις αρχές λειτουργίας που τέθηκαν στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η εξέλιξη αυτή στα επιμέρους συστήματα αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια.

1.1.2 Κατηγοριοποίηση – Τομείς εφαρμογής

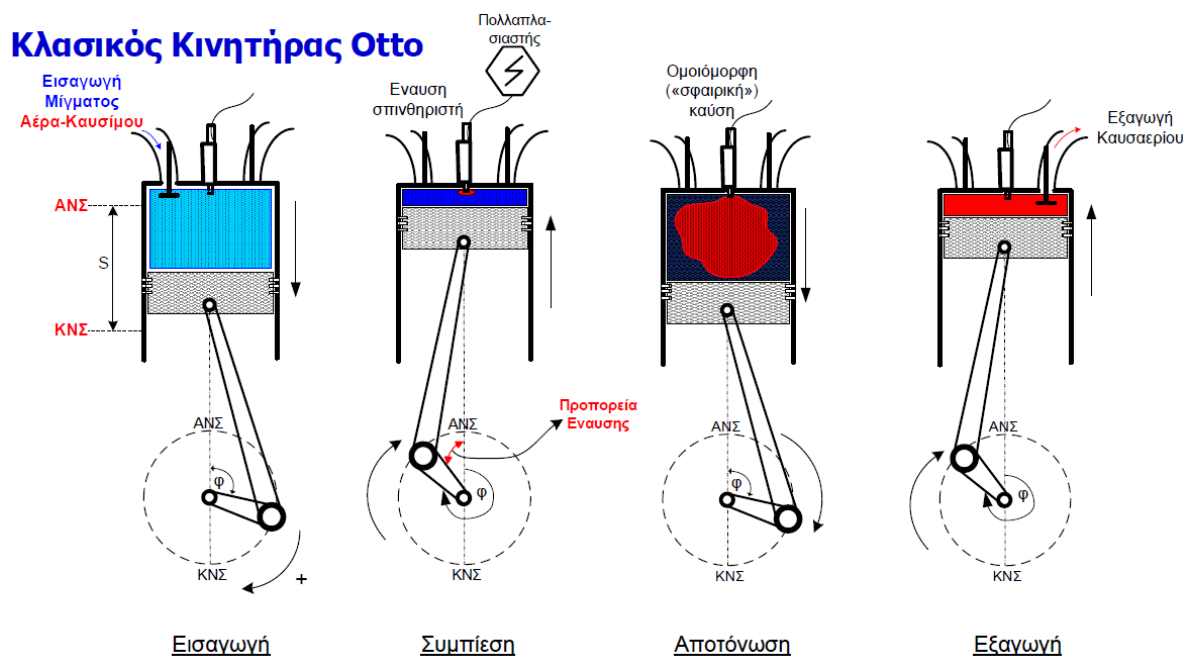
1.1.2.1 Διαχωρισμός με βάση τον τρόπο ανάφλεξης

Οι εμβολοφόροι κινητήρες εσωτερικής καύσης λειτουργούν στη βάση των αντίστοιχων θερμοδυναμικών κύκλων. Έτσι διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο ανάφλεξης. Οι κινητήρες στους οποίους χρησιμοποιείται εξωτερικός σπινθηριστής ονομάζονται κινητήρες σπινθηρισμού ή κινητήρες Otto (επειδή βασίζονται στο θερμοδυναμικό κύκλο του Otto). Ο σπινθηρισμός γίνεται στο τέλος της συμπίεσης και ξεκινά η καύση. Η ρύθμιση ισχύος στους κινητήρες σπινθηρισμού γίνεται μέσω της στραγγαλιστικής βαλβίδας στην εισαγωγή αέρα (πεταλούδα) η οποία ρυθμίζει την παροχή αέρα στον κινητήρα. Στους κινητήρες όπου δεν υπάρχει εξωτερικός σπινθηριστής και πραγματοποιείται αυτανάφλεξη του καυσίμου λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατεί στον θάλαμο καύσης, ονομάζονται κινητήρες αυτανάφλεξης ή κινητήρες Diesel (επειδή βασίζονται στο θερμοδυναμικό κύκλο του Diesel). Οι κινητήρες Diesel συμπιέζουν αέρα, και η έναρξη της καύσης γίνεται μετά την έγχυση του καυσίμου στο τέλος της συμπίεσης. Για να ξεκινήσει η αυτανάφλεξη

του καυσίμου, απαιτείται υψηλή θερμοκρασία και πίεση αέρα, η οποία επιτυγχάνεται με υψηλό λόγο συμπίεσης.

Κινητήρες Otto

Στους κινητήρες Otto γίνεται εισαγωγή της γόμωσης (μίγματος αέρα-καυσίμου) το οποίο στη συνέχεια συμπιέζεται. Στο τέλος της διαδικασίας της συμπίεσης, ένας σπινθηριστής αναφλέγει το προς καύση μίγμα αυξάνοντας την πίεση εντός του θαλάμου καύσης. Κατά την εκτόνωση των προϊόντων της καύσης παράγεται η ισχύς του κινητήρα. Στη συνέχεια απάγονται τα προϊόντα της καύσης και ξεκινά ο νέος κύκλος. Στους σημερινούς κινητήρες Otto χρησιμοποιείται ως καύσιμο κυρίως αμόλυβδη βενζίνη, ενώ τα τελευταία έτη έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται υγραέριο αυτοκίνησης λόγω της χαμηλότερης τιμής του. Η μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση άξονα μέσω του μηχανισμού εμβόλου-διωστήρα (μπιέλας)-στροφαλοφόρου άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 4 Διεργασίες Τετράχρονου Κινητήρα Otto

Επομένως ο κύκλος Otto περιλαμβάνει:

1. Εισαγωγή της νέας γόμωσης στο θάλαμο καύσης μέσω της πολλαπλής εισαγωγής και των βαλβίδων ή θυρίδων.
Ο αέρας και το καύσιμο αναμιγνύονται πριν την ανάφλεξη ώστε να σχηματίσουν ομογενοποιημένο μίγμα ατμών καυσίμου και αέρα. Η προσαγωγή του καυσίμου γίνεται είτε στον οχετό εισαγωγής του αέρα (Indirect Injection) είτε απευθείας στον κύλινδρο (Direct Injection)
2. Το μίγμα συμπιέζεται κατά την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ αφού έχουν κλείσει οι βαλβίδες ή θυρίδες
3. Λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) ο σπινθηριστής αναφλέγει το μίγμα
4. Ακολουθεί η αποτόνωση των καυσαερίων και η παραγωγή μηχανικού έργου
5. Εξάγονται από τον θάλαμο καύσης διαμέσου των βαλβίδων ή θυρίδων εξαγωγής τα προϊόντα της καύσης

Ένας τυπικός κινητήρας Otto περιλαμβάνει:

- Την αντλία καυσίμου

Η αντλία καυσίμου παρέχει το καύσιμο στον κινητήρα και βρίσκεται μέσα στη δεξαμενή καυσίμου

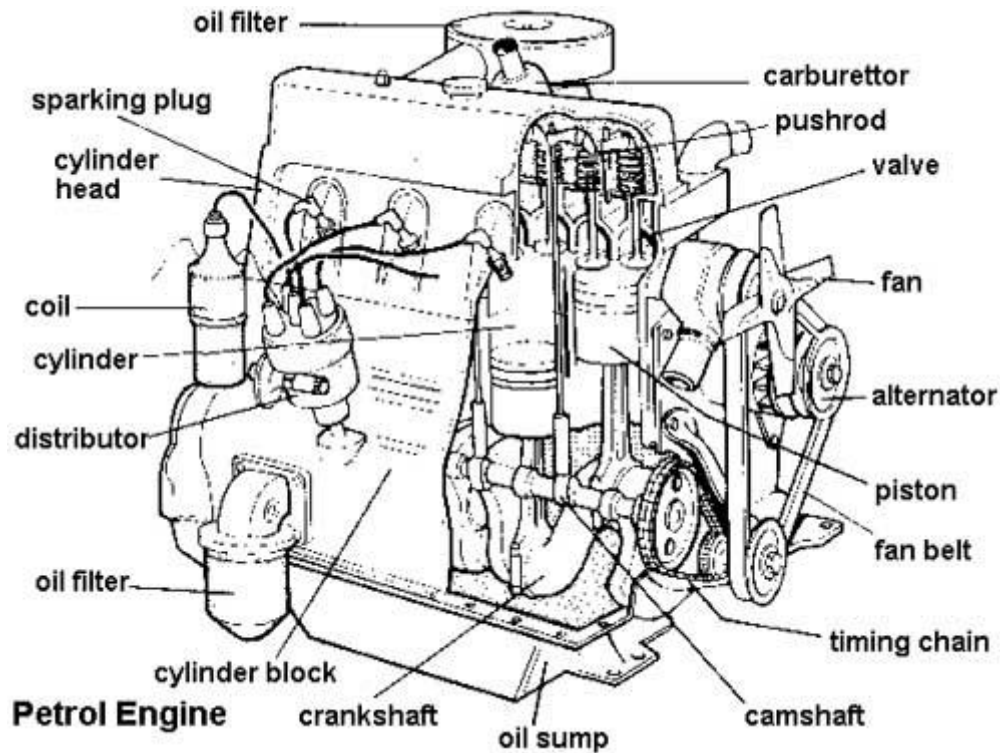
- Το σύστημα ψεκασμού καυσίμου

Το σύστημα ψεκασμού περιλαμβάνει τους εγχυτήρες (μπεκ) τα οποία ελέγχονται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα

- Τη στραγγαλιστική δικλείδα (πεταλούδα) η οποία 'ελέγχει' την παροχή μάζας αέρα.

Ο χρήστης ελέγχει το άνοιγμα της πεταλούδας. Η ισχύς του κινητήρα Otto ρυθμίζεται μέσω της παροχής αέρα (ποσοτική ρύθμιση ισχύος)

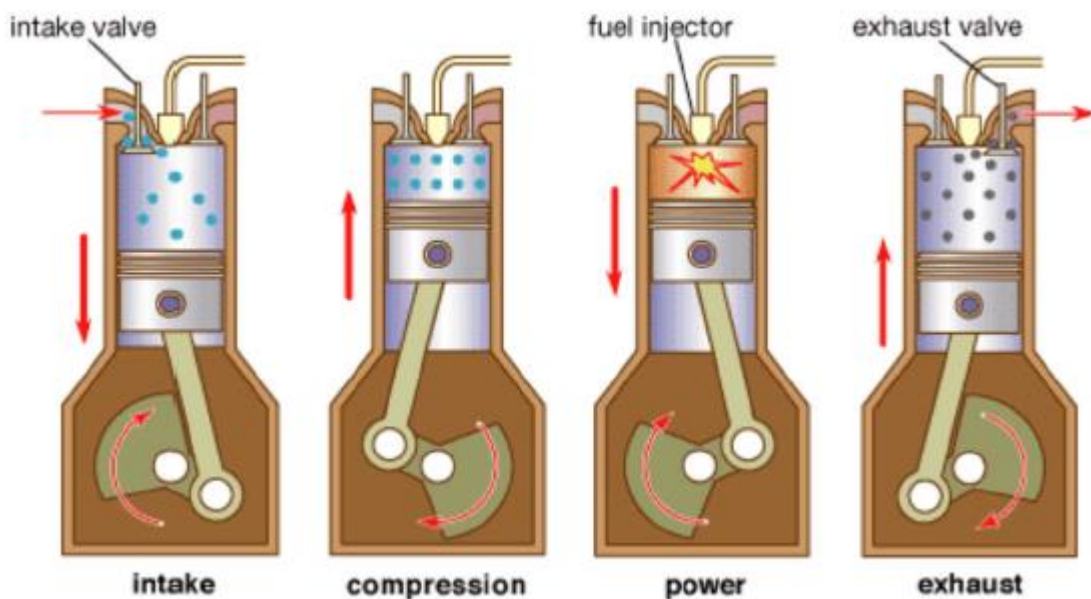
- Το σώμα του κινητήρα (μπλοκ) το οποίο περιλαμβάνει το θάλαμο καύσης
- Το σύστημα εισαγωγής και εξαγωγής της γόμωσης του κυλίνδρου. Στους τετράχρονους κινητήρες χρησιμοποιείται σύστημα βαλβίδων-εκκεντροφόρου άξονα, ενώ στους δίχρονους κινητήρες υπάρχουν κατάλληλα διαμορφωμένες οπές στον κύλινδρο.
- Το σύστημα έναυσης που περιλαμβάνει τον πολλαπλασιαστή ο οποίος παρέχει την κατάλληλη τάση στον σπινθηριστή (μπουζί) ώστε να γίνει ανάφλεξη της γόμωσης
- Πλήθος αισθητήρων που ελέγχουν τις λειτουργικές συνθήκες του κινητήρα
- Το σύστημα ψύξης



Εικόνα 5 Απεικόνιση Κινητήρα Otto

Κινητήρες Diesel

Στους κινητήρες Diesel γίνεται εισαγωγή του αέρα ο οποίος στη συνέχεια συμπιέζεται. Πριν το τέλος της διαδικασίας της συμπίεσης, εισάγεται το καύσιμο στον θάλαμο καύσης. Λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατεί στον κύλινδρο το μίγμα καυσίμου-αέρα αυταναφλέγεται, αυξάνοντας την πίεση εντός του θαλάμου καύσης. Κατά την εκτόνωση των προϊόντων της καύσης παράγεται η ισχύς του κινητήρα. Στη συνέχεια απάγονται τα προϊόντα της καύσης και ξεκινά ο νέος κύκλος. Στους σημερινούς κινητήρες Diesel χρησιμοποιείται ως καύσιμο κυρίως πετρέλαιο κίνησης. Η μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση άξονα μέσω του μηχανισμού εμβόλου-διωστήρα (μπιέλας)-στροφαλοφόρου άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 6 Διαργασίες 4-Χ κινητήρα Diesel

Επομένως ο κύκλος Diesel περιλαμβάνει:

1. Εισαγωγή αέρα στο θάλαμο καύσης μέσω της πολλαπλής εισαγωγής και των βαλβίδων ή θυρίδων.

2. Ο αέρας συμπιέζεται κατά την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ αφού έχουν κλείσει οι βαλβίδες ή θυρίδες και πριν το τέλος της συμπίεσης εισάγεται το καύσιμο μέσω του εγχυτήρα. Τα σταγονίδια του καυσίμου ατμοποιούνται και σχηματίζουν ετερογενές μίγμα με τον αέρα
3. Το μίγμα αέρα-καυσίμου αυταναφλέγεται λόγω της υψηλής συμπίεσης του αέρα
4. Ακολουθεί η αποτόνωση των καυσαερίων και η παραγωγή μηχανικού έργου
5. Εξάγονται από τον θάλαμο καύσης διαμέσου των βαλβίδων ή θυρίδων εξαγωγής τα προϊόντα της καύσης

Ένας τυπικός κινητήρας Diesel περιλαμβάνει:

- Την αντλία καυσίμου

Η αντλία καυσίμου παρέχει το καύσιμο στον κινητήρα και βρίσκεται στο χώρο του κινητήρα

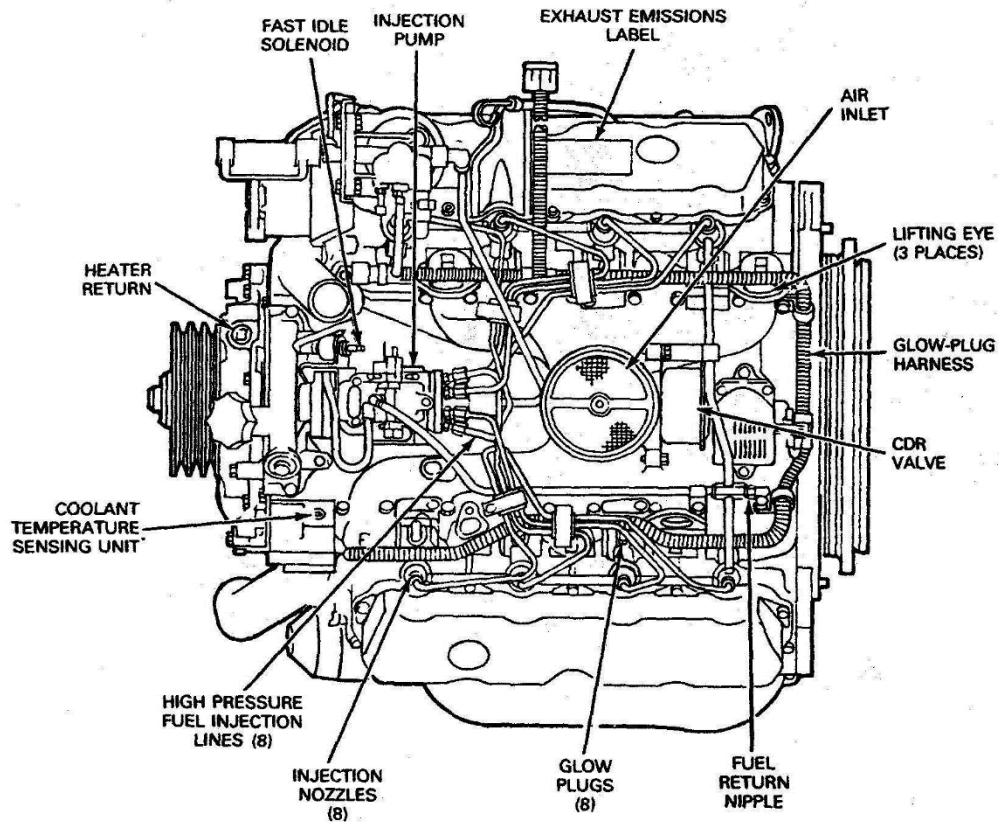
- Το σύστημα ψεκασμού καυσίμου

Το σύστημα ψεκασμού περιλαμβάνει τους εγχυτήρες (μπεκ) τα οποία ελέγχονται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα

Ο χρήστης ελέγχει την παροχή καυσίμου. Η ισχύς του κινητήρα Diesel ρυθμίζεται μέσω της παροχής καυσίμου (ποιοτική ρύθμιση ισχύος)

- Το σώμα του κινητήρα (μπλοκ) το οποίο περιλαμβάνει το θάλαμο καύσης
- Το σύστημα εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα στον κύλινδρο. Στους τετράχρονους κινητήρες χρησιμοποιείται σύστημα βαλβίδων-εκκεντροφόρου άξονα, ενώ στους δίχρονους κινητήρες υπάρχουν κατάλληλα διαμορφωμένες οπές στον κύλινδρο.

- Πλήθος αισθητήρων που ελέγχουν τις λειτουργικές συνθήκες του κινητήρα
- Το σύστημα ψύξης



Εικόνα 7 Σχηματική Απεικόνιση κινητήρα Diesel

1.1.2.2 Διαχωρισμός με βάση τους χρόνους λειτουργίας

Μία ακόμα διάκριση των κινητήρων είναι με βάση τους χρόνους στους οποίους πραγματοποιείται ένας θερμοδυναμικός κύκλος. Έτσι οι κινητήρες (Otto και Diesel) διακρίνονται σε δίχρονους και τετράχρονους. Ως χρόνος του κινητήρα ορίζεται η κίνηση του εμβόλου από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) προς το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) ή το αντίστροφο. Όταν ένας θερμοδυναμικός κύκλος ολοκληρώνεται σε μία περιστροφή του κινητήρα, ο κινητήρας είναι δίχρονος ενώ όταν ολοκληρώνεται σε δύο περιστροφές του κινητήρα είναι τετράχρονος.

Δίχρονοι κινητήρες

Οι δίχρονοι κινητήρες πραγματοποιούν όλες τις διεργασίες σε δύο παλινδρομικές κινήσεις, δηλαδή σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Στον πρώτο χρόνο πραγματοποιείται η καύση και η εκτόνωση, ενώ ξεκινά η εξαγωγή και η εισαγωγή. Στο δεύτερο χρόνο ολοκληρώνεται η εξαγωγή και η εισαγωγή της νέας γόμωσης και πραγματοποιείται η συμπίεση. Στους δίχρονους κινητήρες χρησιμοποιούνται θυρίδες για την εισαγωγή της γόμωσης και θυρίδες ή βαλβίδες (κυρίως στους δίχρονους Diesel) για την εξαγωγή των καυσαερίων.

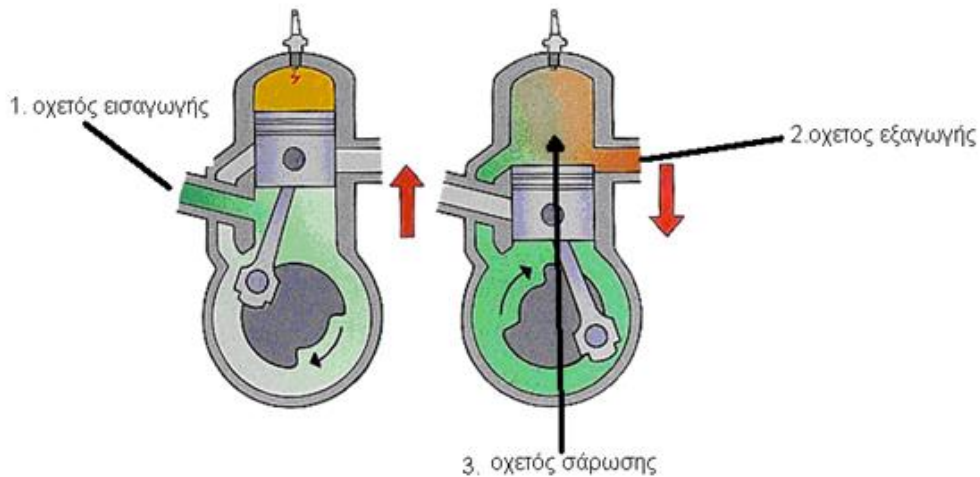
Αναλυτικά οι διεργασίες που επιτελούνται σε κάθε χρόνο είναι:

1^{ος} χρόνος Λειτουργίας

Λίγες μοίρες πριν το ANΣ ξεκινά η έναυση της γόμωσης (με τη βοήθεια σπινθηριστή για τους κινητήρες Otto και λόγω αυτανάφλεξης για τους κινητήρες Diesel). Στη συνέχεια το έμβολο κινείται λόγω της αύξησης της πίεσης προς το ΚΝΣ για περίπου 90 μοίρες. Πριν το ΚΝΣ αποκαλύπτονται οι θυρίδες εξαγωγής (ή ανοίγουν οι βαλβίδες εξαγωγής όπου υπάρχουν) και στη συνέχεια αποκαλύπτονται και οι θυρίδες εισαγωγής.

2^{ος} χρόνος Λειτουργίας

Το έμβολο έχει φτάσει στο ΚΝΣ και οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής (ή οι βαλβίδες εξαγωγής) παραμένουν ανοικτές. Μέσω των θυρίδων εισαγωγής εισάγεται η νέα γόμωση ωθώντας τα καυσαέρια εκτός του κυλίνδρου μέσω των θυρίδων (ή βαλβίδων) εξαγωγής. Κάποιες μοίρες μετά το ΚΝΣ το έμβολο καλύπτει τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής και ξεκινά η συμπίεση της γόμωσης. Στη συνέχεια λίγο πριν το ANΣ επαναλαμβάνεται ο πρώτος χρόνος λειτουργίας.



Εικόνα 8 Τυπική διάταξη 2-Χ κινητήρα Otto

Οι δίχρονοι κινητήρες Otto χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μικρό βάρος και υψηλή συγκέντρωση ισχύος, όπως μοτοσυκλέτες, εργαλεία χειρός κοκ. Οι δίχρονοι κινητήρες Diesel χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εφαρμογές όπως στη θαλάσσια πρόωση και στην ηλεκτροπαραγωγή.

Τετράχρονοι κινητήρες

Τετράχρονοι ονομάζονται οι κινητήρες που πραγματοποιούν έναν θερμοδυναμικό κύκλο σε παλινδρομικές κινήσεις, δηλαδή δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα. Οι 4-Χ κινητήρες χρησιμοποιούν πάντοτε βαλβίδες για την εισαγωγή της γόμωσης και την εξαγωγή των καυσαερίων. Το σύστημα εισαγωγής, αποτελείται από το φίλτρο αέρα, το σύστημα προετοιμασίας καυσίμου (όπου αυτό υπάρχει), την πολλαπλή εισαγωγή και τις βαλβίδες.

1^{ος} χρόνος Λειτουργίας

Στον 1^ο χρόνο, το έμβολο κινούμενο από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ γίνεται η εισαγωγή της γόμωσης μέσω της βαλβίδας εισαγωγής, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει κλειστή.

2^{ος} χρόνος Λειτουργίας

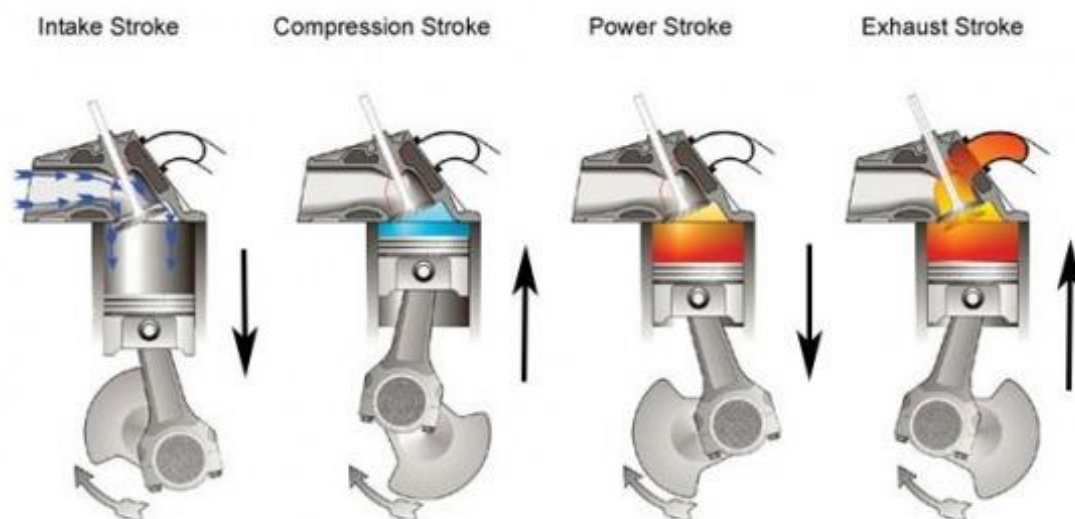
Στο 2^ο χρόνο λειτουργίας το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ συμπιέζοντας τη γόμωση, ενώ οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές.

3^{ος} χρόνος Λειτουργίας

Στον 3^ο χρόνο λειτουργίας πραγματοποιείται η καύση (είτε με τη βοήθεια σπινθηριστή για τους κινητήρες Otto είτε λόγω αυτανάφλεξης στους κινητήρες Diesel). Η αύξηση της πίεσης στον κύλινδρο ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ αποδίδοντας το παραγόμενο έργο.

4^{ος} χρόνος Λειτουργίας

Το έμβολο κατά την κίνησή του από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ ωθεί τα καυσαέρια έξω από τον κύλινδρο μέσω των βαλβίδων εξαγωγής που είναι πλέον ανοικτές. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, κλείνουν οι βαλβίδες εξαγωγής και ξεκινά ο επόμενος κύκλος.



Εικόνα 9 Τυπική διάταξη 4-Χ κινητήρα

Στην πλειοψηφία των οχημάτων (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία κλπ) χρησιμοποιούνται τετράχρονοι κινητήρες με τυπικά χαρακτηριστικά:

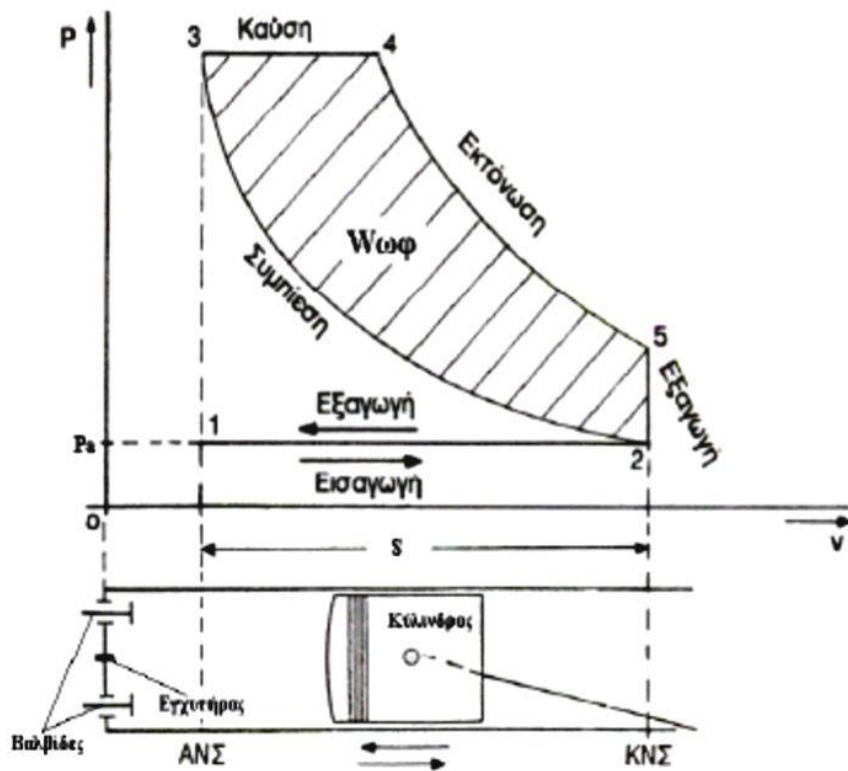
- Διάταξη σε σειρά με 2-6 κυλίνδρους ή διάταξη V με 4-12 κυλίνδρους
- Κινητήρες φυσικής αναπνοής (κυρίως σε κινητήρες Otto) ή υπερπληρωμένοι (Otto και Diesel)
- Αποδίδουν ισχύ 10-50 kW/κύλινδρο
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής ≈ 4500 σαλ για τους Diesel και ≈ 12000 σαλ σε κινητήρες Otto
- Τυπική διάμετρος-διαδρομή εμβόλου 30-150 mm
- Μέση πραγματική πίεση 6 bar για κινητήρες φυσικής αναπνοής και 20 bar για υπερπληρωμένους κινητήρες σε πλήρες φορτίο
- Μέγιστη πίεσης καύσης έως 55 bar για Otto και έως 100 bar για Diesel

Τυπικός βαθμός απόδοσης περίπου 30% για κινητήρες Otto και περίπου 35% για κινητήρες Diesel

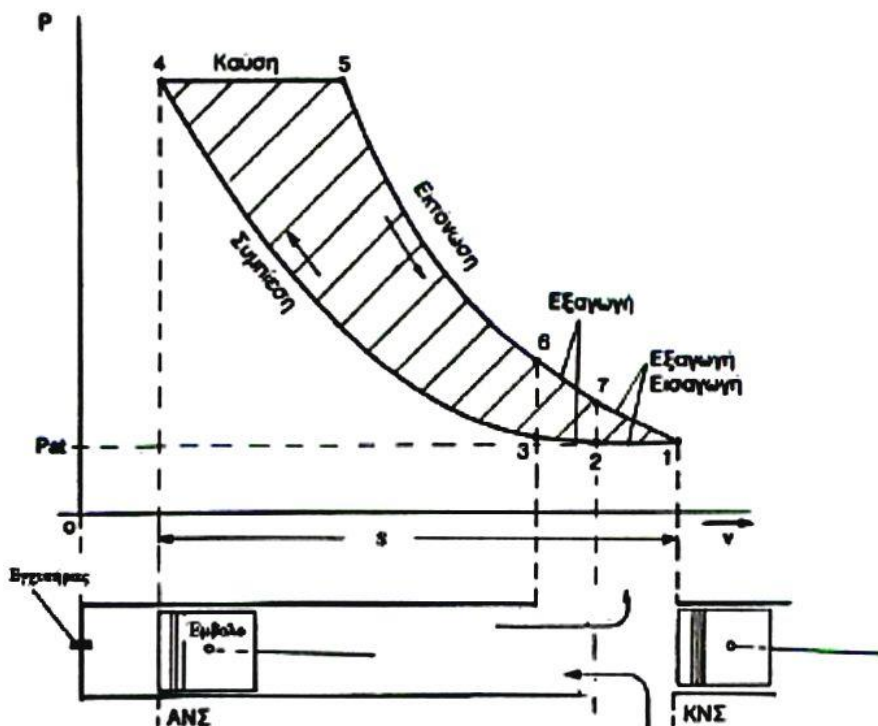
Σύγκριση 2-Χ και 4-Χ κινητήρων

Στους δίχρονους κινητήρες, η παραγωγή του ωφέλιμου έργου πραγματοποιείται σε μία περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα, σε αντίθεση με τους 4-Χ κινητήρες που η παραγωγή έργου γίνεται σε δύο περιστροφές. Όμως οι δίχρονοι κινητήρες στην πραγματικότητα αποδίδουν 20-30% περισσότερο έργο λόγω της απώλειας συμπίεσης κατά την απόπλυση του κυλίνδρου, της παραμονής καυσαερίων στον κύλινδρο.

Οι τετράχρονοι κινητήρες επιτυγχάνουν καλύτερη πλήρωση και απόπλυση των κυλίνδρων λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας της εισαγωγής και της εξαγωγής. Επίσης, οι 4-Χ κινητήρες παρουσιάζουν μικρότερη θερμική καταπόνηση, λόγω της



Εικόνα 12 Διάγραμμα ιδανικού θερμοδυναμικού κύκλου αέρα 4-Χ κινητήρα Diesel



Εικόνα 13 Διάγραμμα ιδανικού θερμοδυναμικού κύκλου αέρα 2-Χ κινητήρα Diesel

1.1.4 Πραγματικοί κύκλοι λειτουργίας εμβολοφόρων μηχανών-Βασικά μεγέθη επίδοσης-απόδοσης

1.1.4.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τον πραγματικό κύκλο

Στους πραγματικούς κινητήρες ο θερμοδυναμικός κύκλος περιλαμβάνει τις πραγματικές διεργασίες που διατρέχει πραγματικά το εργαζόμενο μέσο στη μηχανή. Καθορίζεται μέσα από μετρήσεις της πλήρους κατάστασης της μηχανής καταρτίζοντας το δυναμοδεικτικό διάγραμμα λειτουργίας του κινητήρα. Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα, δείχνει την τιμή της πίεσης σε κάθε θέση του εμβόλου. Παρότι δεν καθορίζει πλήρως σε κάθε στιγμή την πλήρη κατάσταση του μέσου μέσα στον κύλινδρο αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για τον καθορισμό του αποδιδόμενου μηχανικού έργου σε μια περίοδο λειτουργίας (Ενδεικνύμενο Έργο). Επειδή οι πραγματικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον κύλινδρο είναι μη αναστρέψιμες και όχι πλήρως αναστρέψιμες όπως οι διεργασίες που συντελούνται στον ιδανικό κύκλο, το αποδιδόμενο έργο διογκώσεως είναι μεγαλύτερο από το καθαρό μηχανικό έργο που αποδίδεται στον στρόφαλο λόγω των εσωτερικών απωλειών.

Συνοπτικά, οι συνέπειες της απόκλισης του πραγματικού κύκλου από τον αντίστοιχο ιδανικό είναι:

- ❖ Απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον
- ❖ Μείωση καθαρού αποδιδόμενου έργου
- ❖ Μείωση απόδοσης κινητήρα
- ❖ Μείωση της μέγιστης επιτυγχανόμενης θερμοκρασίας καύσης

Ο πραγματικός κύκλος μιας εμβολοφόρου ΜΕΚ μπορεί να περιγραφεί πλήρως, μόνο, αν γνωρίζουμε ακριβώς την κατάσταση του εργαζόμενου μέσου κάθε χρονική στιγμή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συνεχείς μετρήσεις διαφόρων μεγεθών σε ολόκληρο τον όγκο του κυλίνδρου (όπως πίεση, θερμοκρασία και διάνυσμα ταχύτητας σε κάθε

σημείο του κυλίνδρου) Αν θεωρήσουμε ότι υφίσταται θερμοδυναμική ισορροπία εντός του κυλίνδρου, κάθε χρονική στιγμή (και αμεληθούν προς στιγμή οι ταχύτητες του εργαζόμενου μέσου), η περιγραφή της κατάστασης μπορεί να γίνει με ένα ζεύγος θερμοδυναμικών μεγεθών, όπως για παράδειγμα η πίεση p και η θερμοκρασία T , ή η πίεση p και ο ειδικός όγκος v (το αντίστροφο της πυκνότητας ρ). Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ενώ παράλληλα η θερμοκρασία εμφανίζει σημαντική μεταβολή από σημείο σε σημείο εντός του κυλίνδρου. Επίσης, κατά τις φάσεις συναλλαγής των αερίων (εισαγωγή, εξαγωγή) είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η μάζα m εντός του κυλίνδρου, μέσω της οποίας υπολογίζεται ο ειδικός όγκος $v=V/m$.

Η συνήθης μέτρηση που μπορεί να γίνει στο εσωτερικό του κυλίνδρου κατά τη λειτουργία της μηχανής, είναι η λήψη του δυναμοδεικτικού διαγράμματος λειτουργίας του κινητήρα. Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα μας δίνει την τιμή της πίεσεως p σε κάθε θέση του εμβόλου x (διάγραμμα $p-x$). Επειδή η θέση του εμβόλου συνδέεται με τον όγκο του κυλίνδρου με τη σχέση:

$$V_c V = V_c + A_x = V_c + \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) x$$

όπου D η διάμετρος του κυλίνδρου, V_c ο όγκος εμβολισμού, από το διάγραμμα $p-x$ μπορεί εύκολα να προκύψει το διάγραμμα $p-V$. Ένας άλλος τρόπος λήψεως του διαγράμματος της πίεσεως είναι ως συνάρτηση της γωνίας στροφάλου ϕ . Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα λειτουργίας είναι πολύτιμο, γιατί δίνει τη δυνατότητα άμεσου υπολογισμού του ενδεικνύμενου έργου W . Το ενδεικνύμενο έργο είναι το μηχανικό έργο ογκομεταβολής σε μια πλήρη περίοδο λειτουργίας και εκφράζεται ως:

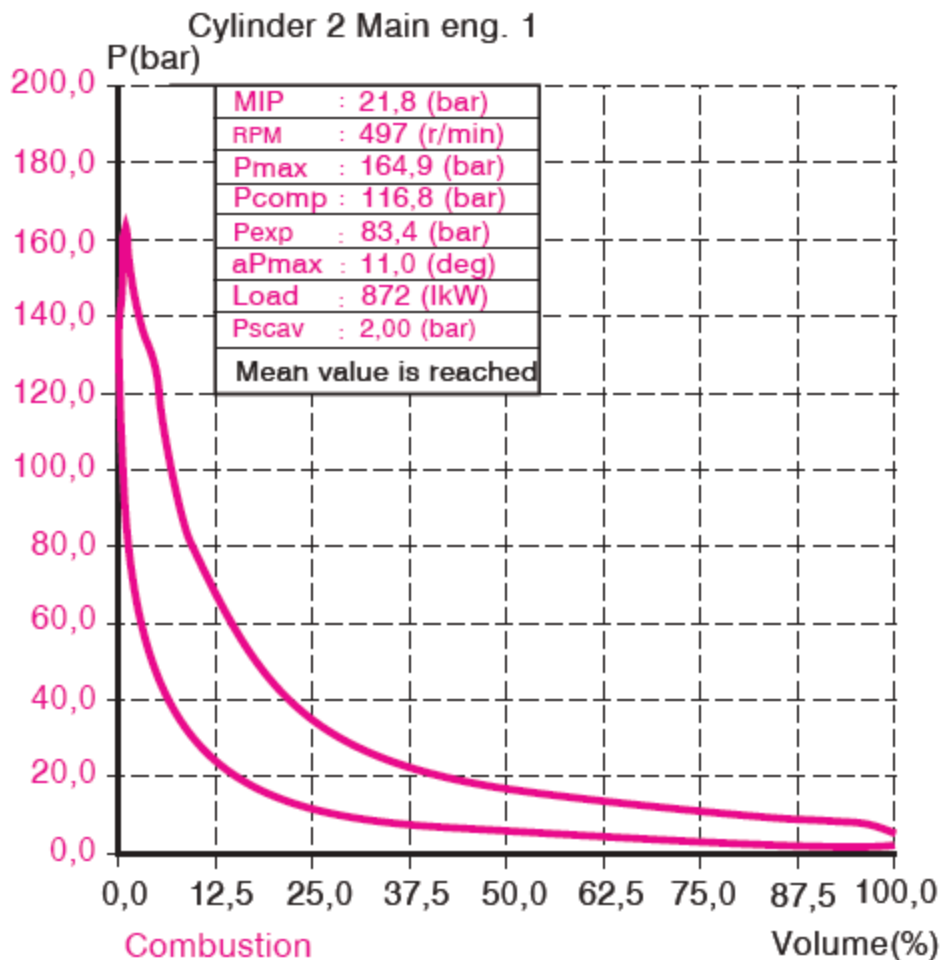
$$W_i = \int p dV = A \int p dx$$

όπου A είναι το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου $A = \frac{\pi D^2}{4}$ με D τη διάμετρο του κυλίνδρου. Το ενδεικνύμενο έργο προκύπτει άμεσα από το διάγραμμα $p-x$ με εμβαδομέτρηση, ενώ αυτό δεν συμβαίνει με το διάγραμμα $p-\phi$, το οποίο πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε διάγραμμα $p-x$, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός του W_i .

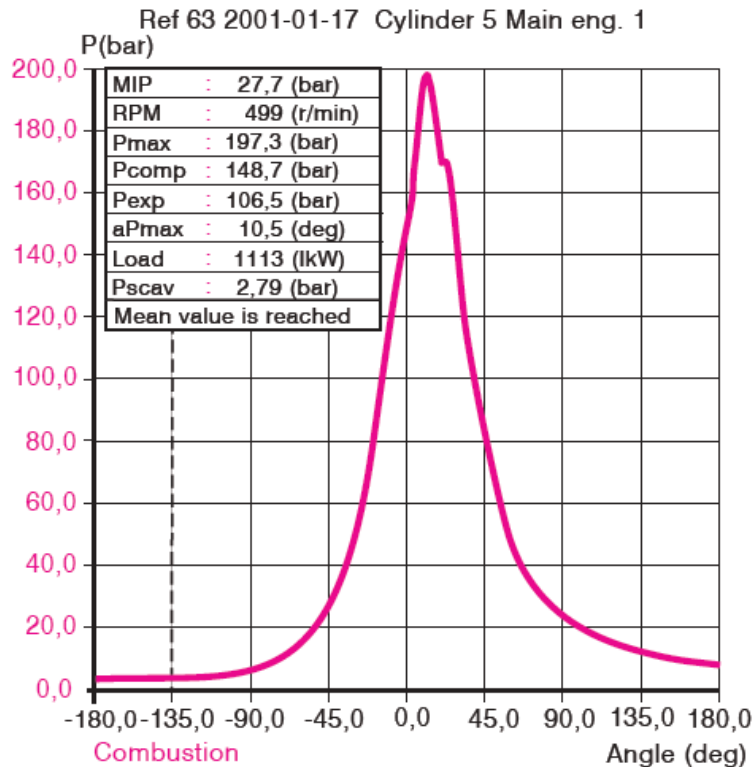
Η λήψη του δυναμοδεικτικού διαγράμματος είναι ιδιαίτερα ουσιαστική υπόθεση. Εκτός της δυνατότητας υπολογισμού του ενδεικνύμενου έργου που παρέχει, αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τη διάγνωση βλαβών σε κάθε κύλινδρο.

Η σύγκριση του δυναμοδεικτικού διαγράμματος με το πρότυπο διάγραμμα του κάθε κυλίνδρου δίνει τη δυνατότητα να διαγνωστούν έγκαιρα και με αξιοπιστία συγκεκριμένες βλάβες της μηχανής (όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο).

Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις εμβολοφόρων μηχανών μεγάλης ισχύος (πλοία και ηλεκτροπαραγωγό ζεύξη) είναι εφοδιασμένες με εξελιγμένα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εύκολη λήψη των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων p-φ και την αυτόματη μετατροπή τους σε διαγράμματα p-V. Η εμβαδομέτρηση για τον υπολογισμό του ενδεικνύμενου έργου γίνεται αυτόματα, από το οποίο στη συνέχεια υπολογίζονται και άλλες παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα (όπως θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενες παραγράφους). Στις εικόνες 10 και 11 φαίνονται δύο τέτοια δυναμοδεικτικά διαγράμματα (p-V και p-φ) από κυλίνδρους μεσόστροφης τετράχρονης ναυτικής πετρελαιομηχανής, σε δύο διαφορετικά σημεία λειτουργίας.



Εικόνα 14 Δυναμοδεικτικό διάγραμμα P-V



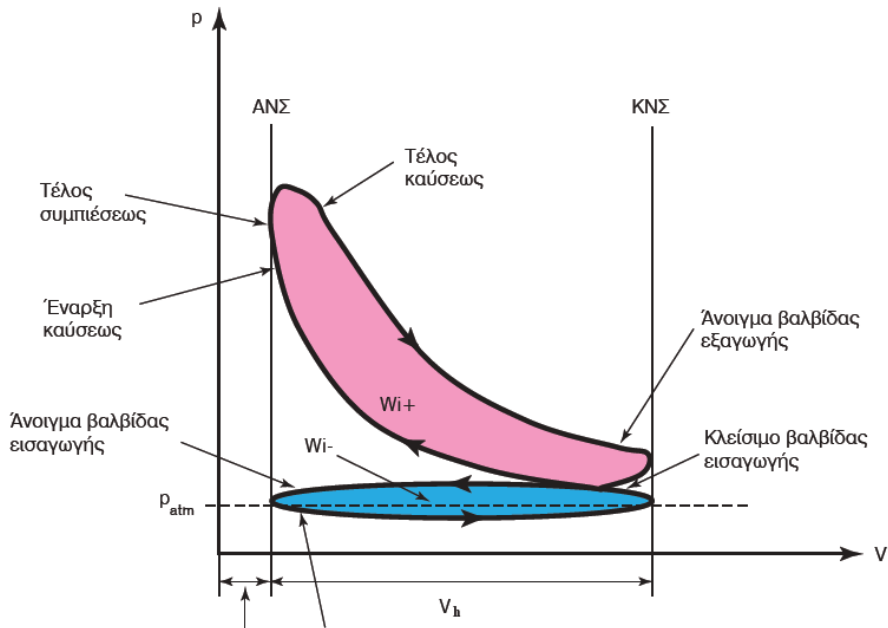
Εικόνα 15 Δυναμοδεικτικό διάγραμμα P-φ

1.1.4.2 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας κινητήρα σπινθηρισμού (Spark ignited engine)

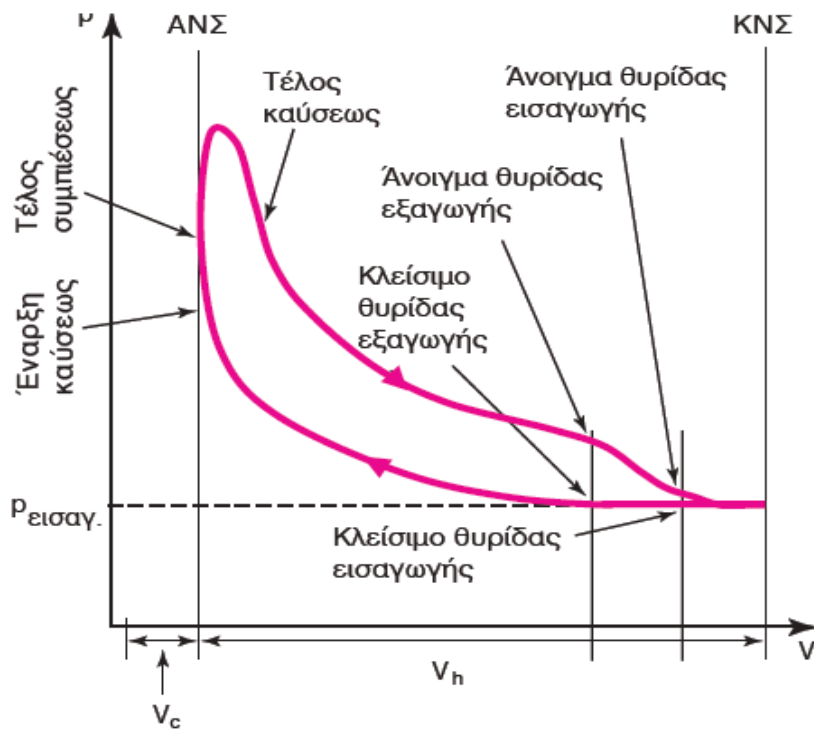
Στους πραγματικούς κινητήρες ο θερμοδυναμικός κύκλος περιλαμβάνει τις πραγματικές διεργασίες που διατρέχει πραγματικά το εργαζόμενο μέσο στη μηχανή.

Καθορίζεται μέσα από μετρήσεις της πλήρους κατάστασης της μηχανής καταρτίζοντας το δυναμοδεικτικό διάγραμμα λειτουργίας του κινητήρα. Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα, δείχνει την τιμή της πίεσης σε κάθε θέση του εμβόλου. Παρότι δεν καθορίζει πλήρως σε κάθε στιγμή την πλήρη κατάσταση του μέσου μέσα στον κύλινδρο αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για τον καθορισμό του αποδιδόμενου μηχανικού έργου σε μια περίοδο λειτουργίας (Ενδεικνύμενο Έργο). Επειδή οι πραγματικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον κύλινδρο είναι μη αναστρέψιμες και όχι πλήρως αναστρέψιμες όπως οι διεργασίες που συντελούνται στον ιδανικό

κύκλο, το αποδιδόμενο έργο διογκώσεως είναι μεγαλύτερο από το καθαρό μηχανικό έργο που αποδίδεται στον στρόφαλο λόγω των εσωτερικών απωλειών.



Εικόνα 16 Πραγματικός κύκλος 4-Χ κινητήρα Otto

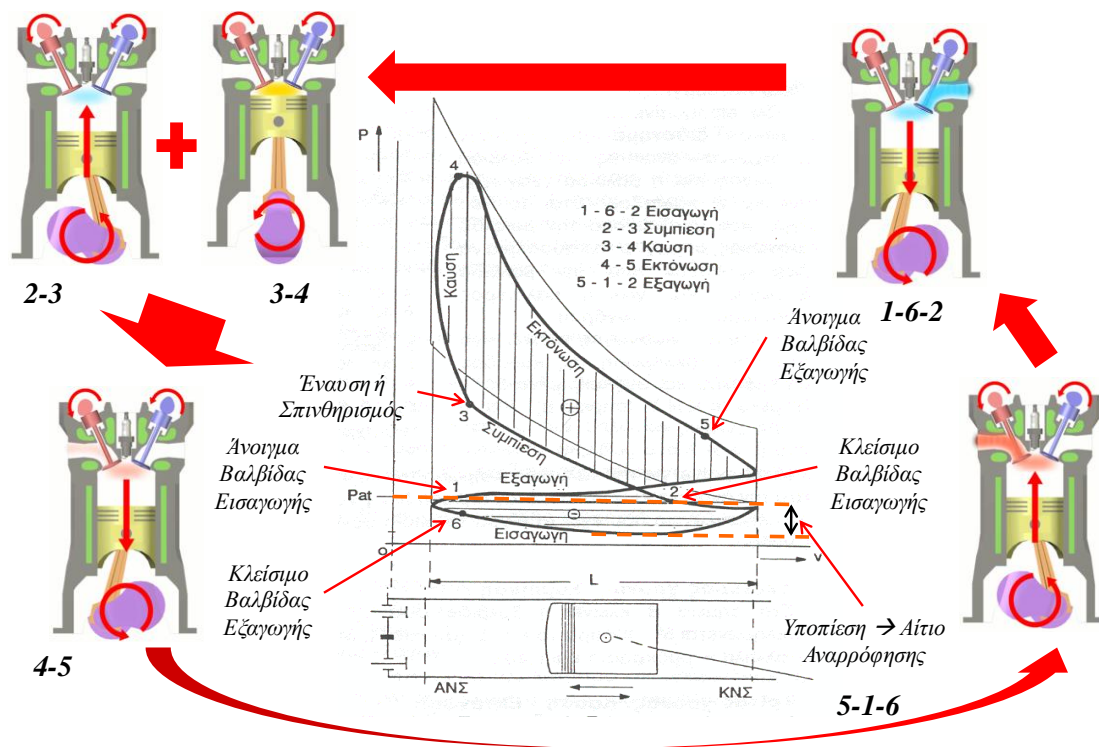


Εικόνα 17 Πραγματικός κύκλος 2-Χ κινητήρα Otto

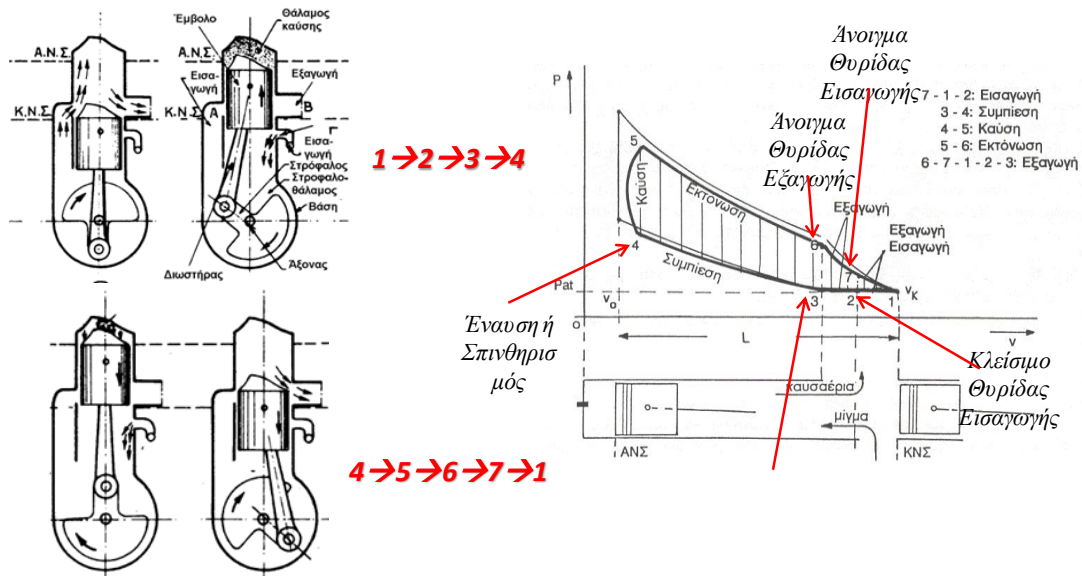
Συνοπτικά, οι συνέπειες της απόκλισης του πραγματικού κύκλου από τον αντίστοιχο ιδανικό είναι:

- ❖ Απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον
- ❖ Μείωση καθαρού αποδιδόμενου έργου
- ❖ Μείωση απόδοσης κινητήρα
- ❖ Μείωση της μέγιστης επιτυγχανόμενης θερμοκρασίας καύσης

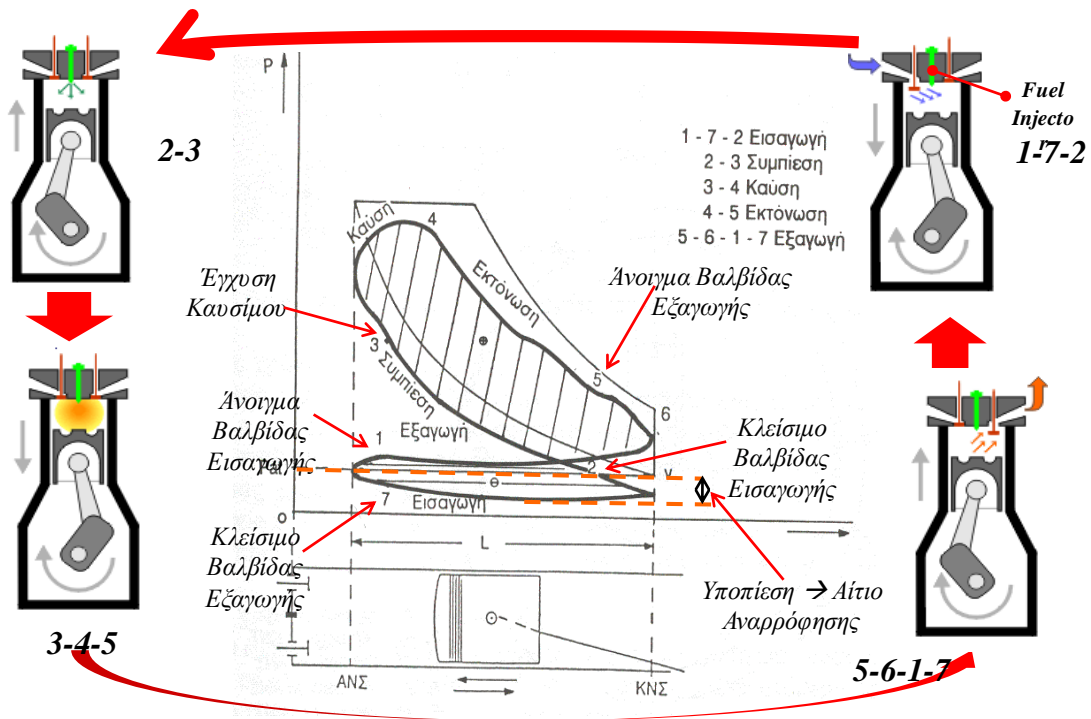
Στις παρακάτω εικόνες παραθέτονται οι διαφορές των ιδανικών από τους πραγματικούς κύκλους σε διάγραμμα πίεσης-όγκου (P-V)



Εικόνα 18 Διαφοροποίηση πραγματικού και ιδανικού κύκλου αέρα 4-Χ κινητήρα Otto



Εικόνα 19 Διαφοροποίηση πραγματικού και ιδανικού κύκλου αέρα 2-Χ κινητήρα Otto



Εικόνα 20 Διαφοροποίηση πραγματικού και ιδανικού κύκλου αέρα 4-Χ κινητήρα Diesel

λαμβάνει τιμές >1 για κινητήρες φυσικής αναπνοής, ενώ ξεπερνά τη μονάδα για κινητήρες με υπερπλήρωση. Ο βαθμός πλήρωσης εξαρτάται από:

- Τη θερμότητα που απορροφά ο αέρας ή η γόμωση από τα τοιχώματα της πολλαπλής εισαγωγής και του κυλίνδρου
- Το βαθμό συμπίεσης
- Την ταχύτητα περιστροφής
- Τη διαμόρφωση των αγωγών εισαγωγής και εξαγωγής
- Τη διαμόρφωση και το χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής
- Την ποσότητα των καυσαερίων που παραμένουν στον κύλινδρο

Ο βαθμός παγίδευσης αναφέρεται στη μάζα του αέρα ή γόμωσης που συμπιέζεται προς τη μάζα του αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο. Ένα κομμάτι του αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο χρησιμοποιείται ώστε να ωθήσει τα καυσαέρια εκτός του κυλίνδρου, διατηρώντας ταυτόχρονα τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής ανοικτές. Αυτό έχει ως συνέπεια τη διαφυγή ενός μέρους του φρέσκου αέρα ή γόμωσης μέσω των βαλβίδων εξαγωγής.

Ένα μέγεθος που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση, τις επιδόσεις και την εκπομπή ρύπων ενός κινητήρα είναι ο λόγος αέρα-καυσίμου. Ο λόγος αέρα-καυσίμου είναι το πηλίκο των μαζών του αέρα προς του καυσίμου. Ο λόγος ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου, δείχνει τον πραγματικά χρησιμοποιούμενο λόγο αέρα-καυσίμου προς το θεωρητικά απαιτούμενο λόγο αέρα καυσίμου ώστε να πραγματοποιηθεί τέλεια καύση. Ο στοιχειομετρικός λόγος αέρα-καυσίμου εξαρτάται από τη χημική σύσταση του καυσίμου και στους σύγχρονους κινητήρες μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο και τις στροφές του κινητήρα.

1.1.4.4 Παράθεση βασικών μεγεθών επίδοσης-απόδοσης πραγματικής λειτουργίας εμβολοφόρου μηχανής

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης μιας μηχανής είναι το ωφέλιμο έργο που παράγει η μηχανή προς την ενέργεια που κατανάλωσε. Είναι προφανές ότι ο θερμικός βαθμός απόδοσης μιας οποιασδήποτε μηχανής είναι <1 . Ο θερμικός βαθμός απόδοσης είναι ανάλογος του βαθμού συμπίεσης, δηλαδή του λόγου του όγκου του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ προς τον όγκο του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα αυξάνεται επίσης όσο οι θερμοδυναμικές διεργασίες του προσεγγίζουν αυτές του ιδανικού κύκλου. Αυτό εκφράζεται με το βαθμό ποιότητας. Τυπικές τιμές του ενδεικνύμενου βαθμού απόδοσης είναι 25-55% σε πλήρες φορτίο, με τις υψηλότερες τιμές απόδοσης να αναφέρονται σε μεσόστροφους και βραδύστροφους στροβιλοϋπερπληρωμένους κινητήρες Diesel και τις χαμηλές τιμές σε κινητήρες Otto φυσικής αναπνοής.

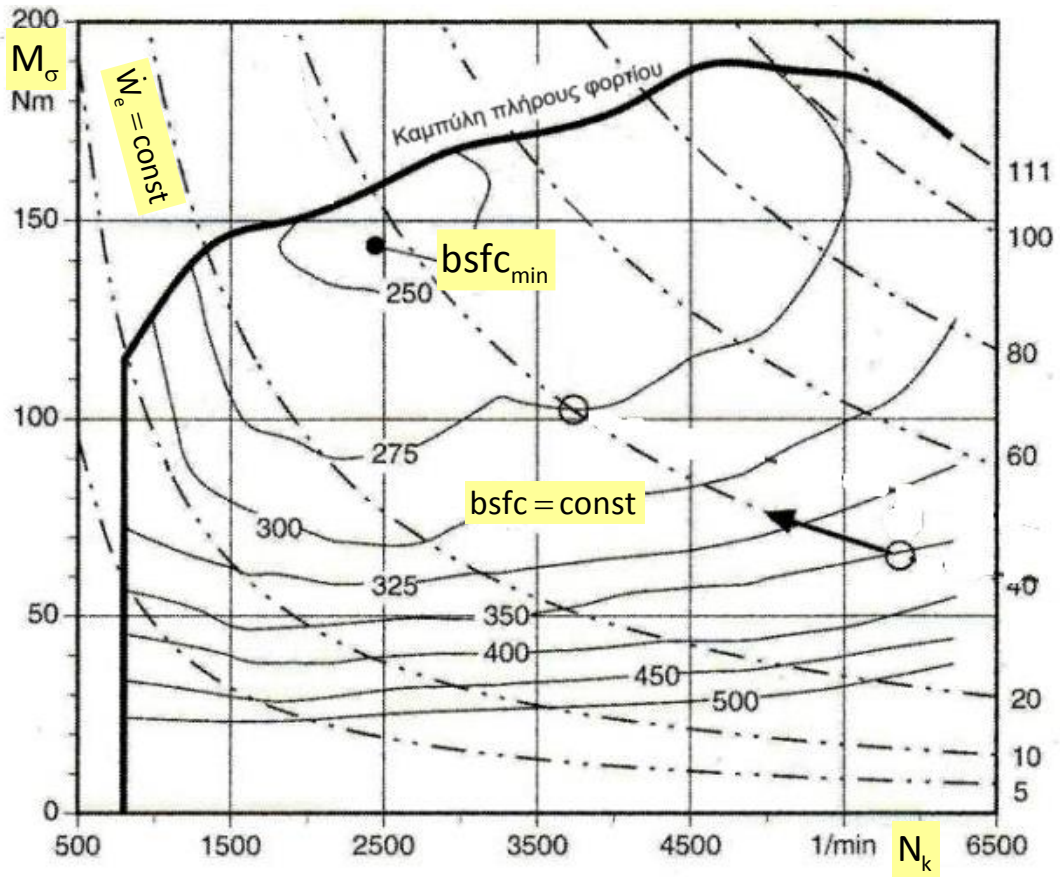
Επειδή το παραγόμενο έργο σχετίζεται με το μέγεθος του κινητήρα (αριθμός κυλίνδρων, όγκος εμβολισμού), για τη σύγκριση κινητήρων χρησιμοποιείται η μέση ενδεικνύμενη πίεση (Indicated Mean Effective Pressure)

Στους εμβολοφόρους κινητήρες εσωτερικής καύσης, ένα μέρος του παραγόμενου έργου χρησιμοποιείται για την αναρρόφηση της απαιτούμενης ποσότητας αέρα, τη λειτουργία των περιφερειακών συστημάτων (δυναμό, κλιματιστικό, διάφορες αντλίες) και την κάλυψη των μηχανικών απωλειών του κινητήρα.

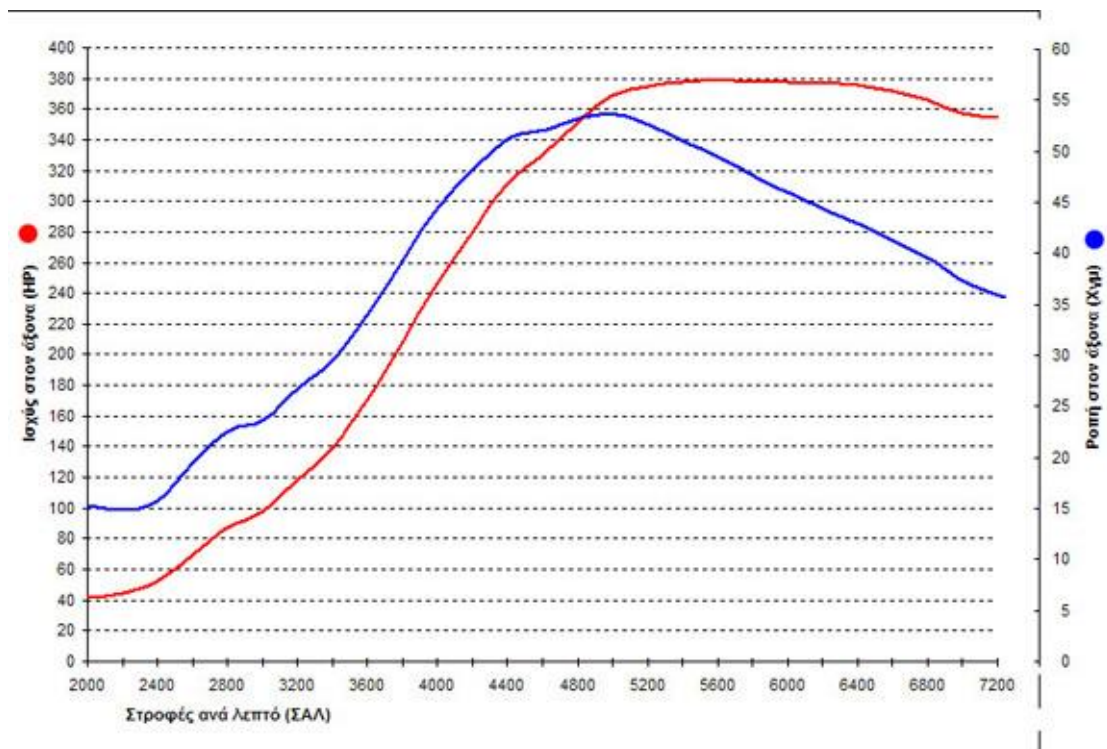
Τα θερμοδυναμικά μεγέθη δεν αρκούν για να υπολογιστεί η πραγματική δυνατότητα παραγωγής έργου ενός κινητήρα, καθώς δεν λαμβάνονται υπόψιν οι μηχανές απώλειες και οι ιδιοκαταναλώσεις του κινητήρα. Επομένως ορίζεται το πραγματικό έργο, το

οποίο είναι το ενδεικνύμενο έργο μείον τις απώλειες. Η πραγματική ισχύς που είναι η ισχύς που μεταφέρεται στον στροφαλοφόρο άξονα. Αντί της μέσης ενδεικνύμενης πίεσης (IMEP) χρησιμοποιείται η έννοια της μέσης πραγματικής πίεσης (Brake Mean Effective Pressure). Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του κινητήρα είναι το πηλίκο του πραγματικού προς το ενδεικνύμενο έργο. Η δυνατότητα του κινητήρα να παράξει έργο εκφράζεται με την έννοια της στρεπτικής ροπή και μετριέται σε Nm. Ένα μέγεθος για την αξιολόγηση κινητήρων διαφορετικού όγκου εμβολισμού είναι η συγκέντρωση ισχύος, η οποία εκφράζει το μέγεθος της παραγόμενης ισχύος σε σχέση με τον όγκο εμβολισμού. Η κατανάλωση καυσίμου ενός κινητήρα σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ εκφράζεται με την ειδική κατανάλωση καυσίμου.

Χρήσιμο εργαλείο για την συγκριτική αξιολόγηση εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης είναι οι καμπύλες λειτουργίας. Σε αυτά τα διαγράμματα αποτυπώνονται τιμές των πραγματικών μεγεθών που αναλύθηκαν πιο πάνω όπως η ισχύς, η ροπής στρέψης, ο βαθμός απόδοσης, η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.



Εικόνα 22 Χάρτης Λειτουργίας Κινητήρα



Εικόνα 23 Ένα διάγραμμα ισχύος και ροπής σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα

1.1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα – Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Οι κινητήρες Diesel εμφανίζουν μικρότερη κατανάλωση καυσίμου προσφέροντας υψηλά επίπεδα ροπής στρέψης σε σχέση με τους κινητήρες Otto. Για να επιτευχθούν επιδόσεις (παραγόμενη ισχύς) παραπλήσιες με αυτές των κινητήρων Otto αντίστοιχου όγκου εμβολισμού, χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στροβιλο-υπερπληρωτές. Οι κινητήρες Diesel λειτουργούν σε χαμηλότερες στροφές από τους αντίστοιχους Otto, εμφανίζουν όμως πολύ υψηλά αποθέματα ροπής σε πολύ μεγάλο φάσμα της λειτουργίας τους. Παρόλα αυτά, λόγω της υψηλής εκπομπής επικίνδυνων ρύπων, οι κινητήρες Diesel είχαν απαγορευτεί μέχρι πρόσφατα στα αστικά κέντρα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης με σκοπό τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των πόλεων. Πλέον η κυκλοφορία αυτοκινήτων με κινητήρες Diesel είναι ελεύθερη και στα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς με την πρόοδο της τεχνολογίας κατασκευάστηκαν κινητήρες με αρκετά περιορισμένη εκπομπή ρύπων. Παρακάτω αναλύονται οι εκπομπές τόσο των κινητήρων Diesel όσο και των κινητήρων Otto.

Οι εκπομπές των κινητήρων των αυτοκινήτων οφείλουν να εντός κάποιων ορίων που θεσπίζονται για την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι αναπτύχθηκαν οι προδιαγραφές EURO τις οποίες οφείλει να πληροί κάθε όχημα ώστε να λάβει έγκριση τύπου και να μπορεί να κυκλοφορήσει.

Οι ρύποι που εκπέμπονται από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης (Otto και Diesel) αφορούν:

- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα δημιουργείται από την ατελή καύση των καυσίμων που περιέχουν άνθρακα. Στους κινητήρες Diesel η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα είναι μεγαλύτερη από ότι στους

κινητήρες Otto λόγω της περίσσειας αέρα που απαιτείται για τη λειτουργία τους.

- Τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Τα οξείδια του αζώτου αποτελούν βασικό συντελεστή του φωτοχημικού νέφους. Δημιουργούνται λόγω της οξειδωσης του αζώτου που οδηγείται στον κύλινδρο από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό του.
- Τα οξείδια του θείου (SO_x). Το πετρέλαιο που καταναλώνουν οι κινητήρες Diesel και σε μικρότερο βαθμό η βενζίνη που καταναλώνουν οι κινητήρες Otto, περιέχουν θείο. Όταν το καύσιμο καίγεται παράγονται οξείδια του θείου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα με τα καυσαέρια.
- Τους άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC). Ένα μέρος του καυσίμου εγκλωβίζεται με το λιπαντικό στα διάκενα που υπάρχουν ανάμεσα στο έμβολο και το τοίχωμα του θαλάμου καύσης. Αυτό εμποδίζει την ανάμιξη του με τον αέρα με αποτέλεσμα να μην καίγεται πλήρως, απελευθερώνοντας άκαυστους υδρογονάνθρακες.
- Αιθάλη (Soot). Η αιθάλη εκπέμπεται κυρίως από τους κινητήρες Diesel. Είναι μικρά σωματίδια (Particulate Matter) άνθρακα που δημιουργούνται από την πυρόλυση του καυσίμου σε συνθήκες υψηλού φορτίου.
- Τέλος, παρότι δεν αποτελεί ρύπο, αλλά προδιαγράφεται στα πρότυπα Euro είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το διοξείδιο του άνθρακα, δεν αποτελεί ρύπο, καθώς σε αντίθεση με τις παραπάνω εκπομπές δεν είναι τοξικό και δεν δημιουργεί άμεσα προβλήματα στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Παρόλα αυτά συνδέεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και προδιαγράφεται ώστε να μειωθούν οι εκπομπές του στην ατμόσφαιρα. Αποτελεί φυσικό προϊόν της

καύσης και είναι αναπόφευκτη η εκπομπή του. Περιορίζεται με την αύξηση της απόδοσης των κινητήρων και τη μείωση της κατανάλωσής τους.

1.2 Εφαρμογές Κινητήρων Otto και Diesel

Οι κινητήρες Otto χρησιμοποιούνται ευρέως στις μεταφορές και σε μεγάλο βαθμό σε μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) μικρού και μεσαίου μεγέθους. Στις μεταφορές χρησιμοποιούνται σε ελαφριά τετράτροχα (επιβατικά αυτοκίνητα) καθώς και σε δίκυκλα οχήματα (μοτοσυκλέτες), κυρίως λόγω του μικρού τους βάρους και της υψηλής συγκέντρωσης ισχύος που εμφανίζουν. Σε μικρότερο βαθμό χρησιμοποιούνται σε μικρά ελικοφόρα αεροσκάφη. Σε μικρής ισχύος μονάδες ΣΗΘ χρησιμοποιούνται κινητήρες Otto με στροβιλοσυμπιεστή λόγω της σχέσης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς εκλυόμενης θερμότητας που είναι περίπου ίση με τη μονάδα.

Οι κινητήρες Diesel χρησιμοποιούνται σε μεγάλης ισχύος εφαρμογές, όπου η υψηλή θερμική απόδοση προσφέρει χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Χρησιμοποιούνται στις μεταφορές σε αυτοκίνητα, λεωφορεία (αστικά και υπεραστικά), φορτηγά, τραίνα, πλοία καθώς και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

1.3 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Στην παρούσα εργασία θα αναλυθούν η χρησιμότητα, οι περιορισμοί καθώς και τα πλεονεκτήματα με τα μειονεκτήματα των κινητήρων Diesel και Otto στην αυτοκίνηση. Η ανάλυση θα γίνει με τη χρήση όρων απόδοσης των κινητήρων, εκπομπών, κατανάλωσης και επιδόσεων.

Στην παρούσα εργασία θα γίνει μια σύγκριση κινητήρων Diesel και Otto αυτοκίνησης ώστε να διερευνηθεί η καταλληλότητα της κάθε τεχνολογίας για διάφορες χρήσεις

(αστικές-υπεραστικές μετακινήσεις κτλ). Οι κινητήρες Diesel που αναλύονται είναι σύγχρονης τεχνολογίας Common Rail με υπερπλήρωση, με όλα τα μέσα περιστολής ρύπων προδιαγραφών Euro 6. Αντίστοιχα οι κινητήρες βενζίνης που αναλύονται αφορούν σύγχρονα μηχανικά σύνολα άμεσου ψεκασμού με υπερπλήρωση προδιαγραφών επίσης Euro 6. Η σύγκριση αφορά μεταξύ άλλων στα ακόλουθα:

- το κόστος κτήσης αλλά και χρήσης των κινητήρων (αγορά, συντήρηση και αξιοπιστία κινητήρων)
- την απόδοση των κινητήρων (ειδική κατανάλωση, επιδόσεις, αυτονομία)
- τεχνολογίες αύξησης απόδοσης και μείωσης ρύπων
- τα επίπεδα τιμών εκπεμπόμενων ρύπων όπως CO, CO₂, NO_x, μικροσωματιδίων που είναι επιβλαβείς ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα της σύγκρισης, οδηγώντας σε συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα της κάθε τεχνολογίας σε διάφορα περιβάλλοντα χρήσης, ώστε να υπάρχει ένας οδηγός ως προς την επιλογή κινητήρα καθώς και εκτιμήσεις ως προς την μελλοντική στροφή της βιομηχανίας σε κάποια από τις δύο τεχνολογίες.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

ΟΤΤΟ

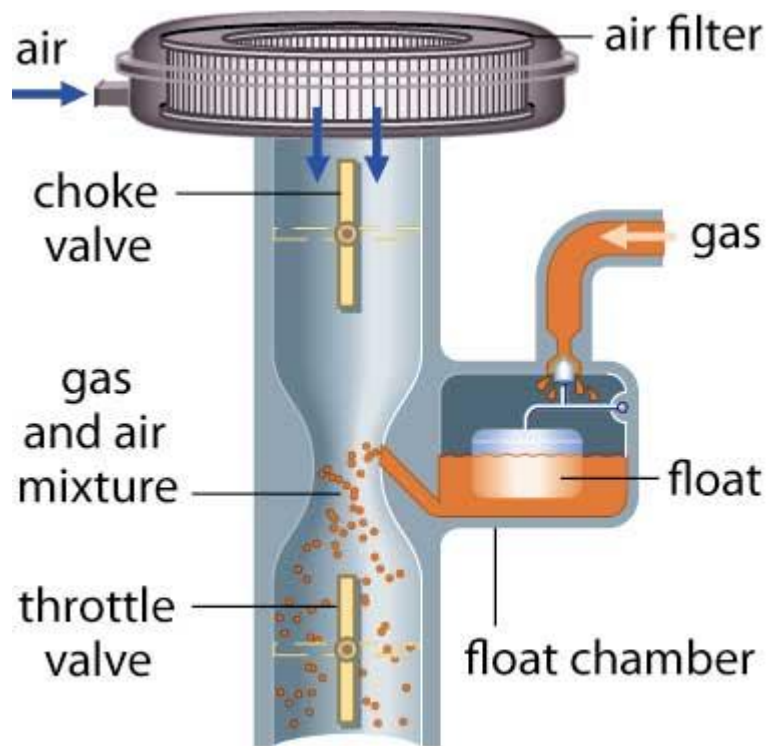
2.1 Εξέλιξη στο Σύστημα Προσαγωγής Καυσίμου

Το σύστημα προσαγωγής καυσίμου αναλαμβάνει τη διοχέτευση του καυσίμου στον κινητήρα και καθορίζει τη σύσταση του μίγματος αέρα-καυσίμου.

2.1.1 Ο Εξαερωτήρας

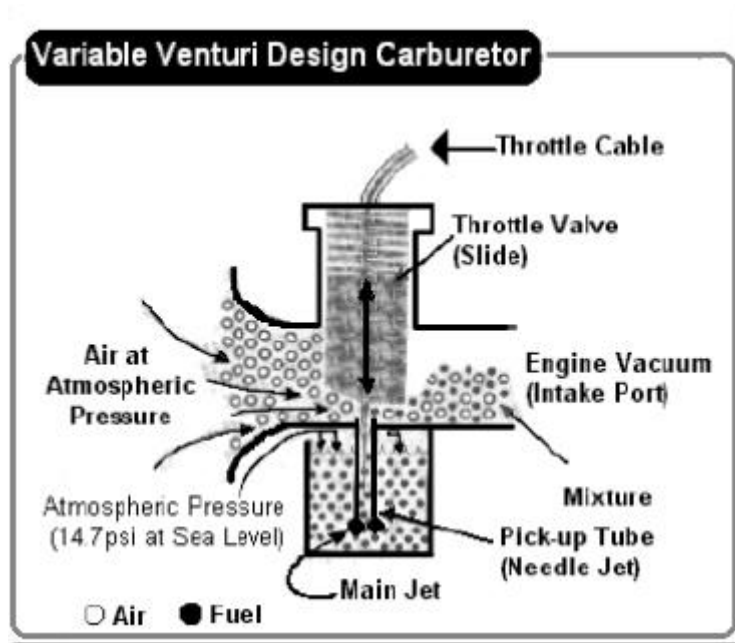
Το πρώτο σύστημα κεντρικής προετοιμασίας μίγματος ήταν ο εξαερωτήρας. Στόχος του συστήματος είναι η προσαγωγή της απαραίτητης ποσότητας ατμών καυσίμου ανάλογα με την ποσότητα του αέρα που καταναλώνει ο κινητήρας ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη αναλογία αέρα-καυσίμου. Η αναλογία αέρα-καυσίμου εξαρτάται από τις συνθήκες φορτίου και θερμοκρασίας του κινητήρα. Η λειτουργία του εξαερωτήρα ήταν πλήρως μηχανική, χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου. Ο εξαερωτήρας λειτουργεί με βάση την αρχή του Bernoulli με βάση την οποία όσο πιο γρήγορα κινείται ένα ρευστό τόσο πέφτει η πίεση του. Ένας εξαερωτήρας αποτελείται από έναν ανοικτό σωλήνα venturi (λαιμό) μέσω του οποίου ο αέρας περνά στην πολλαπλή εισαγωγής της μηχανής. Ο σωλήνας venturi στενεύει και διευρύνεται προκαλώντας την αύξηση της ταχύτητας ροής του αέρα. Κάτω από τον σωλήνα venturi βρίσκεται η στραγγαλιστική βαλβίδα (πεταλούδα). Η πεταλούδα ελέγχει τη ροή του αέρα μέσω του λαιμού του εξαερωτήρα και επομένως την ποσότητα του μίγματος αέρα-καυσίμου που θα πάει στον κινητήρα. Το καύσιμο εισάγεται στη ροή του αέρα μέσω μικρών οπών στο στενό κομμάτι του venturi. Η ποσότητα του καυσίμου ρυθμίζεται με τη βοήθεια βαθμονομημένων στομίων ανάλογα με την πτώση πίεσης στο venturi.

Διακρίνονται σε εξαερωτήρες με σταθερό venturi και εξαερωτήρες με μεταβλητό venturi. Στους εξαερωτήρες με σταθερό venturi, η ταχύτητα του αέρα αλλάζει τη ροή του καυσίμου. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε εξαερωτήρες καθοδικής φοράς σε αμερικάνικα και μερικά γιαπωνέζικα αυτοκίνητα.



Εικόνα 24 Εξαερωτήρας σταθερού venturi

Στους εξαερωτήρες με μεταβλητό venturi το αεριοθούμενο άνοιγμα καυσίμου μεταβάλλεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 25 Εξαερωτήρας μεταβλητού Venturi

Εφευρέθηκε από τους Ούγγρους επιστήμονες Donat Bankikαι και Janos Csonkaro το 1893. Οι πρώτοι εξαερωτήρες ήταν οι εξαερωτήρες επιφάνειας. Η λειτουργία τους βασίζοταν στην αναρρόφηση αέρα πάνω από την επιφάνεια του καυσίμου και έτσι γινόταν η ανάμιξη των ατμών του καυσίμου με τον αέρα. Με αυτό τον τρόπο σχηματιζόταν ένα μίγμα καυσίμου το οποίο τροφοδοτούταν στον κινητήρα. Ο Frederick William Lanchester με τον αδερφό του, κατασκεύασαν το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο το 1896 στην Αγγλία. Ο κινητήρας ήταν μονοκύλινδρος ισχύος 5 HP με αλυσσοκίνηση και χρησιμοποιούσε εξαερωτήρα φυτλιών. Ο εξαερωτήρας με φυτίλι βασίζονταν στην ίδια αρχή λειτουργίας με τους εξαερωτήρες επιφάνειας με τη διαφορά ότι η αναρρόφηση του αέρα γινόταν από φυτίλια που το ένα άκρο τους ήταν εμβαπτισμένο στο καύσιμο. Στη συνέχεια εμφανίστηκαν οι εξαερωτήρες ανοδικής φοράς, στους οποίους ο αέρας εισάγεται από το κάτω μέρος και εξέρχεται από την κορυφή. Τη δεκαετία του 1930, στην Ευρώπη οι εξαερωτήρες πλάγιας φοράς αντικατέστησαν τους εξαερωτήρες ανοδικής φοράς λόγω περιορισμού

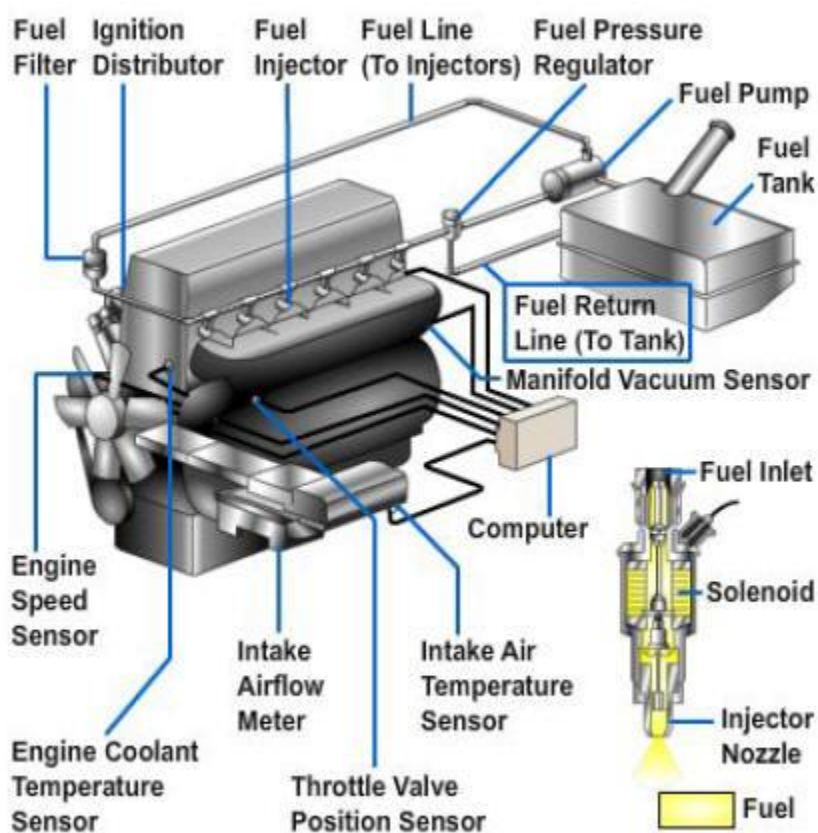
του διαθέσιμου χώρου στο μηχανοστάσιο. Φυσικά οι εξαεριοτήρες δεν είχαν τη δυνατότητα της ακριβούς ρύθμισης του μίγματος αέρα-καυσίμου που απαιτείται για τη χρήση συστημάτων καταλυτικής επεξεργασίας καυσαερίων.

2.1.2 Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου

Σε αντίθεση με τους εξαεριοτήρες, τα συστήματα έγχυσης καυσίμου εξαερώνουν το καύσιμο διοχετεύοντας το μέσα από ένα μικρό ακροφύσιο (μπεκ) με τη χρήση αντλίας υψηλής πίεσης. Το πρώτο μηχανικό σύστημα άμεσου ψεκασμού σχεδιάστηκε από τον Σουηδό μηχανικό Jonas Hesselman. Τα συστήματα μηχανικής έγχυσης καυσίμου ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται στους κινητήρες Otto κατά τη διάρκεια του Β' Παγκόσμιου Πολέμου. Ένα από τα πρώτα εμπορικά συστήματα έγχυσης βενζίνης αναπτύχθηκε από την Bosch και χρησιμοποιήθηκε στο 1952 στο Goliath GP700. Το σύστημα περιλάμβανε μια αντλία υψηλής πίεσης από πετρελαιοκινητήρα σε συνδυασμό με πεταλούδα και ξεχωριστά μπεκ που ψέκαζαν καύσιμο απευθείας στο θάλαμο καύσης. Το 1955 η Mercedes-Benz 300SL ήταν το πρώτο σπορ αυτοκίνητο παραγωγής με άμεσο ψεκασμό της Bosch. Λίγο αργότερα, το 1957 η Chevrolet εισήγαγε ένα μηχανικό σύστημα έγχυσης για τον κινητήρα 283 V8. Αργότερα, με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών παρουσιάστηκε το πρώτο ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου το Electrojector από την Bendix Corporation το 1958 στο Rambler Rebel. Τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για το πρώτο EFI (Electronic Fuel Injection) πωλήθηκαν στη Bosch. Η Bosch ανέπτυξε το σύστημα D-Jetronic που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο VW 1600TL το 1967. Το σύστημα διάβαζε την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και την πυκνότητα του αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής μέσω αισθητήρων και υπολόγιζε την μαζική παροχή αέρα και την απαίτηση σε καύσιμο. Στη συνέχεια παρουσίασε τα συστήματα K-Jetronic και L-Jetronic το 1974. Στις δεκαετίες 1970-1980 οι κανονισμοί εκπομπών αυτοκινήτων έγιναν πιο αυστηροί με αποτέλεσμα να

γίνει επιτακτική η χρήση καταλυτικών μετατροπέων. Η χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων έγχυσης έκανε εφικτή τη χρήση καταλυτικών μετατροπέων καυσαερίων καθώς μπορούσε να ρυθμίσει το λόγο αέρα καυσίμου με την ακρίβεια που απαιτείται, με επακόλουθο τη σταδιακή εξαφάνιση των εξαεριοτήρων. Το 1980 η Motorola, παρουσίασε την πρώτη ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου κινητήρα, η οποία ενσωμάτωνε την έγχυση καυσίμου καθώς και τον χρονισμό των σπινθηριστών. Το 1982 η Bosch εισήγαγε στο L-Jetronic τον αισθητήρα μάζας αέρα (Mass Air Flow ή MAF) ο οποίος μετρά άμεσα τη μαζική ροή αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα.

Τα σύγχρονα αυτοκίνητα στην πλειοψηφία τους χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού καυσίμου. Όλη η λειτουργία του κινητήρα επιβλέπεται και ρυθμίζεται από την μονάδα ελέγχου κινητήρα (MEK).



Εικόνα 26 Σύστημα προσαγωγής καυσίμου

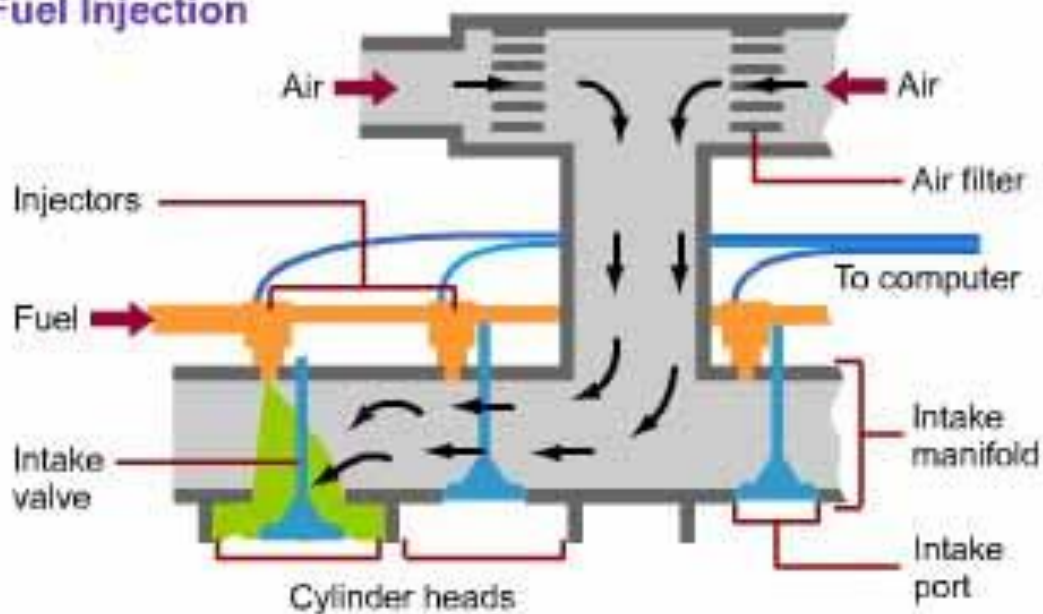
Τα πρώτα ηλεκτρονικά συστήματα ήταν έμμεσου ψεκασμού ενός σημείου (Single Point Injection-SPI). Ο εγχυτήρας βρισκόταν στον αυλό εισαγωγής του αέρα μετά την πεταλούδα. Ο ψεκασμός γινόταν στο ρεύμα αέρα που κατευθυνόταν από την πεταλούδα προς τους κυλίνδρους και το μίγμα αέρα-καυσίμου ομογενοποιούνταν πριν εισέλθει σε κάθε κύλινδρο μέσω των βαλβίδων εισαγωγής. Η μάζα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα υπολογιζόταν από τη ΜΕΚ η οποία “διάβαζε” το άνοιγμα της πεταλούδας, την πίεση (Mass Air Pressure-MAP sensor) και τη θερμοκρασία του αέρα στον αυλό εισαγωγής ή τη μάζα του αέρα (Mass Air Flow-MAF sensor). Στη συνέχεια η ΜΕΚ δίνει εντολή στον εγχυτήρα να παραμείνει ανοικτός για όσο διάστημα απαιτείται ώστε να ψεκαστεί η απαραίτητη ποσότητα καυσίμου ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα, το φορτίο κ.ά. Μετά την καύση ο αισθητήρας λ (O₂ sensor) ανιχνεύει την παρουσία οξυγόνου στα καυσαέρια διορθώνοντας, όταν απαιτείται, την αναλογία αέρα-καυσίμου.



Εικόνα 27 Σύστημα ψεκασμού καυσίμου ενός σημείου (SPI)

Η εξέλιξη του συστήματος ψεκασμού ενός σημείου είναι το σύστημα ψεκασμού πολλών σημείων (Multi Point Injection-MPI). Η διαφορά του είναι ότι ο ψεκασμός γίνεται από ξεχωριστό εγχυτήρα για κάθε κύλινδρο.

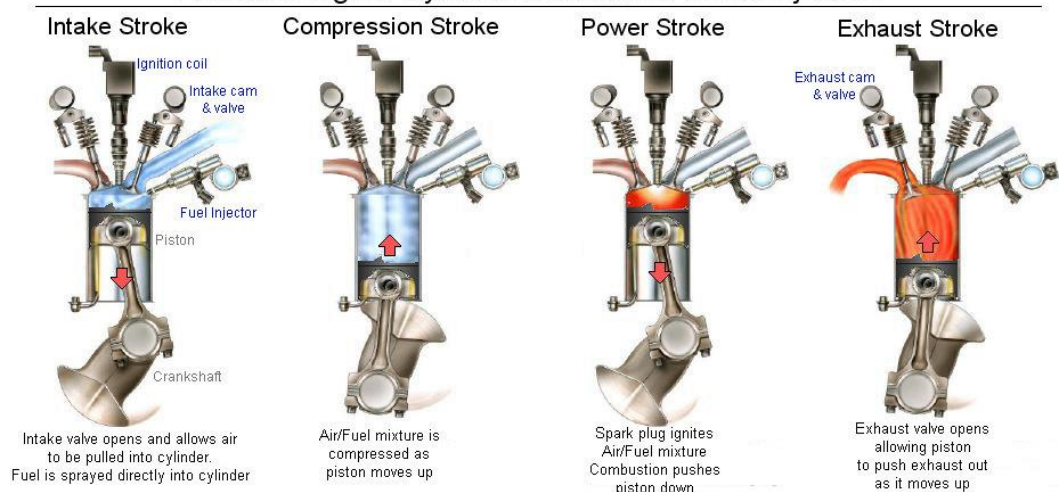
Multi-Point Fuel Injection



Εικόνα 28 Σύστημα Πολλαπλού Ψεκασμού (MPI)

Τα πλέον σύγχρονα εμπορικά συστήματα ψεκασμού είναι τα ηλεκτρονικά συστήματα άμεσου ψεκασμού (Gasoline Direct Injection-GDI). Ο ψεκασμός μέσω του εγχυτήρα γίνεται απευθείας στο θάλαμο καύσης, ενώ ο αέρας εισέρχεται μέσω των βαλβίδων εισαγωγής. Το σύστημα άμεσου ψεκασμού απαιτεί παροχή καυσίμου υψηλής πίεσης (≈ 110 bar) περίπου 32 φορές περισσότερη από τα συστήματα έμμεσου ψεκασμού.

4-Stroke Engine Cycle with Gasoline direct Injection



Εικόνα 29 Σύστημα Άμεσου Ψεκασμού σε 4-Χ κινητήρα

2.2 Σύστημα Χρονισμού Κινητήρα

Το σύστημα χρονισμού του κινητήρα αναλαμβάνει το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής την κατάλληλη χρονική στιγμή και με την απαιτούμενη διάρκεια ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία εισαγωγής της νέας γόμωσης και η εξαγωγή των καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης. Η χρονική στιγμή του ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής γίνεται λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ και συνεχίζεται μέχρι το έμβολο να φθάσει στο ΚΝΣ (αναρρόφηση νέας γόμωσης). Οι βαλβίδες εξαγωγής ανοίγουν λίγο πριν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ στο τέλος της διεργασίας της εκτόνωσης μετά την καύση, και κλείνουν με την ολοκλήρωση της εξαγωγής των καυσαερίων όταν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ. Η χρονική στιγμή καθώς και η διάρκεια του ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής εκφράζεται σε μοίρες γωνίας περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα.

2.2.1 Μεταβλητό Σύστημα Χρονισμού Κινητήρα

Για τη βελτιστοποίηση λειτουργίας του κινητήρα ανάλογα με τις συνθήκες (φορτίο, στροφές) αναπτύχθηκαν συστήματα μεταβλητής εισαγωγής και εξαγωγής. Όσο αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα, μειώνεται η διάρκεια μεταξύ των χρόνων με αποτέλεσμα να εισάγεται μικρότερη ποσότητα φρέσκιας γόμωσης και να παραμένουν περισσότερα καυσαέρια. Έτσι αναπτύχθηκαν τα μεταβλητά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν τη ροπή του κινητήρα σε υψηλά επίπεδα για μεγαλύτερο εύρος στροφών, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές. Έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της γωνίας ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Το σύστημα μεταβλητού χρονισμού απαρτίζεται από:

- Τους αισθητήρες θέσης εκκεντροφόρου και στροφαλοφόρου.
Ο αισθητήρας θέσης εκκεντροφόρου και στροφαλοφόρου ανιχνεύουν την γωνία περιστροφής του εκκεντροφόρου άξονα σε σχέση με το στροφαλοφόρο κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου του κινητήρα
- Η μονάδα ελέγχου του κινητήρα υπολογίζει το χρονισμό των βαλβίδων λαμβάνοντας τα σήματα από τους αισθητήρες. Στη συνέχεια υπολογίζει το κατάλληλο ηλεκτρικό ρεύμα που θα διαρρεύσει τη βαλβίδα του μεταβλητού χρονισμού (Oil flow Control Valve-OCV)
- Η βαλβίδα μεταβλητού χρονισμού δέχεται σήμα από την ECU και κατανέμει το λάδι στον υδραυλικό ρυθμιστή. Αναλόγως με το κανάλι που ελευθερώνεται, ο ρότορας του ρυθμιστή μετατοπίζεται σε θέση προπορίας ή αργοπορίας. Έτσι μεταβάλλεται ο χρονισμός των βαλβίδων ανάλογα με τις

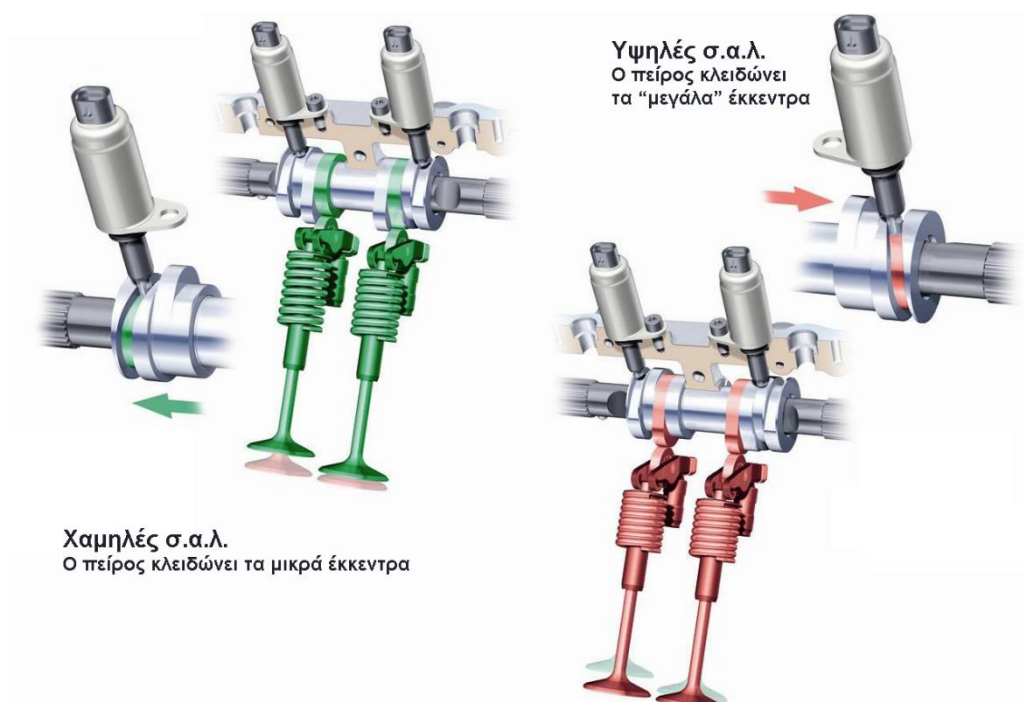
λειτουργικές συνθήκες του κινητήρα



Εικόνα 30 Ρυθμιστής Μεταβλητού Χρονισμού

Στα τέλη της δεκαετίας του '60, ο Giovanni Torazza επινοεί ένα υδραυλικό σύστημα που μεταβάλλει το χρονισμό και την βύθιση των βαλβίδων, το οποίο χρησιμοποίησε η Fiat. Λίγο αργότερα, το 1975 η GM παρουσιάζει ένα παρόμοιο σύστημα για τις βαλβίδες εισαγωγής με σκοπό τη μείωση των εκπομπών. Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με μηχανικό σύστημα μεταβλητού χρονισμού ήταν η Alfa Romeo Spider του 1980.. Η Honda το 1983 παρουσίασε το γνωστό V-TEC. Η εξέλιξη των συστημάτων μεταβλητού χρονισμού ήταν η μεταβολή του βυθίσματος των βαλβίδων. Το σύστημα VarioCam Plus της Porsche παρουσιάστηκε το 1991 στην Porsche 968. Η Honda εξέλιξε το V-TEC αλλάζοντας τη γεωμετρία των έκκεντρων σε συνδυασμό με την αλλαγή φάσης εκκεντροφόρου παρουσιάζοντας το i-VTEC Παρόμοια συστήματα μεταβλητού χρονισμού παρουσίασε η BMW (Vanos), η Toyota (VVT-i) και

συστήματα μεταβλητού χρονισμού με μεταβλητό βύθισμα βαλβίδων η Mitsubishi (MiVec), η Toyota (VVT-L), Audi (Valvelift) κά.



Εικόνα 31 Σύστημα VTEC

Το πλέον σύγχρονο σύστημα μεταβλητού χρονισμού σε συνδυασμό με μεταβλητό βύθισμα βαλβίδων είναι το Continuous Variable Valve Lift (CVVL) που προσφέρει συνεχώς μεταβαλλόμενη βύθιση των βαλβίδων. Τέτοια συστήματα είναι το Valvetronic της BMW, το VVEL της Nissan, το Valvematic της Toyota και το Multiair της Fiat.

2.3 Σύστημα Προσαγωγής Αέρα

Το σύστημα προσαγωγής αέρα επιτρέπει την είσοδο και τον έλεγχο της ποσότητας του αέρα που οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Περιλαμβάνει το φίλτρο αέρα, τον αισθητήρα, το μηχανισμό της πεταλούδας, τη βαλβίδα πρόσθετου αέρα και την πολλαπλή εισαγωγής. Οι σημερινοί αισθητήρες είναι:

- Μετρητής πίεσης αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής (MAP sensor)

- Μετρητής ροής αέρα με θερμαινόμενο σύρμα ή θερμαντικό σπирάλ (MAF sensor)

Οι αυλοί εισαγωγής της πολλαπλής είναι σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται συντονισμός του εισερχόμενου αέρα σε συγκεκριμένη περιοχή στροφών του κινητήρα.



Εικόνα 32 Πολλαπλή εισαγωγής με πεταλούδα

2.3.1 Συστήματα Υπερπλήρωσης

Η ισχύς ενός κινητήρα εξαρτάται άμεσα από την μάζα του εισερχόμενου αέρα. Επάνω σε αυτή την αρχή βασίστηκαν τα πρώτα συστήματα υπερπλήρωσης. Ο βαθμός υπερπλήρωσης δείχνει την αύξηση της πυκνότητας του αέρα σε σύγκριση την πυκνότητα ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα. Ο βαθμός υπερπλήρωσης περιορίζεται από την κρουστική καύση σε περίπτωση μεγάλης προπορίας ανάφλεξης, επομένως οι υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες έχουν μικρότερο λόγο συμπίεσης.

Η υπερπλήρωση γίνεται με μηχανικό συμπιεστή ο οποίος κινείται από το στροφαλοφόρο άξονα, είτε με στροβιλοσυμπιεστή ο οποίος χρησιμοποιεί την κινητική ενέργεια των καυσαερίων.

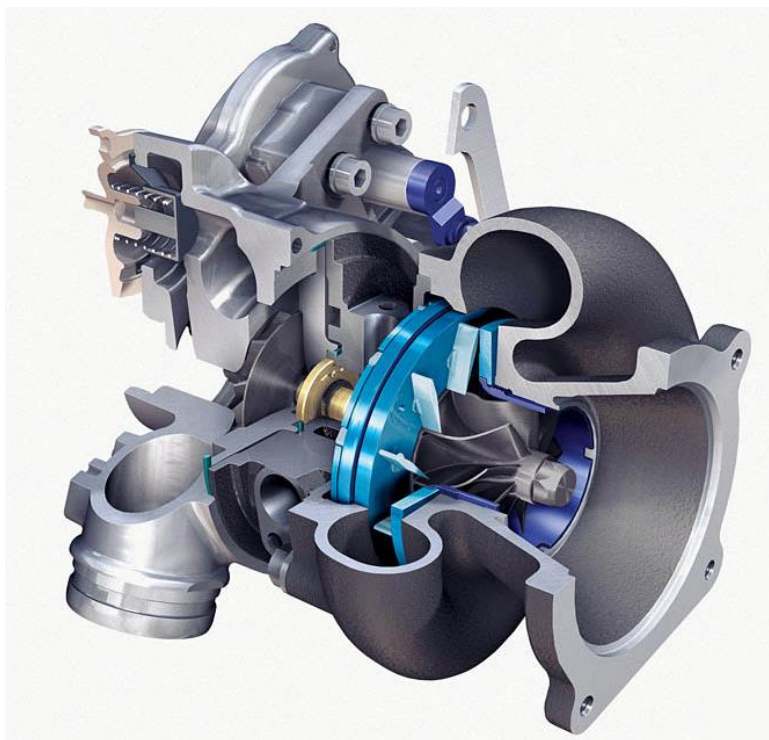
Η πρώτη εφαρμογή υπερπλήρωσης έγινε σε ναυτικούς κινητήρες από τον Ελβετό μηχανικό Alfred Buchi το 1925. Στην αυτοκίνηση εμφανίστηκαν υπερπληρωμένοι κινητήρες στα τέλη της δεκαετίας του 1930. Η υπερπλήρωση λόγω των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσει ο κινητήρας δεν μπόρεσε να διαδοθεί μέχρι την έλευση των μικροσίπ καθώς εμφανίστηκαν προβλήματα με την αντοχή των υλικών. Το πρώτο αξιόπιστο αυτοκίνητο παραγωγής με υπερπλήρωση ήταν το Chevrolet Corvaire Monza του 1962. Λόγω της υψηλότερης απόδοσής τους, σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως οι στροβιλοσυμπιεστές.

Ένα τυπικός στροβιλοσυμπιεστής απαρτίζεται από

- Το συμπιεστή. Το κέλυφος του συμπιεστή είναι συνήθως κατασκευασμένο από αλουμίνιο, περιλαμβάνει το συμπιεστή και έχει το σχήμα σαλιγκαριού. Ο αέρας αναρροφάται αξονικά και εξάγεται ακτινικά. Ο συμπιεστής απορροφά έργο από το στρόβιλο μέσω άξονα και συμπιέζει τον αέρα που οδηγείται μετά από ψύξη στο intercooler στην εισαγωγή του κινητήρα.
- Το στρόβιλο. Το κέλυφος του στροβίλου είναι συνήθως κατασκευασμένο από μαντέμι για να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων, περιλαμβάνει την περωτή και έχει παρόμοιο σχήμα με το κέλυφος του συμπιεστή. Τοποθετείται μετά τον οχετό εξαγωγής του κινητήρα (χαπάδι). Τα καυσαέρια εισέρχονται στον στρόβιλο ακτινικά και εξέρχονται αξονικά. Ο στρόβιλος χρησιμοποιεί την ενέργεια (ενθαλπία και κινητική ενέργεια) των καυσαερίων ώστε να προσδώσει έργο στον άξονα μέσω του οποίου συνδέεται

με το συμπιεστή. Το κέλυφος του στροβίλου κατευθύνει τη ροή του αέρα στο στρόβιλο ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται μέχρι περίπου 250.000 rpm.

- Το σώμα του στροβιλοσυμπιεστή. Το σώμα βρίσκεται ανάμεσα στο στρόβιλο και το συμπιεστή και περιλαμβάνει τα συστήματα ψύξης και λίπανσης του στροβίλου και του συμπιεστή και την έδραση του άξονα.



Εικόνα 33 Τυπικός στροβιλοσυμπιεστής

Το σχήμα και το μέγεθος του στροβίλου και του συμπιεστή έχουν άμεση σχέση με τη συνολική απόδοση του στροβιλοσυμπιεστή. Οι μεγαλύτεροι στροβιλοσυμπιεστές απαιτούν μεγαλύτερη παροχή καυσαερίων και θερμότητα για να περιστραφούν εμφανίζοντας υστέρηση (turbo-lag). Αντίθετα, οι μικρότεροι σε μέγεθος στροβιλοσυμπιεστές περιστρέφονται πιο γρήγορα, όμως δεν έχουν επιδόσεις αντάξιες των μεγαλύτερων σε συνθήκες υψηλού φορτίου. Για να συνδυαστούν τα οφέλη των μικρών στροβιλοσυμπιεστών με την απόδοση των μεγαλύτερων σήμερα χρησιμοποιούνται διπλοί στροβιλοσυμπιεστές (twin-turbochargers), twin-scroll

turbochargers και στροβιλοσυμπιεστές μεταβλητής γεωμετρίας (Variable Turbine Geometry). Πλέον η υπερτροφοδότηση έχει καθιερωθεί από τους περισσότερους κατασκευαστές σε μικρού και μεγάλου κυβισμού κινητήρες.

- Διάταξη twin-turbo

Οι twin-turbo ή bi-turbo υλοποιήσεις περιλαμβάνουν δύο ξεχωριστούς στροβιλοσυμπιεστές που συνδέονται είτε σε σειρά (το ένα πίσω από το άλλο) είτε παράλληλα. Στην παράλληλη διάταξη, ο κάθε στρόβιλος τροφοδοτείται με τα μισά καυσαέρια του κινητήρα, και για αυτό χρησιμοποιείται πιο πολύ σε κινητήρες διάταξης V όπου υπάρχουν δύο αυλοί εξαγωγής των καυσαερίων. Στη διάταξη εν σειρά ο ένας στροβιλοσυμπιεστής λειτουργεί σε χαμηλές στροφές και το δεύτερο ενεργοποιείται μετά από προκαθορισμένο αριθμό στροφών ή φορτίου. Στη διάταξη εν σειρά έχουμε περαιτέρω μείωση της υστέρησης, απαιτεί όμως πολύπλοκη διάταξη σωληνώσεων για τη σωστή τροφοδότηση και των δύο στροβιλοσυμπιεστών. Η διάταξη twin-turbo εν σειρά χρησιμοποιείται και σε κινητήρες Diesel.

- Twin-scroll turbo

Οι twin scroll ή διαιρούμενοι στροβιλοσυμπιεστές διαιρούν την παροχή καυσαερίων σε δύο εισαγωγές καυσαερίων. Μία μικρότερη εισαγωγή που προσφέρει γρήγορη απόκριση και μια μεγαλύτερη που προσφέρει μέγιστο έργο.



Εικόνα 34 Τομή Twin-scroll στροβιλοσυμπιεστής

- Στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας

Οι στροβιλοσυμπιεστές μεταβλητής γεωμετρίας έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν την ταχύτητα περιστροφής του και την παροχή αέρα μέσω μεταβλητών περυγίων. Οι στροβιλοσυμπιεστές μεταβλητής γεωμετρίας χρησιμοποιούνται κυρίως σε κινητήρες Diesel καθώς στους κινητήρες Otto η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων καταπονεί θερμικά τα περύγια.



Εικόνα 35 Στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας

2.4 Σύστημα Διαχείρισης Καυσαερίου

2.4.1 Καταλυτικοί Μετατροπείς

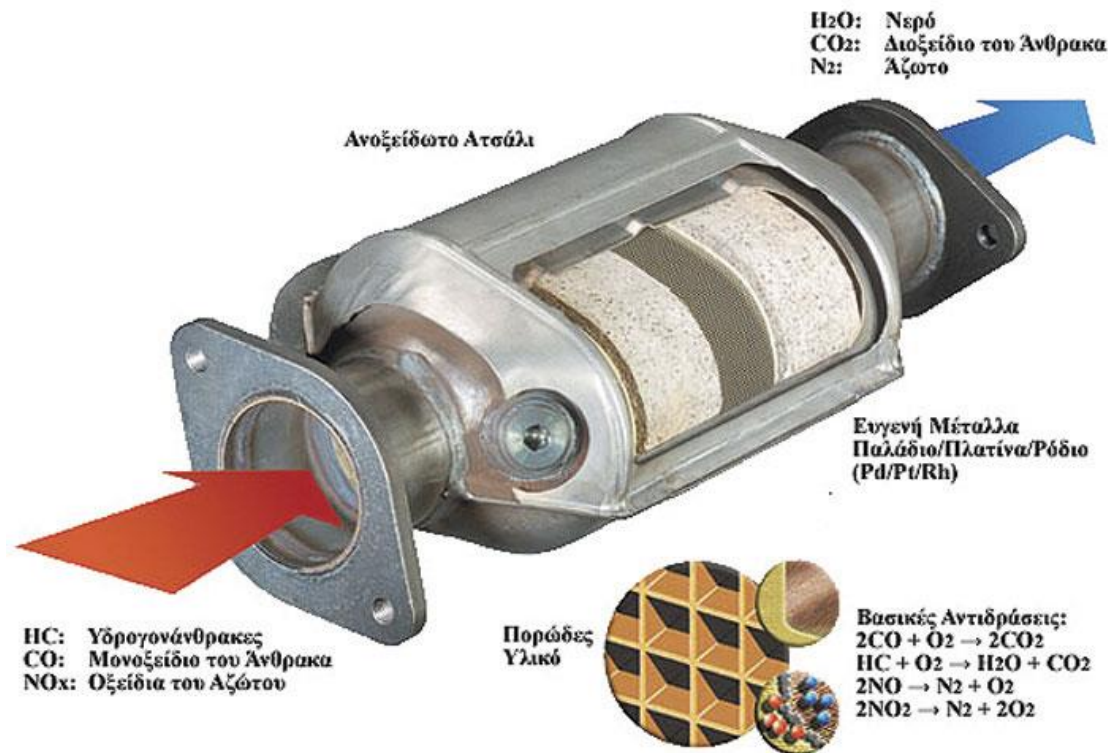
Για τον περιορισμό των επιβλαβών εκπομπών των κινητήρων Otto χρησιμοποιούνται οι καταλυτικοί μετατροπείς. Τοποθετούνται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων των οχημάτων και μετατρέπουν τους ρύπους σε αβλαβή αέρια. Οι καταλυτικοί μετατροπείς αναλαμβάνουν:

- Την οξείδωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Την αναγωγή των οξειδίων του αζώτου (NO_x) σε άζωτο (N₂)
- Την οξείδωση των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O)

Οι πρώτοι καταλυτικοί μετατροπείς εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1920.

Χρησιμοποιήθηκαν για τον περιορισμό των εκπομπών CO σε κινητήρες που λειτουργούσαν σε εσωτερικούς χώρους. Αποτελούνταν από ένα αρκετά ογκώδες χαλύβδινο κέλυφος και στο εσωτερικό υπήρχαν ρινίσματα οξειδίων του νικελίου, του χαλκού και του χρωμίου, τα οποία επιτάχυναν τη μετατροπή των ρύπων στα καυσαέρια σε λιγότερο επιβλαβή αέρια. Απαιτούσαν για τη λειτουργία τους ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία και βρίσκονταν αμέσως μετά τις βαλβίδες εξαγωγής. Στη συνέχεια εμφανίστηκαν καταλυτικοί μετατροπείς στη μορφή των κεραμικών μονόλιθων. Οι κεραμικοί μονόλιθοι έκαναν εφικτή την τοποθέτηση ευγενών μετάλλων επάνω στην κυψέλη. Με αυτό τον τρόπο αυξήθηκε η απόδοση μετατροπής των καταλυτικών μετατροπέων, ενώ μειώθηκε ο όγκος και το βάρος τους καθώς και η θερμοκρασία λειτουργίας τους. Τη δεκαετία του 1970 εμφανίστηκαν καταλυτικοί μετατροπείς που έφεραν στο εσωτερικό τους μεταλλικά σφαιρίδια με επικάλυψη

ευγενών μετάλλων. Το 1978 παρουσιάστηκαν οι μεταλλικοί καταλυτικοί μετατροπείς. Ο φορέας κατασκευάζεται από φύλλο μετάλλου επιστρωμένο με ευγενή μέταλλα.



Εικόνα 36 Καταλυτικός μετατροπέας με μονόλιθο

Ο καταλυτικός μετατροπέας επιταχύνει τις αντιδράσεις οξείδωσης των ρύπων στα καυσαέρια με σκοπό την εκπομπή αβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα. Σήμερα χρησιμοποιούνται οι τριοδικοί καταλυτικοί μετατροπείς, οι οποίοι εμφανίζουν υψηλή απόδοση μετατροπής τριών ρύπων. Οξειδώνουν το CO στο αβλαβές CO₂, ανάγουν το NO σε N₂ και οξειδώνουν τους άκαυστους υδρογονάνθρακες σε CO₂ και νερό. Φέρουν επίστρωση πλατίνας (Pt) και ροδίου (Rh). Απαιτούν για τη λειτουργία τους θερμοκρασία από 250-400° C.

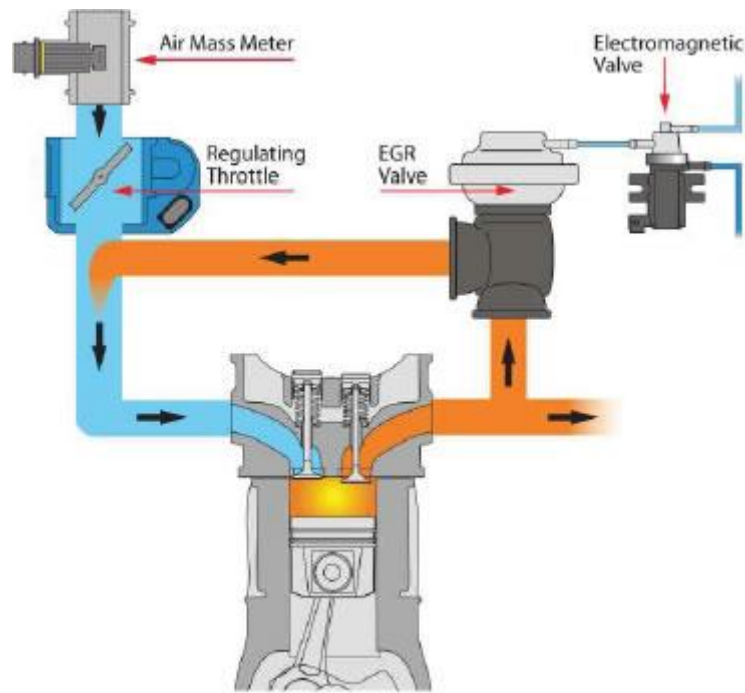
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι καταλυτικοί μετατροπείς απαιτούν λεπτομερή ρύθμιση του προς καύση μίγματος αέρα-καυσίμου κοντά στη στοιχειομετρική αναλογία στον κινητήρα. Για να μπορέσει ο καταλυτικός μετατροπέας να επιτελέσει

την οξείδωση του CO σε CO₂ και των HC σε CO₂ και H₂O, χρειάζεται παρουσία οξυγόνου στα καυσαέρια, το οποίο ελευθερώνεται κατά την αναγωγή των οξειδίων του αζώτου σε άζωτο.

2.4.2 Σύστημα Ανακυκλοφορίας Καυσαερίων

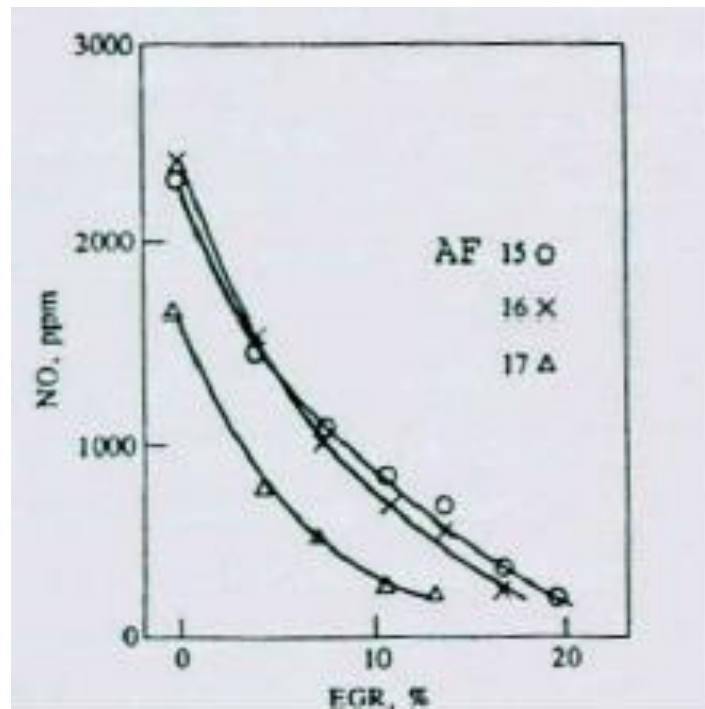
Η ανακυκλοφορία καυσαερίου (Exhaust Gas Recirculation-EGR) χρησιμοποιείται τόσο σε κινητήρες Diesel όσο και σε κινητήρες Otto. Τα οξείδια του αζώτου δημιουργούνται κατά την αντίδραση του οξυγόνου και του αζώτου του αέρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν εντός του θαλάμου καύσης κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Το 1970 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ανακυκλοφορία καυσαερίων σε αυτοκίνητα με κινητήρες Otto στην Αμερική. Με την εισαγωγή αδρανών καυσαερίων στο θάλαμο καύσης μειώνεται η θερμοκρασία καύσης καθώς τα καυσαέρια απορροφούν μέρος της παραγόμενης θερμότητας και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η εκπομπή οξειδίων του αζώτου.

Το σύστημα περιλαμβάνει τη βαλβίδα ανακυκλοφορίας, τον εναλλάκτη που ψύχει τα καυσαέρια πριν την εισαγωγή τους στο θάλαμο καύσης, τις απαραίτητες σωληνώσεις και αισθητήρες. Ο έλεγχος της βαλβίδας γίνεται από τη μονάδα ελέγχου του κινητήρα.



Εικόνα 37 Λειτουργία συστήματος ανακυκλοφορίας καυσαερίων

Η ρυθμιστική βαλβίδα του συστήματος EGR ανοίγει μια δίοδο από τον αυλό εξαγωγής προς τον αυλό εισαγωγής, μέσω του οποίου ένα μέρος των καυσαερίων οδηγείται στον θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια που οδηγούνται στο θάλαμο καύσης αντικαθιστά μέρος της γόμωσης. Τυπικό ποσοστό ανακυκλοφορίας καυσαερίων είναι 15-25% της συνολικής γόμωσης του θαλάμου καύσης. Η μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου είναι της τάξης του 90% όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 38 Επίδραση ποσοστού ανακυκλοφορίας καυσαερίων στις εκπομπές NOx

2.5 Σύγχρονα Συστήματα Ψύξης και Λίπανσης

2.5.1 Σύγχρονα Συστήματα Ψύξης

Για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση των κινητήρων εσωτερικής καύσης απαιτούνται συστήματα ψύξης. Τα συστήματα ψύξης μπορεί να είναι αερόψυκτα είτε υδρόψυκτα. Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούν τα υδρόψυκτα συστήματα καθώς στην πλειοψηφία τους οι κινητήρες είναι πλέον υδρόψυκτοι.

Οι κινητήρες απαιτούν ψύξη έτσι ώστε:

- να αυξάνεται η ογκομετρική τους ικανότητα

Όσο πιο ψυχρά είναι τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης τόσο μεγαλύτερη ποσότητα αέρα παγιδεύεται και άρα μπορεί να καεί περισσότερο καύσιμο.

- να εξασφαλίζονται οι απαραίτητες συνθήκες για καύση

Για να αποφευχθεί η αυτανάφλεξη του μίγματος αέρα-καυσίμου (knock), χρειάζεται ψύξη των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Η κρουστική καύση διαλύει το οριακό στρώμα και οδηγεί στην υπερθέρμανση τμημάτων του κινητήρα, φθείροντας τον.

- να αυξάνεται η μακροζωία του κινητήρα

Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του κινητήρα μειώνεται η αξιοπιστία καθώς καταπονούνται θερμικά τα υλικά του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του κινητήρα προκαλεί απώλεια ισχύος. Κράματα αλουμινίου από τα οποία είναι φτιαγμένη συνήθως η κυλινδροκεφαλή μαλακώνουν σε θερμοκρασίες πάνω από 200° C και αύλακες των ελατηρίων των εμβόλων παραμορφώνονται λόγω ερπυσμού. Επίσης σε θερμοκρασίες πάνω από 200° C μειώνεται η λιπαντική ικανότητα των λιπαντικών, με αποτέλεσμα τη γρηγορότερη φθορά των μερών του κινητήρα.

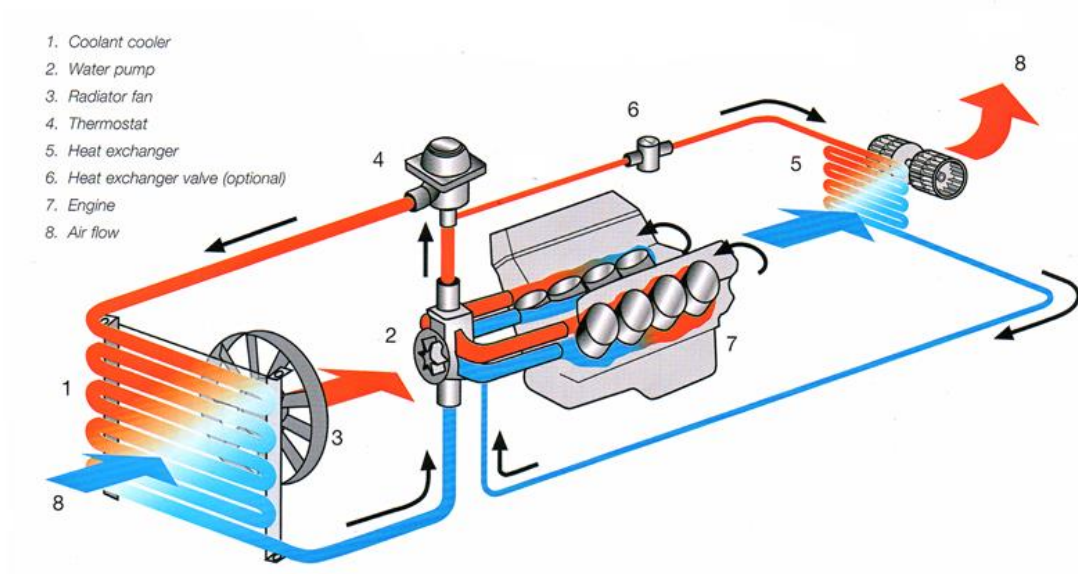
Οι σύγχρονοι κινητήρες αυτοκινήτων είναι υδρόψυκτοι. Χρησιμοποιούν κλειστό κύκλωμα ψύξης στο οποίο ρέει υγρό ψυκτικό (αιθυλική γλυκόλη) το οποίο παραμένει υγρό σε θερμοκρασίες μικρότερες των 0° C και μεγαλύτερες των 100° C, ενώ παρέχουν αντισκωριακή προστασία στα μεταλλικά μέρη του κινητήρα.

Το σύστημα ψύξης του κινητήρα περιλαμβάνει:

- Το ψυγείο. Το ψυγείο είναι ένας εναλλάκτης που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από το ψυκτικό υγρό στον αέρα. Είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και επάνω του βρίσκονται ανεμιστήρες που αυξάνουν την ροή του αέρα που ψύχει το υγρό όταν αυτό απαιτείται.
- Το δοχείο διαστολής και την τάπα πίεσης. Όσο το ψυκτικό υγρό απορροφά θερμότητα από τον κινητήρα διαστέλλεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση στο κύκλωμα. Αυτό αποτελεί μέρος τους σχεδιασμού του συστήματος, καθώς

με την αύξηση της πίεσης το ψυκτικό υγρό βράζει σε υψηλότερη θερμοκρασία. Η τάπα πίεσης, ενσωματώνει ένα ελατήριο, το οποίο συμπιέζεται όταν η πίεση υπερβεί ένα όριο αφήνοντας λίγο από το ψυκτικό να διαρρεύσει και αποτρέποντας καταστροφή του συστήματος ψύξης και του κινητήρα. Το δοχείο διαστολής αναπληρώνει την ποσότητα ψυκτικού που χάθηκε κατά την εκτόνωση της πίεσης.

- Την αντλία του ψυκτικού υγρού. Η αντλία κυκλοφορεί το ψυκτικό υγρό μέσα στον κινητήρα. Κινείται μέσω ιμάντα από τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα.
- Το θερμοστάτη. Ο θερμοστάτης είναι μια βαλβίδα η οποία ανοίγει όταν η θερμοκρασία του ψυκτικού στον κινητήρα ξεπεράσει ένα όριο (συνήθως από τους 89-95° C) επιτρέποντας το ψυκτικό υγρό να πάει στο ψυγείο ώστε να απάγει θερμότητα στο περιβάλλον.
- Τις απαραίτητες σωληνώσεις για την κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού.



Εικόνα 39 Σύστημα Ψύξης Κινητήρα

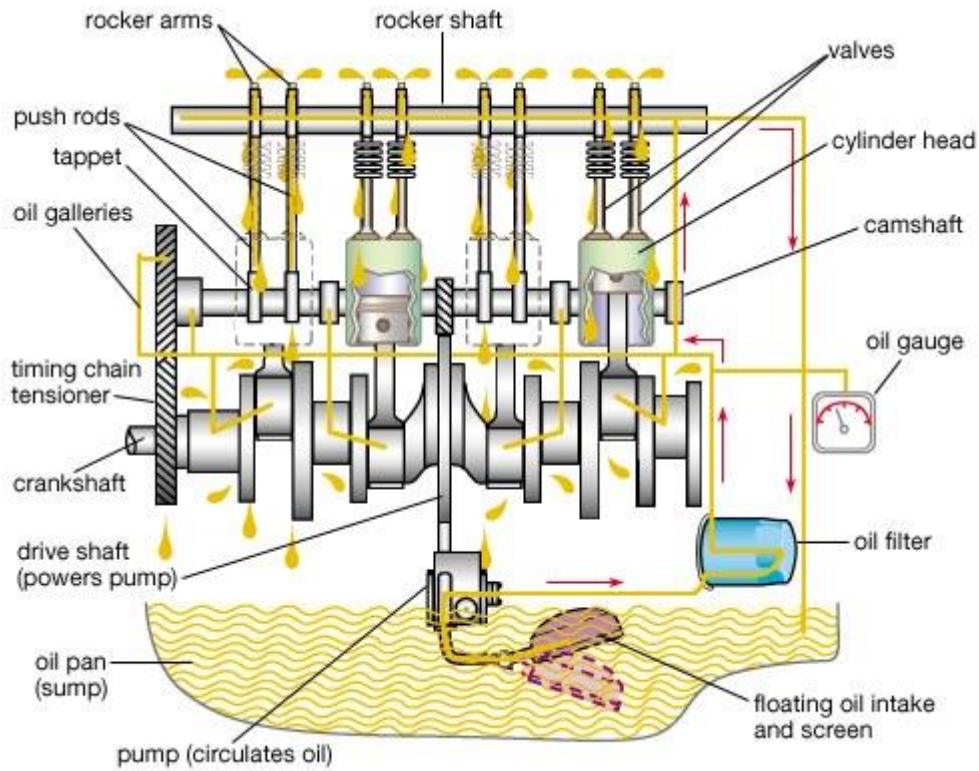
2.5.2 Σύγχρονα Συστήματα Λίπανσης

Σε κάθε κύκλο λειτουργίας ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης, ένα μέρος του παραγόμενου έργου χάνεται λόγω της τριβής των κινούμενων μερών του κινητήρα. Οι απώλειες λόγω τριβής φτάνουν το 10% σε πλήρες φορτίο και το 100% σε μηδενικό φορτίο. Αποτελούν μια παράμετρο μεγάλης σημασίας κατά το σχεδιασμό των κινητήρων. Ένα μεγάλο μέρος των απωλειών τριβής μεταφέρεται ως θερμότητα στο ψυκτικό υγρό και στο λιπαντικό έλαιο, με αποτέλεσμα να επιβαρύνονται τα συστήματα ψύξης. Οι απώλειες λόγω τριβών περιορίζονται σημαντικά με τη χρήση λιπαντικού ελαίου στα κινούμενα μέρη του κινητήρα. Το σύστημα λίπανσης του κινητήρα παρέχει την απαραίτητη ποσότητα λιπαντικού ελαίου στα κινούμενα μέρη. Το έλαιο διοχετεύεται υπό πίεση μέσω την αντλίας και μειώνει την τριβή και τη φθορά των μερών του κινητήρα, ενώ αποτρέπει την εμφάνιση υπερθέρμανσης. Το σύστημα λίπανσης εκτελεί συνοπτικά τις ακόλουθες λειτουργίες.

- Μειώνει την τριβή αντίστασης του κινητήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη απόδοση του κινητήρα και μικρότερη κατανάλωση.
- Περιορίζει τη φθορά του κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελάττωση των τριβών μεταξύ των κινούμενων μερών του κινητήρα και τη μη εμφάνιση τοπικών υπερθερμάνσεων.

Το λιπαντικό έλαιο βρίσκεται στην ελαιολεκάνη (κάρτερ). Η ελαιολεκάνη τοποθετείται στο κάτω μέρος του κινητήρα ώστε το λάδι να «πέφτει» εκεί. Η αντλία λαδιού μεταφέρει το λιπαντικό από την ελαιολεκάνη στο ψυγείο λαδιού (όπου αυτό υπάρχει). Στη συνέχεια οδηγείται στο φίλτρο λαδιού όπου συγκρατούνται τυχόν ξένα σώματα (ρινίσματα και λοιπές επικαθίσεις) και εισέρχεται στο κύκλωμα λαδιού. Στη συνέχεια οδηγείται στα έδρανα βάσης, τα έδρανα κάτω κεφαλής του διωστήρα, στον εκκεντροφόρο άξονα και στον στροβιλοσυμπιεστή (όπου αυτό απαιτείται) και στη

συνέχεια επιστρέφει στην ελαιολεκάνη. Στο σύστημα περιλαμβάνονται βαλβίδες που διατηρούν την πίεση του συστήματος εντός των ορίων λειτουργίας του συστήματος ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστη λίπανση.



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Εικόνα 40 Σύστημα Λίπανσης Κινητήρα

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL

3.1 Εξέλιξη στο Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου

Το σύστημα έγχυσης καυσίμου αναλαμβάνει τη διοχέτευση της απαραίτητης ποσότητας καυσίμου στον κινητήρα και καθορίζει τη σύσταση του μίγματος αέρα-καυσίμου. Για να επιτευχθεί καύση υψηλής απόδοσης, το σύστημα έγχυσης καυσίμου πρέπει να επιτελεί βέλτιστο διασκορπισμό καυσίμου και πλήρη ανάμιξη του με το συμπιεσμένο αέρα.

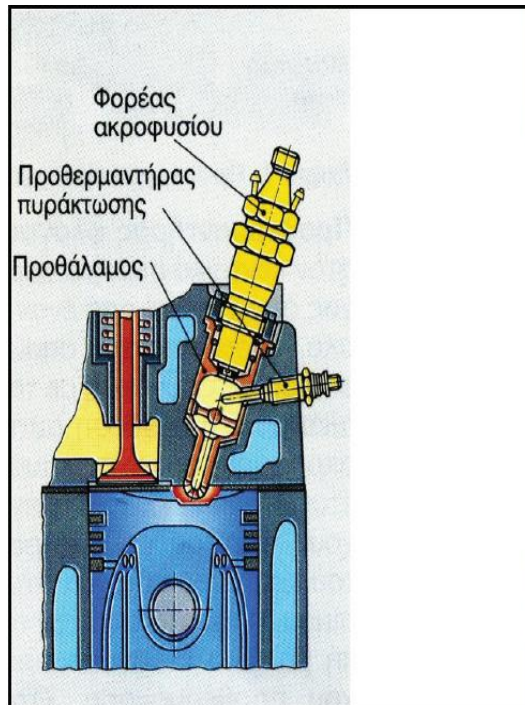
3.1.1 Ιστορική Αναδρομή Συστήματος Έγχυσης Καυσίμου

Το 1921 έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για χρήση αντλιών ψεκασμού τροποποιώντας αντλίες λαδιού της Bosch. Το 1923 παρουσιάστηκαν τα πρώτα πρωτότυπα αντλιών και εγχυτήρων ψεκασμού πετρελαίου. Το πρώτο σύστημα ψεκασμού Diesel για επιβατικά αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής εμφανίστηκε το 1936. Η πρώτη περιστροφική αντλία ψεκασμού Diesel παρουσιάστηκε το 1962. Το 1986 εισήχθη το πρώτο ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού. Το Audi 100 TDI (1989) ήταν το πρώτο επιβατικό αυτοκίνητο με άμεσο ψεκασμό με ηλεκτρονικά ελεγχόμενη περιστροφική αντλία. Το 1997 παρουσιάστηκε το σύστημα άμεσης έγχυσης Common Rail με πίεση έγχυσης 350-1350 bar. Το 2000 η πίεση έγχυσης του Common Rail 2^{ης} γενιάς έφτανε τα 1600 bar και το 2004 το 3^{ης} γενιάς Common Rail έφτανε τα 2000 bar.

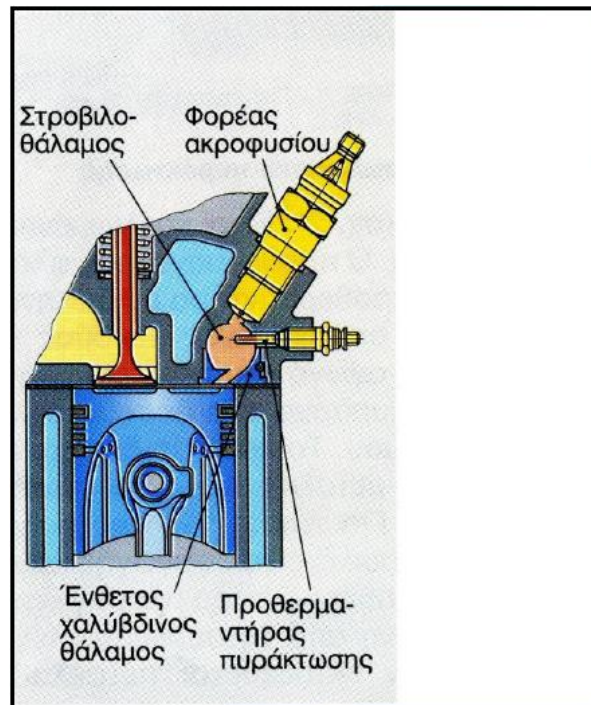
3.1.2 Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου

3.1.2.1 Συστήματα Έμμεσου Ψεκασμού

Οι πρώτοι κινητήρες Diesel ήταν εφοδιασμένοι με προθερμαντήρες, οι οποίοι θερμαίνουν τον προθάλαμο ή στροβιλοθάλαμο καύσης. Ο αέρας κατά τη συμπίεση από το έμβολο εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα και τύρβη στον προθάλαμο. Το καύσιμο ψεκάζεται στον προθάλαμο ή στροβιλοθάλαμο και η καύση ξεκινά. Η καύση συνεχίζεται με την έξοδο του μισοκαμμένου μίγματος αέρα καυσίμου από τον προθάλαμο στον κυρίως θάλαμο καύσης. Ο προθάλαμος ή ο στροβιλοθάλαμος κατασκευάζονται μέσα στην κυλινδροκεφαλή. Το σύστημα περιλαμβάνει περιστροφική μηχανική αντλία πετρελαίου, η οποία διένεμε το συμπιεσμένο καύσιμο στους κυλίνδρους. Οι εγχυτήρες άνοιγαν μηχανικά λόγω της πίεσης του πετρελαίου. Η πίεση έγχυσης του καυσίμου ήταν περίπου 130 bar.



Εικόνα 41 Κινητήρας Diesel με προθάλαμο καύσης



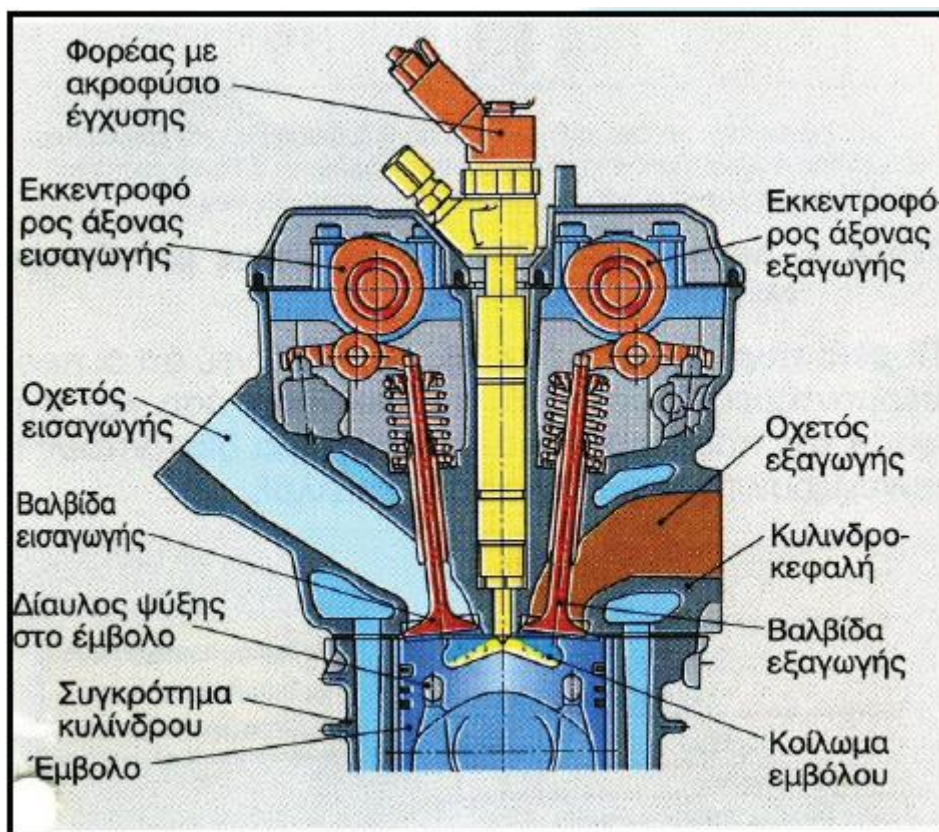
Εικόνα 42 Κινητήρας Diesel με στροβιλοθάλαμο καύσης

Το σύστημα έμμεσου ψεκασμού περιλαμβάνει:

- Τους προθερμαντήρες. Οι προθερμαντήρες είναι ωμικές αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται για να προθερμάνουν τον προθάλαμο ή το στροβιλοθάλαμο κατά την ψυχρή εκκίνηση ώστε να διευκολυνθεί η καύση.
- Τους εγχυτήρες. Κάθε κύλινδρος τροφοδοτείται από έναν εγχυτήρα. Ο εγχυτήρας ψεκάζει το καύσιμο στον προθάλαμο ή στο στροβιλοθάλαμο καύσης σε μορφή νέφους.
- Την περιστροφική αντλία καυσίμου. Χρησιμοποιούνται σε κινητήρες Diesel τόσο έμμεσου όσο και άμεσου ψεκασμού. Συμπιέζουν το καύσιμο ώστε να ανοίγει ο εγχυτήρας λόγω της πίεσης.
- Το φίλτρο καυσίμου το οποίο καθαρίζει το πετρέλαιο από ξένα σώματα και υγρασία, ώστε να προστατευτεί η αντλία και ο κινητήρας.

3.1.2.2 Συστήματα Άμεσης Έγχυσης Καυσίμου

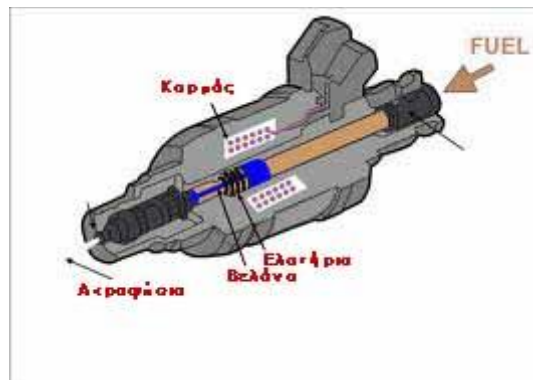
Τη δεκαετία του 1990 εμφανίστηκαν οι πρώτοι κινητήρες άμεσης έγχυσης πετρελαίου από τη Volkswagen (TDI), τη Renault (DTI), τη FIAT (TDI) κ.ά. Η άμεση έγχυση καυσίμου στους κινητήρες Diesel οδήγησε στη μείωση της κατανάλωσης και τη βελτίωση της αξιοπιστίας των κινητήρων, όμως αύξησε τη στάθμη του θορύβου λειτουργίας των κινητήρων και τις εκπομπές αιθάλης και NOx. Τα αυτοκίνητα με κινητήρες Diesel άμεσου ψεκασμού τροφοδοτούνται με καύσιμο από μια μηχανική περιστροφική αντλία έγχυσης υψηλής πίεσης, η οποία ενσωματώνει ηλεκτρονικά στοιχεία ελέγχου. Η αντλία διανέμει το καύσιμο διαδοχικά σε κάθε κύλινδρο ανοίγοντας τα μπεκ μέσω της υψηλής πίεσης του καυσίμου το οποίο διοχετεύεται εντός του κυλίνδρου.



Εικόνα 43 Κινητήρας Diesel άμεσου ψεκασμού

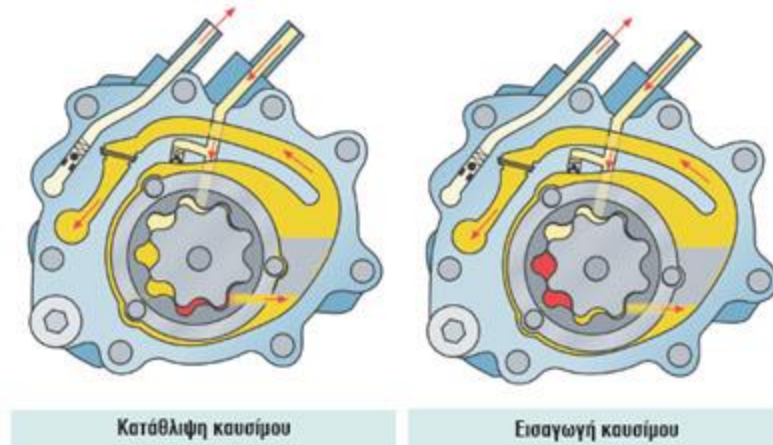
Το σύστημα άμεσου ψεκασμού περιλαμβάνει:

- Τους εγχυτήρες. Κάθε κύλινδρος τροφοδοτείται από έναν εγχυτήρα. Ο εγχυτήρας ψεκάζει το καύσιμο στον θάλαμο καύσης σε μορφή νέφους.



Εικόνα 44 Εγχυτήρας καυσίμου

- Την περιστροφική αντλία καυσίμου. Συμπιέζει το καύσιμο ώστε να ανοίγει ο εγχυτήρας λόγω της πίεσης.



Εικόνα 45 Αντλία υψηλής πίεσης

- Το φίλτρο καυσίμου το οποίο καθαρίζει το πετρέλαιο από ξένα σώματα και υγρασία, ώστε να προστατευτεί η αντλία και ο κινητήρας.



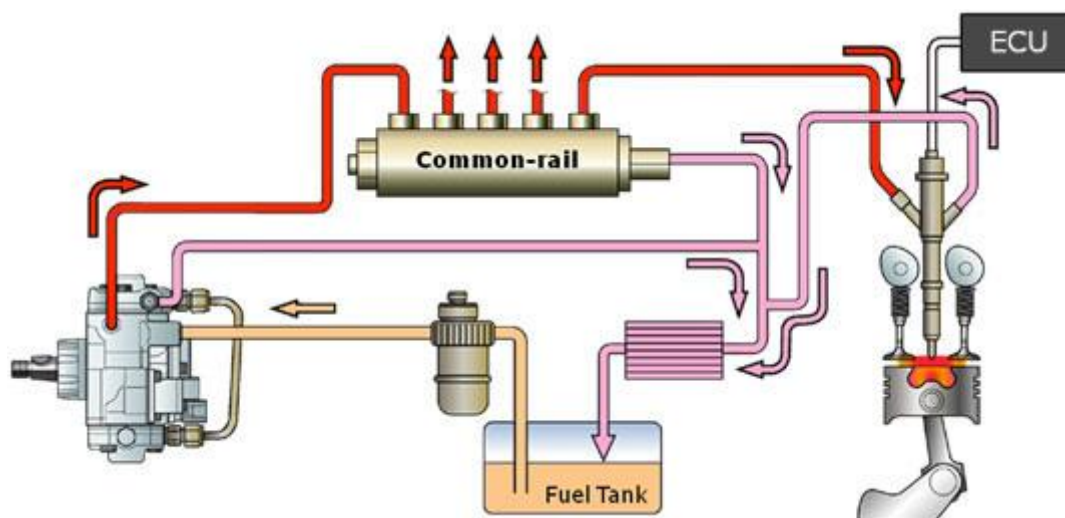
Εικόνα 46 Φίλτρο καυσίμου

Συνοπτικά , οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού προσφέρουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης και μικρότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου, ευκολότερη ψυχρή εκκίνηση, είναι όμως πιο θορυβώδεις και τραχείς, ενώ αυξάνεται η εκπομπή NOx κατά τη λειτουργία τους σε σχέση με τους κινητήρες έμμεσου ψεκασμού.

3.1.2.3 Σύστημα Common Rail

Στη συνέχεια εμφανίστηκε το σύστημα Common Rail. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τους χρόνους ψεκασμού και την πίεση ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Αυτό οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές ρύπων, χαμηλότερη κατανάλωση και χαμηλότερη στάθμη θορύβου λειτουργίας του κινητήρα. Το σύστημα Common Rail διαχωρίζεται στο κύκλωμα υψηλής πίεσης και στο κύκλωμα χαμηλής πίεσης. Το κύκλωμα υψηλής πίεσης αποτελείται από μια περιστροφική αντλία η οποία τροφοδοτεί έναν κοινό αγωγό υψηλής πίεσης (Common Rail). Στη συνέχεια οι εγχυτήρες τροφοδοτούνται με καύσιμο από τον κοινό αγωγό μέσω ηλεκτροβάνας η οποία ελέγχεται από το ηλεκτρικό σύστημα του κινητήρα. Αργότερα στα επόμενης γενιάς συστήματα η ηλεκτροβάνα αντικαταστάθηκε από πιεζοηλεκτρικά συστήματα. Το σύστημα χαμηλής πίεσης τροφοδοτεί με καύσιμο από τη δεξαμενή το κύκλωμα

υψηλής πίεσης. Περιλαμβάνει μία γραναζωτή αντλία χαμηλής πίεσης (5-10 bar), το φίλτρο καυσίμου και τις απαραίτητες σωληνώσεις.

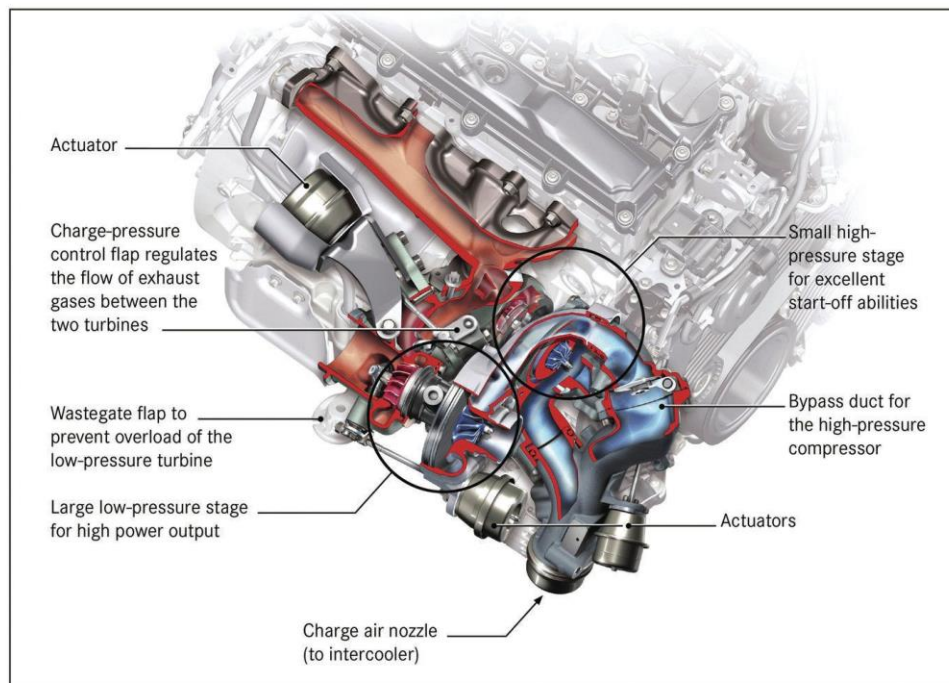


Εικόνα 47 Σύστημα Common Rail

3.2 Συστήματα Υπερπλήρωσης

Η ισχύς ενός κινητήρα εξαρτάται άμεσα από την μάζα του εισερχόμενου αέρα όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στους κινητήρες Diesel η υπερπλήρωση χρησιμοποιήθηκε αρκετά νωρίς, καθώς σε σχέση με τους κινητήρες Otto τα καυσαέρια (στην περίπτωση των στροβιλοσυμπιεστών) δεν είναι τόσο υψηλής θερμοκρασίας, επομένως δεν δημιουργούνταν προβλήματα με την αντοχή των υλικών που απάρτιζαν το σύστημα. Επίσης, η εφαρμογή υπερπλήρωσης στους κινητήρες Diesel την καθιστά πιο αποδοτική από ότι στους κινητήρες Otto καθώς ο διαθέσιμος χρόνος για την ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα είναι λιγότερος, επομένως απαιτείται περισσότερος αέρας, με συνέπεια τη μεγάλη αύξηση της παραγόμενης ισχύος. Η παρουσία περισσότερου οξυγόνου στο θάλαμο καύσης περιορίζει την καθυστέρηση αυτανάφλεξης του καυσίμου, κάνοντας πιο ομαλή τη λειτουργία του κινητήρα.

Τα συστήματα υπερπλήρωσης που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες Diesel είναι παρόμοια με αυτά των κινητήρων Otto που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 48 Σύστημα στροβιλοϋπερπλήρωσης Diesel

3.3 Σύστημα Διαχείρισης Καυσαερίου

Οι κινητήρες Diesel κατά τη λειτουργία τους εκπέμπουν ρύπους ιδιαίτερα επικίνδυνους για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Αναπτύχθηκαν τεχνολογίες και πρότυπα για τη σημαντική μείωση αυτών των εκπομπών. Τη δεκαετία του 1970 τέθηκαν σε ισχύ οι πρώτες προδιαγραφές ελέγχου καυσαερίων. Από τότε οι προδιαγραφές γίνονται συνεχώς πιο αυστηρές με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανάπτυξη τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών στα καυσαέρια.

Για τη μείωση των εκπομπών ρύπων χρησιμοποιούνται τόσο εσωτερικά μέτρα που αφορούν τη σχεδίαση του κινητήρα όσο και εξωτερικά.

Τα εσωτερικά μέτρα αντιρύπανσης των κινητήρων Diesel περιλαμβάνουν:

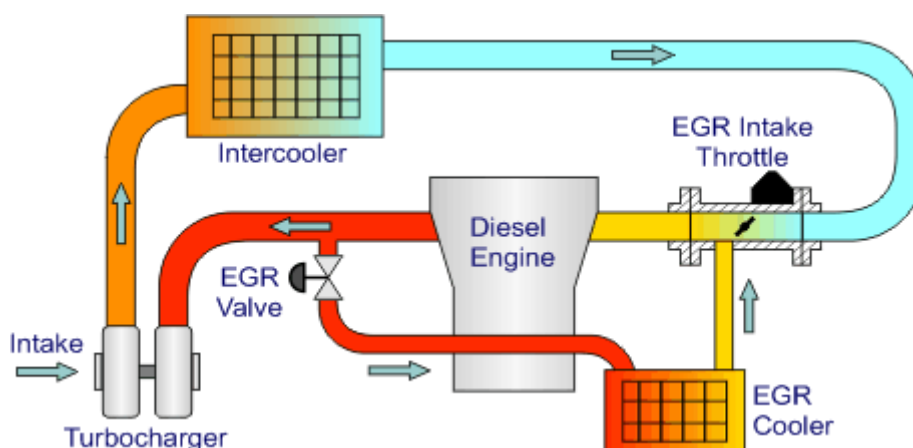
- Κατάλληλη διαμόρφωση των αυλών εισαγωγής και εξαγωγής με σκοπό τις βέλτιστες συνθήκες ροής
- Τις υψηλές πιέσεις ψεκασμού
- Τη διαμόρφωση του χώρου καύσης για μείωση των νεκρών χώρων (σημεία όπου δεν γίνεται καύση)
- Τη χρήση ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)

Στους κινητήρες Diesel δεν είναι δυνατή η χρήση τριοδικού καταλύτη καθώς ο κινητήρας δεν λειτουργεί με σταθερή αναλογία αέρα-καυσίμου. Επομένως χρησιμοποιούνται ξεχωριστά συστήματα διαχείρισης του καυσαερίου για κάθε ρύπο. Για την μείωση των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) χρησιμοποιείται οξειδωτικός καταλύτης. Για την αντιμετώπιση της αιθάλης η παγίδα αιθάλης (DPF- Diesel Particulate Filter) και τέλος αναγωγικός καταλύτης για την μείωση των οξειδίων του αζώτου (NOx).

3.3.1 Ανακυκλοφορία Καυσαερίων (EGR)

Τα οξείδια του αζώτου δημιουργούνται κατά την αντίδραση του οξυγόνου και του αζώτου του αέρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν εντός του θαλάμου καύσης κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Με την εισαγωγή αδρανών καυσαερίων στο θάλαμο καύσης μειώνεται η θερμοκρασία καύσης καθώς τα καυσαέρια απορροφούν μέρος της παραγόμενης θερμότητας και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η εκπομπή οξειδίων του αζώτου. Στους κινητήρες Diesel, η ανακυκλοφορία των καυσαερίων αυξάνει την παραγωγή αιθάλης καθώς τα καυσαέρια αντικαθιστούν μέρος του

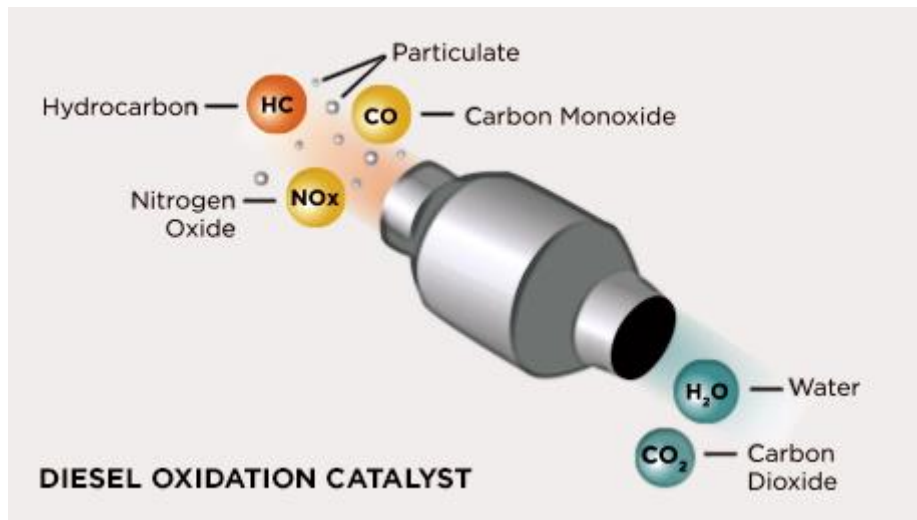
εισερχόμενου αέρα στον κύλινδρο κάνοντας πιο πτωχή την αναλογία καυσίμου-αέρα. Με αναλογία ανακυκλοφορίας 15% οι εκπομπές NO_x μειώνονται έως και 100%. Το σύστημα περιλαμβάνει τη βαλβίδα ανακυκλοφορίας τον εναλλάκτη ψύξης καυσαερίων και τις απαραίτητες σωληνώσεις, ενώ η λειτουργία της βαλβίδας ρυθμίζεται από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα.



Εικόνα 49 Λειτουργία Συστήματος EGR

3.3.2 Οξειδωτικός Καταλύτης

Οι οξειδωτικοί καταλύτες εμφανίστηκαν στην Ευρώπη το 1996 με την εφαρμογή των προδιαγραφών ρύπων Euro 2. Είναι μια συσκευή μονόλιθου με διαμήκη κανάλια από οξείδιο του αργιλίου με επίστρωση καταλυτικού υλικού (πλατίνα-Pt). Οξειδώνουν το CO και τους άκαυστους υδρογονάνθρακες σε αβλαβή CO₂ και H₂O, ενώ αντιμετωπίζουν κατά 25-50% τις εκπομπές σωματιδίων και μειώνουν δραματικά τις εκπομπές μη θερμοθετημένων ρύπων όπως αλδεύδες, κετόνες κá.

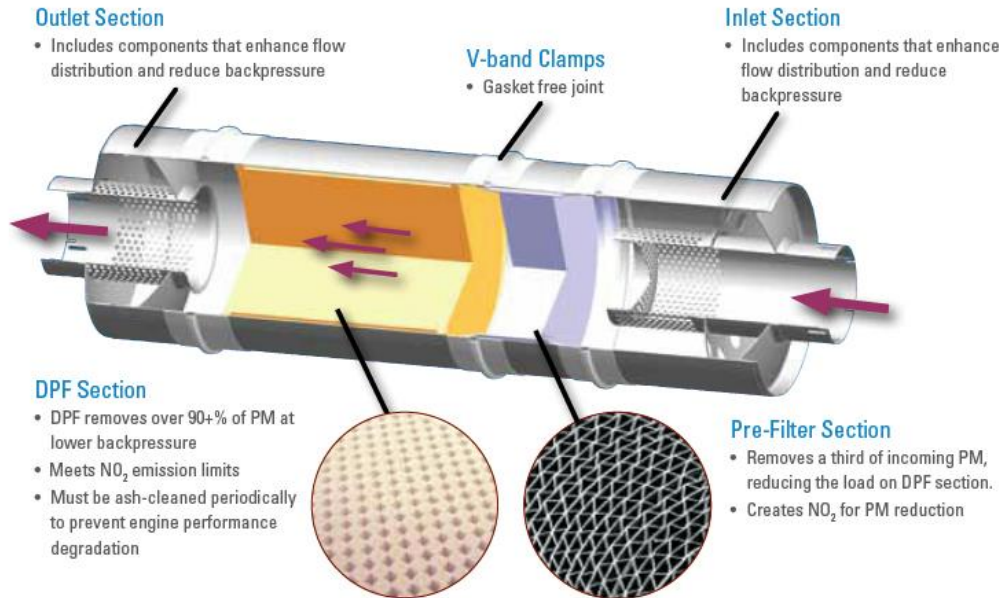


Εικόνα 50 Οξειδωτικός Καταλύτης

3.3.3 Παγίδα Αιθάλης (DPF)

Η παγίδα αιθάλης είναι ένα φίλτρο που κατακρατεί τα σωματίδια των καυσαερίων. Σε τακτά χρονικά διαστήματα το φίλτρο κατά τη διαδικασία της αναγέννησης καίει τα σωματίδια αποτρέποντας τη διαφυγή τους στην ατμόσφαιρα. Τα σύγχρονα φίλτρα έχουν βαθμό απόδοσης πάνω από 90% ενώ χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμική και μηχανική αντοχή.

Η παγίδα αιθάλης είναι κατασκευασμένη από υλικά που αντέχουν σε θερμοκρασίες άνω των 1000° C και σε απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας. Εμφανίζει χαμηλή πτώση πίεσης, δυνατότητα καταλυτικής επίστρωσης, υψηλό βαθμό κατακράτησης σωματιδίων. Κατασκευάζονται από κεραμικά υλικά όπως ο κορδιερίτης και το καρβίδιο του πυριτίου.



Εικόνα 51 Λειτουργία της Παγίδας Αιθάλης

Για την καύση των κατακρατημένων σωματιδίων απαιτείται θερμοκρασία της τάξης των 550-650° C. Για να επιτευχθούν αυτές οι θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές. Η μείωση της θερμοκρασίας ισορροπίας, η οποία χρησιμοποιείται στα παθητικά συστήματα και η ανύψωση της θερμοκρασίας του καυσαερίου που χρησιμοποιείται στα ενεργητικά συστήματα αναγέννησης.

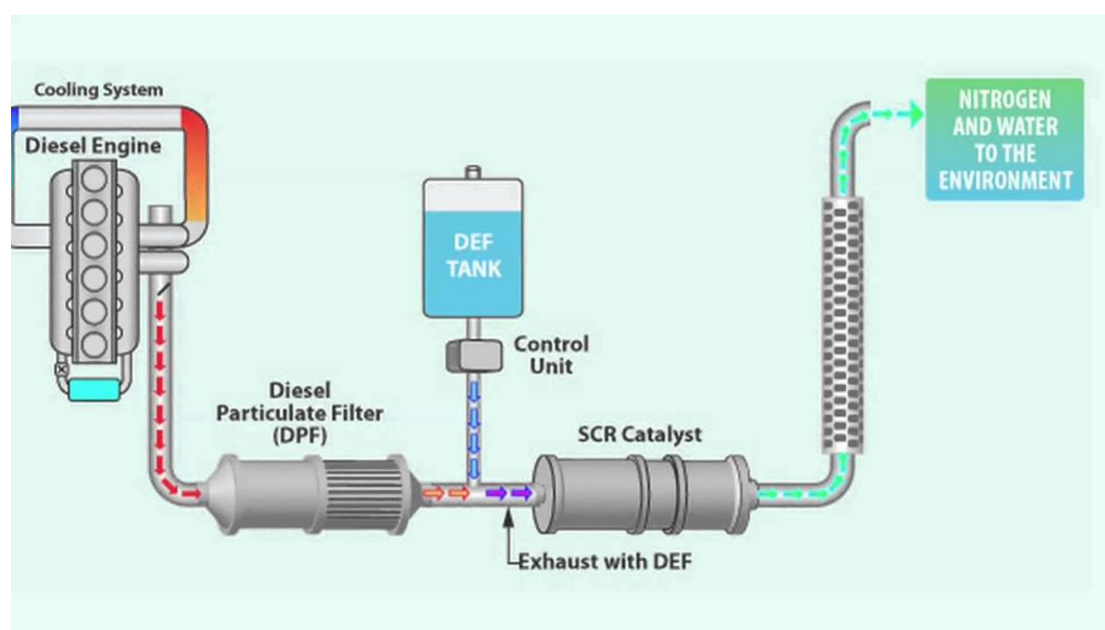
Η μείωση της θερμοκρασίας ισορροπίας επιτυγχάνεται με την εισαγωγή καταλύτη σε κατάλληλο μέρος του συστήματος ώστε να επιταχυνθεί η αντίδραση της αιθάλης με το οξυγόνο. Η παθητική αναγέννηση επηρεάζεται σημαντικά από το λόγο NO_x προς αιθάλη στα καυσαέρια, το ποσοστό του πτητικού μέρους της αιθάλης, την παροχή καυσαερίου και το ποσοστό οξυγόνου στο καυσαέριο.

Η αύξηση της θερμοκρασίας καυσαερίου πραγματοποιούν θερμική αναγέννηση της παγίδας αιθάλης εγχύοντας καύσιμο στο καυσαέριο. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η περιεκτικότητα του καυσαερίου σε άκαυστους υδρογονάνθρακες οι οποίοι οξειδώνονται στον καταλύτη που βρίσκεται πριν την παγίδα αιθάλης. Κατά την

οξειδωση αυξάνεται η θερμοκρασία του καυσαερίου καθιστώντας εφικτή την αναγέννηση της παγίδας αιθάλης.

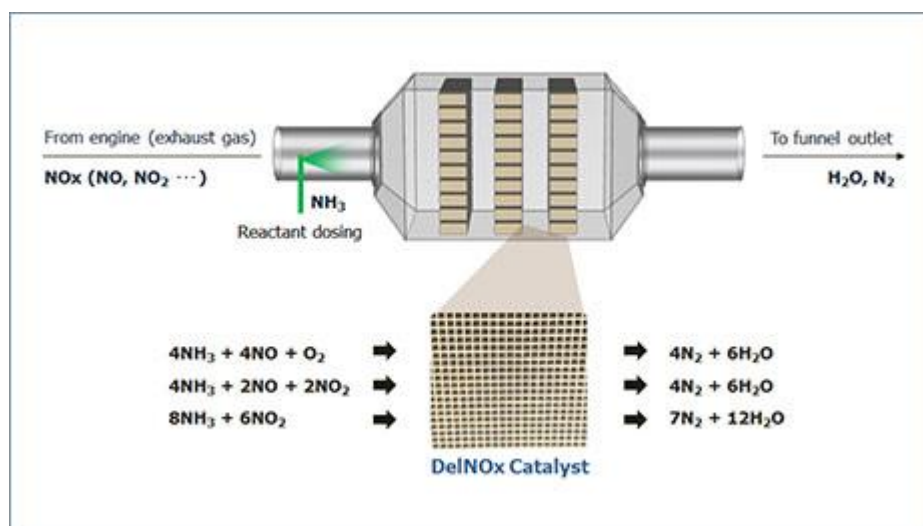
3.3.4 Επιλεκτικός Αναγωγικός Καταλύτης

Όσο οι προδιαγραφές για τις εκπομπές ρύπων γίνονται αυστηρότερες, οι κατασκευαστές αναγκάζονται να χρησιμοποιούν περιπλοκότερες συσκευές επεξεργασίας καυσαερίων. Για την αντιμετώπιση των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και τη μείωση τους εντός των προδιαγραφών Euro 6 χρησιμοποιούνται επιλεκτικοί αναγωγικοί καταλύτες. Οι επιλεκτικοί αναγωγικοί καταλύτες (Selective Catalytic Reduction ή SCR) εμφανίστηκαν στην Ιαπωνία τη δεκαετία του 1970 και στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1980 σε θερμικούς σταθμούς. Για την αναγωγή χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υλικά όπως αμμωνία, ουρία, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο και υδρογονάνθρακες, αλλά επικράτησε η χρήση αμμωνίας καθώς όλα τα υπόλοιπα αντιδρούν με το οξυγόνο που βρίσκεται στα καυσαέρια.



Εικόνα 52 Το σύστημα επεξεργασίας καυσαερίων

Οι αναγωγικοί καταλύτες είναι πολύ αποτελεσματικοί στη μείωση των εκπομπών NO_x, έχουν όμως υψηλό κόστος εγκατάστασης, υψηλό κόστος αμμωνίας και η τοξικότητα της αμμωνίας δημιουργεί προβλήματα σε περίπτωση διαρροής.



Εικόνα 53 Η λειτουργία του SCR

Το σύστημα επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής περιλαμβάνει το καταλυτικό υλικό σε κεραμικές κυψέλες, το σύστημα τροφοδοσίας αμμωνίας, αντλία με δοσομετρική μονάδα και το σύστημα ελέγχου.

3.4 Μικτή Καύση Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου σε Κινητήρες Diesel

Για να περιοριστούν οι εκπομπές των κινητήρων Diesel προτάθηκε η χρήση φυσικού αερίου, το οποίο αποτελεί πιο καθαρό αλλά και αξιόπιστο καύσιμο. Το φυσικό αέριο προέρχεται από κοιτάσματα πετρελαίου. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, ενώ απουσιάζει από τη σύστασή του το μονοξείδιο του άνθρακα.

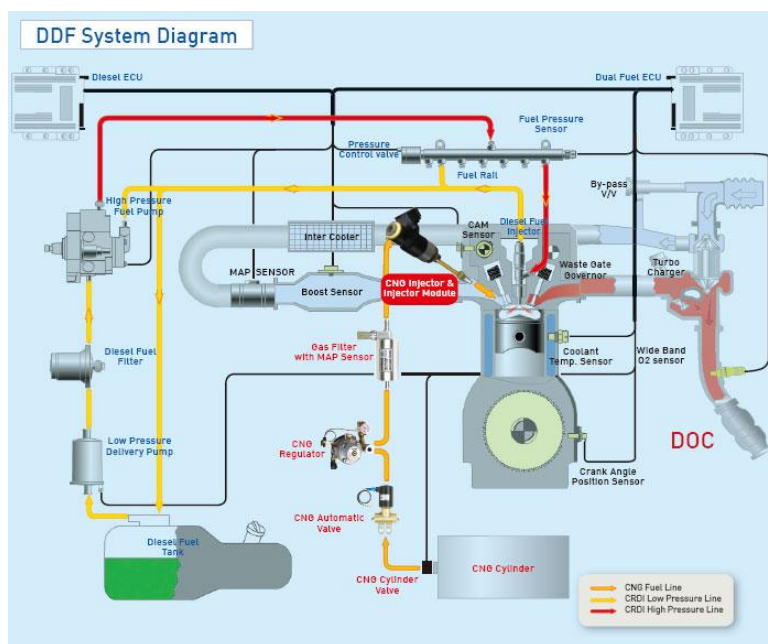
Το φυσικό αέριο συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση των εκπομπών σωματιδίων. Η χρήση φυσικού αερίου γίνεται με αναπλήρωση μέρους του καυσίμου πετρελαίου. Το ποσοστό αναπλήρωσης φτάνει μέχρι το 90%. Στο

θάλαμο καύσης εισάγεται πετρέλαιο ώστε να διευκολυνθεί η ανάφλεξη του φυσικού αερίου. Η μονάδα ελέγχου του κινητήρα επιλέγει την κατάλληλη αναλογία πετρελαίου και φυσικού αερίου ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα. Η μικτή καύση (φυσικό αέριο και πετρέλαιο) σε κινητήρα Diesel εξασφαλίζει:

- Ισάξιες επιδόσεις
- Λιγότερες εκπομπές ρύπων (αιθάλη, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου και άκαυστους υδρογονάνθρακες)
- Μεγαλύτερη αυτονομία

Το σύστημα περιλαμβάνει :

- Τη δεξαμενή φυσικού αερίου
- Τους εγχυτήρες φυσικού αερίου που τοποθετούνται στον αυλό εισαγωγής του κινητήρα
- Την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος
- Τις απαραίτητες σωληνώσεις για την τροφοδοσία του κινητήρα με καύσιμο



Εικόνα 54 Διαγραμματική Απεικόνιση Συστήματος Μικτής Καύσης Diesel-CNG

4. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή-Σύντομη Ανάλυση Ρύπων από Κινητήρες Αυτοκίνησης

Με τη ραγδαία εξάπλωση της χρήσης αυτοκινήτων ο αέρας κυρίως στα αστικά κέντρα άρχισε να ρυπαίνεται λόγω των εκπομπών από τις εξατμίσεις. Γρήγορα οι εκπομπές των αυτοκινήτων συνδέθηκαν με προβλήματα υγείας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Το φωτοχημικό νέφος που εμφανίστηκε στον ουρανό του Los Angeles τη δεκαετία του 1940 καθώς και η εμφάνιση μαύρου καπνού στην εξάτμιση στροβιλο-υπερπληρωμένων κινητήρων Diesel στα τέλη της δεκαετίας του 1960 οδήγησαν στη θεσμοθέτηση προδιαγραφών για τον περιορισμό των εκπομπών από κινητήρες αυτοκίνησης. Στην Ευρώπη παρουσιάστηκαν οδηγίες που περιλαμβάνουν προδιαγραφές ελέγχου των εκπομπών από κινητήρες αυτοκινήτων τη δεκαετία του 1970. Για να μπορέσει ένας κατασκευαστής να πάρει έγκριση τύπου για τη διάθεση αυτοκινήτου, θα πρέπει να πληροί τις απαραίτητες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές εκπομπών ορίζονται σε μια σειρά οδηγιών ή κανονισμών που ισχύουν σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι εκπομπές που ελέγχονται μέσω προδιαγραφών είναι:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το CO₂ παρότι δεν αποτελεί ρύπο, συμβάλλει στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αποτελεί αναπόφευκτη εκπομπή από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και παράγεται κατά την

καύση ενώσεων άνθρακα. Οι εκπομπές του είναι ανάλογες με την κατανάλωση καυσίμου. Επομένως, όσο μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου μειώνονται οι εκπομπές CO₂.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το CO αποτελεί τοξικό αέριο καθώς μειώνει την ικανότητα του αίματος να απορροφά οξυγόνο και σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιφέρει θάνατο. Δημιουργείται κατά την ατελή καύση του καυσίμου. Οι εκπομπές του περιορίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας καύσης και τη χρήση καταλυτικών μετατροπών στην έξοδο των καυσαερίων.
- Οξείδιο του αζώτου (NO_x). Τα οξείδια των αζώτου κατά την απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα προκαλούν όξινη βροχή, καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος και προκαλούν βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό, σε ζώα και φυτά. Ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους στα αστικά κέντρα. Δημιουργούνται κατά την αντίδραση του αζώτου και του οξυγόνου που βρίσκονται στον αέρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στο θάλαμο καύσης. Οι εκπομπές του περιορίζονται με τη μείωση της θερμοκρασίας καύσης (χρήση EGR), αυξάνοντας όμως την παραγωγή CO. Στους κινητήρες Otto το NO μετατρέπεται στο λιγότερο επιβλαβές NO₂ με τη χρήση καταλυτικού μετατροπέα, ενώ στους κινητήρες Diesel, αντιμετωπίζεται με τη χρήση αναγωγικού καταλυτικού μετατροπέα (SCR).
- Οξείδια του θείου (SO_x). Τα SO_x είναι τοξικά, προκαλούν όξινη βροχή κατά την απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα και παρουσία νερού προκαλούν διάβρωση. Δημιουργούνται κατά την αντίδραση του θείου που βρίσκεται στο καύσιμο με το οξυγόνο στον αέρα εντός του θαλάμου καύσης. Οι εκπομπές του περιορίζονται με τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC). Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες είναι τοξικοί για τον ανθρώπινο οργανισμό και συνεισφέρουν στη δημιουργία αιθαλομίχλης. Απελευθερώνονται όταν το καύσιμο δεν καίγεται πλήρως κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Οι εκπομπές του περιορίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας καύσης και τη διαμόρφωση του κινητήρα με σκοπό τον περιορισμό της ανομοιομορφίας του καύσιμου μίγματος.
- Σωματίδια ή αιθάλη (PM). Τα σωματίδια προκαλούν αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι εκπομπές του περιορίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας καύσης και τη διαμόρφωση του κινητήρα με σκοπό τον περιορισμό της ανομοιομορφίας του καύσιμου μίγματος.
- Θόρυβος. Ο θόρυβος που εκπέμπεται από αυτοκίνητα συνδέεται με αύξηση άγχους, αρτηριακής πίεσης και καρδιαγγειακά προβλήματα.

Φυσικά κατά τη λειτουργία των κινητήρων Otto και Diesel στην αυτοκίνηση εκπέμπονται και άλλοι ρύποι όπως αλδεΐδες, κετόνες, ναφθαλίνες, βενζόλιο κλπ οι οποίοι όπως δεν υπόκεινται σε έλεγχο.

4.2 Περιορισμοί και Προδιαγραφές Εκπομπής Ρύπων από Εμβολοφόρους Κινητήρες Οχημάτων

4.2.1 Κατηγοριοποίηση των Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Τα οχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το βάρος και τη χρήση τους. Ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει ένα όχημα υπόκειται σε διαφορετικές προδιαγραφές εκπομπών. Ανάλογα με τη χρήση τους, τα οχήματα κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

Κατηγορία	Περιγραφή
Κατηγορία M	Αφορά οχήματα που χρησιμοποιούνται για μεταφορά επιβατών
Κατηγορία N	Αφορά οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αγαθών
Κατηγορία L	Αφορά οχήματα με λιγότερους από τέσσερις τροχούς (μοτοσυκλέτες, τρίκυκλα)
Κατηγορία T	Αφορά γεωργικούς και δασικούς ελκυστήρες και τα ρυμουλκούμενά τους

Η κατηγορία Μ (οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά επιβατών) χωρίζεται ανάλογα με το μικτό βάρος του οχήματος στις παρακάτω υποκατηγορίες:

Υποκατηγορία	Περιγραφή
M₁	Αφορά οχήματα που περιλαμβάνουν όχι περισσότερες από οκτώ θέσεις για επιβάτες πλέον αυτής του οδηγού και μικτό βάρος $GVW \leq 3,5$ tn
M₂	Αφορά οχήματα που περιλαμβάνουν περισσότερες από οκτώ θέσεις για επιβάτες πλέον αυτής του οδηγού και μικτό βάρος μεταξύ 3,5 και 5 tn.
M₃	Αφορά οχήματα που περιλαμβάνουν περισσότερες από οκτώ θέσεις για επιβάτες πλέον αυτής του οδηγού και μικτό βάρος >5 tn.

Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούν οι προδιαγραφές εκπομπών για την κατηγορία M₁, καθώς αντικείμενο μελέτης είναι οι κινητήρες αυτοκίνησης.

4.3 Προδιαγραφές Εκπομπής Ρύπων Οχημάτων Κατηγορίας M₁

Οι προδιαγραφές εκπομπών για την έγκριση τύπου περιλαμβάνουν:

- Εκπομπές από την εξάτμιση του οχήματος (Τύπος I). Οι εκπομπές μετριοούνται στην έξοδο της εξάτμισης του οχήματος.
- Εκπομπές στροφαλοθάλαμου λόγω διαρροών από τα ελατήρια του εμβόλου (Τύπος III). Οι εκπομπές στροφαλοθάλαμου πρέπει να επανεισάγονται στην εισαγωγή του κινητήρα και να μην διαφεύγουν στο περιβάλλον.
- Αναθυμιάσεις βενζίνης για τους κινητήρες Otto (Τύπος IV). Η βενζίνη είναι ιδιαίτερα πτητικό καύσιμο και στη δεξαμενή καυσίμου υπάρχουν ατμοί οι οποίοι οδηγούνται πίσω στον κινητήρα αφού περάσουν από φίλτρο ενεργού άνθρακα (Οδηγία 98/69/EC). Δεν επιτρέπεται η διαφυγή αναθυμιάσεων βενζίνης στο περιβάλλον.
- Τη διάρκεια ζωής των συστημάτων αντιρύπανσης (Τύπος V). Η απόδοση των συστημάτων αντιρύπανσης φθίνει όσο αυτά λειτουργούν με συνέπεια να απαιτείται η αντικατάστασή τους.
- Εκπομπές χαμηλών θερμοκρασιών. (Τύπος VI). Κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνονται οι εκπομπές. Στους κινητήρες Otto αυξάνονται οι εκπομπές CO και HC και στους κινητήρες Diesel οι εκπομπές αιθάλης.
- Εκπομπές θορύβου οχημάτων.

Παρακάτω αναλύονται οι προδιαγραφές από την εξάτμιση του οχήματος, η διάρκεια ζωής των συστημάτων αντιρύπανσης και οι εκπομπές θορύβου από τη λειτουργία του κινητήρα. Δεν αναλύονται οι εκπομπές χαμηλών θερμοκρασιών καθώς δεν αφορούν τα ελληνικά δεδομένα.

4.3.1 Εκπομπές από την Εξάτμιση των Οχημάτων

4.3.1.1 Προδιαγραφές Euro

Οι προδιαγραφές για τις εκπομπές από τις εξατμίσεις των οχημάτων προς έγκριση τύπου με την ονομασία Euro παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1970 στην οδηγία (Directive) 70/220/EEC η οποία από τότε έχει τροποποιηθεί αρκετές φορές.

- Euro 1 (EC 93) παρουσιάστηκε τον Ιούλιο του 1992 με την οδηγία 91/441/EEC και 93/59/EEC.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές Euro 1 οι εκπομπές πρέπει να είναι λιγότερο από:

- Για τους κινητήρες Otto:

CO < 2,72 gr/km

HC και NO_x < 0,97 gr/km

- Για τους κινητήρες Diesel:

CO < 2,72 gr/km

HC και NO_x < 0,97 gr/km

PM < 0,14 gr/km

- Euro 2 (EC 96) παρουσιάστηκε τον Ιανουάριο του 1996 με τις οδηγίες 94/12/EC και 96/69/EC

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές Euro 2 οι εκπομπές πρέπει να είναι λιγότερο από:

- Για τους κινητήρες Otto:

$CO < 2,2 \text{ gr/km}$

$HC \text{ και } NO_x < 0,5 \text{ gr/km}$

- Για τους κινητήρες Diesel:

- Έμμεσου Ψεκασμού:

$CO < 1 \text{ gr/km}$

$HC \text{ και } NO_x < 0,7 \text{ gr/km}$

$PM < 0,08 \text{ gr/km}$

- Άμεσου Ψεκασμού:

$CO < 1 \text{ gr/km}$

$HC \text{ και } NO_x < 0,9 \text{ gr/km}$

$PM < 0,1 \text{ gr/km}$

- Euro 3 και 4 παρουσιάστηκαν τον Ιανουάριο του 2000 και τον Ιανουάριο του 2005 αντίστοιχα με την οδηγία 98/69/EC η οποία τροποποιήθηκε από την οδηγία 2002/80/EC.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές Euro 3 οι εκπομπές πρέπει να είναι λιγότερο από:

- Για τους κινητήρες Otto:

$$\text{CO} < 2,3 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC} < 0,2 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,15 \text{ gr/km}$$

- Για τους κινητήρες Diesel:

$$\text{CO} < 0,64 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC και NO}_x < 0,56 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,50 \text{ gr/km}$$

$$\text{PM} < 0,05 \text{ gr/km}$$

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές Euro 4 οι εκπομπές πρέπει να είναι λιγότερο από:

- Για τους κινητήρες Otto:

$$\text{CO} < 1 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC} < 0,1 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,08 \text{ gr/km}$$

- Για τους κινητήρες Diesel:

$$\text{CO} < 0,5 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC και NO}_x < 0,30 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,25 \text{ gr/km}$$

$$\text{PM} < 0,025 \text{ gr/km}$$

- Euro 5 και 6 παρουσιάστηκαν το Σεπτέμβριο του 2009 και το Σεπτέμβριο του 2014 αντίστοιχα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 715/2007

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές Euro 5 οι εκπομπές πρέπει να είναι λιγότερο από:

- Για τους κινητήρες Otto:

$$\text{CO} < 1 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC} < 0,10 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,06 \text{ gr/km}$$

$$\text{PM} < 0,005$$

- Για τους κινητήρες Diesel:

$$\text{CO} < 0,5 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC και NO}_x < 0,23 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,18 \text{ gr/km}$$

$$\text{PM} < 0,005 \text{ gr/km}$$

$$\text{PN} < 6 \times 10^{11} \text{ (Για το πρότυπο Euro 5b)}$$

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές Euro 6 οι εκπομπές πρέπει να είναι λιγότερο από:

- Για τους κινητήρες Otto:

$$\text{CO} < 1 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC} < 0,1 \text{ gr/km}$$

$$\text{NO}_x < 0,06 \text{ gr/km}$$

$$\text{PM} < 0,005$$

$$\text{PN} < 6 \times 10^{11}$$

- Για τους κινητήρες Diesel:

$$\text{CO} < 0,5 \text{ gr/km}$$

$$\text{HC και NO}_x < 0,17 \text{ gr/km}$$

NO_x < 0,08 gr/km

PM < 0,005

PN < 6x10¹¹

Οι προδιαγραφές Euro παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πρότυπο	Ημερομηνία	Οδηγία	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM	PN
Κινητήρες Πετρελαίου (Diesel) (compression ignition – ανάφλεξης με συμπίεση)								
Euro 1* (EC 93)	7/1992	91/441/EEC 93/59/EEC	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	0,14 (0,18)	-
Euro 2, IDI (EC 96)	1/1996	94/12/EC 96/69/EC	1,0	-	0,7	-	0,08	-
Euro 2, DI (EC 96)	1/1996 ^a		1,0	-	0,9	-	0,10	-
Euro 3	1/2000	98/69/EC	0,64	-	0,56	0,50	0,05	-
Euro 4	1/2005	2002/80/EC	0,50	-	0,30	0,25	0,025	-
Euro 5a	9/2009 ^{b1}	715/2007/EC 692/1008/EC	0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^e	-
Euro 5b	9/2011 ^{b2}		0,50	-	0,23	0,18	0,005 ^e	6x10 ¹¹
Euro 6	9/2014		0,50	-	0,17	0,08	0,005 ^e	6x10 ¹¹
Κινητήρες Σπινθηρισμού (Otto) (positive ignition – «θετικής» ανάφλεξης) Καύσιμο: βενζίνη, φυσικό αέριο, υγραέριο (LPG), αιθανόλη κλπ								
Euro 1*	7/1992	91/441/EEC 93/59/EEC	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-	-
Euro 2	1/1996	94/12/EC 96/69/EC	2,2	-	0,5	-	-	-
Euro 3	1/2000	98/69/EC	2,30	0,20	-	0,15	-	-
Euro 4	1/2005	2002/80/EC	1,0	0,10	-	0,08	-	-
Euro 5	9/2009 ^{b1}	715/2007/EC	1,0	0,10 ^c	-	0,06	0,005 ^{d,e}	-
Euro 6	9/2014	692/1008/EC	1,0	0,10 ^c	-	0,06	0,005 ^{d,e}	6x10 ^{11a,f}
<p>* Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι σύμφωνα με τα όρια συμμόρφωσης παραγωγής (COP)</p> <p>a - μέχρι 30/9/1999 (μετά από αυτή την ημερομηνία, οι κινητήρες άμεσης έγχυσης (DI) πρέπει να λειτουργούν εντός των ορίων των έμμεσης έγχυσης IDI)</p> <p>b1 - 1/2011 για όλα τα μοντέλα, b2 - 1/2013 για όλα τα μοντέλα</p> <p>c - για NMHC (HC πλην μεθανίου) 0,068 g/km</p> <p>d - εφαρμόσιμο μόνο για οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες άμεσης έγχυσης GDI</p> <p>e - 0,0045 g/km χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μέτρησης PMP (UN Reg. 83 Suppl. 7) [17]</p> <p>f - 6x10¹² τα πρώτα 3 χρόνια εφαρμογής του Προτύπου Euro 6</p> <p>Στα Πρότυπα Euro 1...4, τα επιβατικά οχήματα βάρους > 2.5 tn ταξινομούνταν ως οχήματα κατηγορίας N₁</p>								

Πίνακας 1 Οι προδιαγραφές Euro για τις εκπομπές από κινητήρες αυτοκινήτων

4.3.1.2 Δυναμομέτρηση Κινητήρα σε Κύκλο Οδήγησης

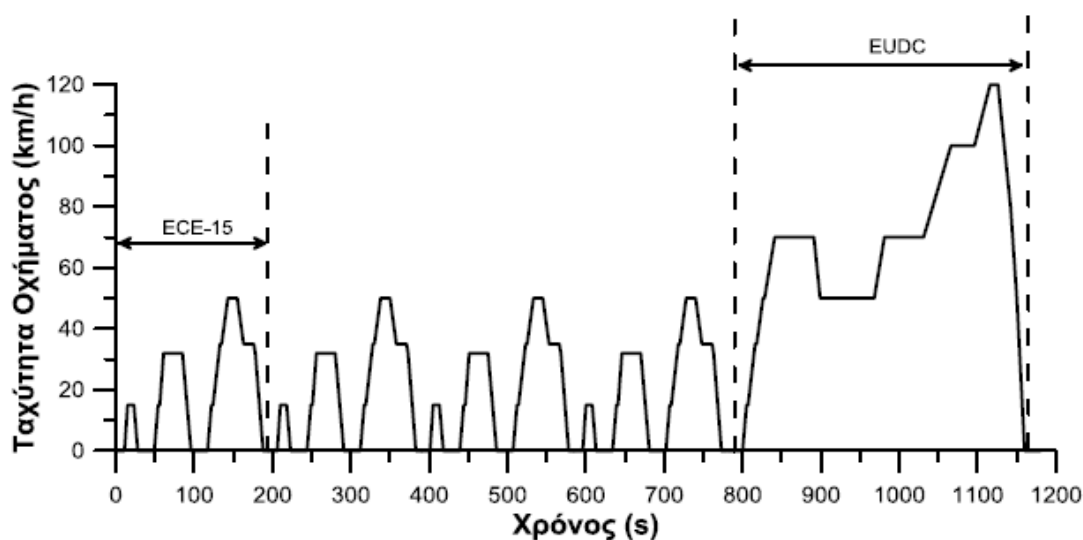
Για τον έλεγχο των εκπομπών από την εξάτμιση των επιβατικών αυτοκινήτων χρησιμοποιείται η διαδικασία της δυναμομέτρησης σύμφωνα με τους κύκλους οδήγησης. Οι κύκλοι οδήγησης προσομοιώνουν την πραγματική κίνηση ενός οχήματος και περιλαμβάνουν εκκινήσεις, επιταχύνσεις, άφορτη λειτουργία (ρελαντί) και ποικιλία ταχυτήτων και φορτίων. Αρχικά η δοκιμή περιλάμβανε μια σειρά διακριτών σημείων μόνιμης λειτουργίας στην οποία λειτουργούσε ο κινητήρας για ένα χρονικό διάστημα και μετρούνταν οι εκπομπές και η κατανάλωση. Όμως η λειτουργία σε μόνιμη κατάσταση δεν προσομοιώνει τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας που περιλαμβάνουν συνεχείς αλλαγές στροφών και φορτίου.

Οι εκπομπές των κινητήρων στις απότομες αλλαγές φορτίου αλλά και στην ψυχρή εκκίνηση αυξάνουν σημαντικά και σύντομα παρουσιάστηκαν οι μεταβατικοί κύκλοι πόλης (Transient/Driving Cycles) που προσομοίαζαν ποικίλες συνθήκες λειτουργίες πιο κοντά στις πραγματικές. Οι μεταβατικοί κύκλοι πόλης περιλαμβάνουν συνεχείς αλλαγές ταχυτήτων και φορτίων και έχουν διάρκεια μέχρι και 30 λεπτά.



Εικόνα 55 Δυναμόμετρο προσομοίωσης οδηγικού κύκλου με μέτρηση εκπομπών

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιείται ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (New European Drive Cycle – NEDC). Η διαδικασία εκτελείται σε ειδικού τύπου δυναμόμετρο σύμφωνα με την οδηγία 90/C81/01. Αποτελείται από τέσσερα τμήματα του κύκλου ECE-15 και στη συνέχεια ένα τμήμα του κύκλου EUDC. Ο κύκλος ECE-15 είναι ένας Κύκλος Οδήγησης Πόλης βασισμένος στις κυκλοφοριακές συνθήκες μιας μεγάλης Ευρωπαϊκής πόλης. Διαρκεί 195 δευτερόλεπτα και χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες και φορτία, αλλά περιλαμβάνει αρκετές επιταχύνσεις. Ο κύκλος EUDC (Extra Urban Driving Cycle) έχει διάρκεια 400 δευτερόλεπτα και αναπαριστά πιο επιθετικό και γρήγορο τρόπο οδήγησης. Η μέγιστη ταχύτητα στον EUDC είναι τα 120 km/h. Αρχικά το όχημα παρέμενε για διάστημα 6 ωρών σε χώρο με θερμοκρασία 20-30° C. Στην συνέχεια λειτουργούσε στο ρελαντί για 40 δευτερόλεπτα. Το 2000 η περίοδος άφορτης λειτουργίας καταργήθηκε ώστε να μετρούνται οι εκπομπές κατά την ψυχρή εκκίνηση.



Εικόνα 56 Ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC)

4.3.2 Διάρκεια Ζωής των Μέσων Αντιρύπανσης

Το κάθε όχημα που περνά από δοκιμές εκπομπών θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι εξακολουθεί να πληροί τις προδιαγραφές για ολόκληρη την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του. Αναπόφευκτα όσο λειτουργεί ο κινητήρας και τα μέσα αντιρύπανσης προκαλούνται φθορές λόγω διάβρωσης, των επικαθίσεων, της θερμικής καταπόνησης των υλικών, χημικής «δηλητηρίασης». Στα πρότυπα Euro 1,2 και 3 η διάρκεια ζωής των οχημάτων οριζόταν στα 5 έτη ή 80.000 km, που σημαίνει ότι τα συστήματα αντιρύπανσης δεν χρειάζονται αντικατάσταση νωρίτερα από αυτό το διάστημα. Στο Euro 4 η διάρκεια ζωής των συστημάτων αντιρύπανσης αυξήθηκε στα 100.000 km. Από το Euro 4 στο Euro 5, οι κατασκευαστές πρέπει να εξασφαλίσουν την καλή λειτουργία των συστημάτων αντιρύπανσης για 160.000 km. Η δοκιμή της διάρκειας ζωής των συστημάτων αντιρύπανσης γίνεται με δύο προσεγγίσεις.

Η πρώτη αφορά τη χρήση του κύκλου δοκιμής SRC (Standard Road Cycle) μέχρι να συμπληρωθούν τα απαιτούμενα χιλιόμετρα. Η δεύτερη αφορά την επιταχυνόμενη γήρανση, όπου το υπό έλεγχο σύστημα λειτουργεί συνεχόμενα σε κατάλληλη πέδη εκτελώντας τον κύκλο SBC (Standard Bench Cycle) για κινητήρες Otto ή τον SDBC (Standard Diesel Bench Cycle) για κινητήρες Diesel. Λόγω του υψηλού κόστους και χρόνου που απαιτείται για τις παραπάνω δοκιμές χρησιμοποιούνται συντελεστές φθοράς.

Συγκεκριμένα για τα πρότυπα Euro 1,2,3,4 οι συντελεστές φθοράς είναι:

- Για οχήματα με κινητήρες σπινθηρισμού: 1,2 για εκπομπές CO, HC, NO_x
- Για οχήματα με κινητήρες αυτανάφλεξης: 1,1 για εκπομπές CO, 1 για εκπομπές NO_x και HC+NO_x και 1,2 για εκπομπές PM

Για τα πρότυπα Euro 5 και 6 οι συντελεστές φθοράς είναι:

- Για οχήματα με κινητήρες σπινθηρισμού: 1,5 για εκπομπές CO, 1,3 για εκπομπές HC, 1,6 για εκπομπές NOx και 1 για εκπομπές PM και PN
- Για οχήματα με κινητήρες αυτανάφλεξης: 1,5 για εκπομπές CO, 1,1 για εκπομπές NOx και HC+NOx και 1 για εκπομπές PM και PN.

4.3.3 Προδιαγραφές Εκπομπών Θορύβου

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης κατά τη λειτουργία τους παράγουν θόρυβο. Ο θόρυβος εκπέμπεται από:

- Τη ροή αέρα στο σύστημα εισαγωγής και τη ροή των καυσαερίων στο σύστημα εξαγωγής (χαμηλής συχνότητας).
- Τον κινητήρα. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα, θόρυβο εκπέμπουν οι βαλβίδες (κατά το άνοιγμα τους), τα έμβολα κατά την κίνησή τους καθώς και οι ιμάντες και τα γρανάζια που υπάρχουν στον κινητήρα.
- Την καύση σε κινητήρες Diesel (κρουστική καύση).
- Κατά την κύλιση (τριβή τροχών στο οδόστρωμα).

Οι εκπομπές θορύβου από τα αυτοκίνητα υπόκεινται σε περιορισμό αρχικά από την οδηγία 70/157/EC όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Κατηγορίες οχημάτων	Τιμές έκφρασμένες σε dB (A) (decibel (A))
I.1.1.	Όχηματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων, δυνάμενα να έχουν μέχρι εννέα θέσεις καθήμενων, συμπεριλαμβανομένης και αυτής του οδηγού.	82
I.1.2.	Όχηματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων, που έχουν περισσότερες τών εννέα θέσεων συμπεριλαμβανομένης και αυτής του οδηγού και που το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τους δεν υπερβαίνει τους 3,5 τόνους.	84
I.1.3.	Όχηματα προοριζόμενα για την μεταφορά εμπορευμάτων, που το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τους δεν υπερβαίνει τους 3,5 τόνους.	84
I.1.4.	Όχηματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων, που έχουν περισσότερες τών εννέα θέσεων συμπεριλαμβανομένης και αυτής του οδηγού, και που το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τους υπερβαίνει τους 3,5 τόνους.	89
I.1.5.	Όχηματα προοριζόμενα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, που το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τους υπερβαίνει τους 3,5 τόνους.	89
I.1.6.	Όχηματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων, που έχουν περισσότερες τών εννέα θέσεων συμπεριλαμβανομένης και αυτής του οδηγού και των οποίων ο κινητήρας έχει ισχύ ίση ή μεγαλύτερη των 200 CV DIN.	91
I.1.7.	Όχηματα προοριζόμενα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, των οποίων ο κινητήρας έχει ισχύ ίση ή μεγαλύτερη των 200 CV DIN και των οποίων το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τους υπερβαίνει τους 12 τόνους.	91

Πίνακας 2 Προδιαγραφές στάθμης θορύβου από αυτοκίνητα σύμφωνα με την οδηγία 70/157/EC

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα, για τα οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά προσώπων με μέχρι εννέα θέσεις η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου είναι έως 82 db. Για τα οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά προσώπων με περισσότερες από εννές θέσεις και βάρος λιγότερο από 3,5 τόνους η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου είναι 84 db. Για τα οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά εμπορευμάτων με μέγιστο βάρος τους 3,5 τόνους η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου είναι 84 db. Για τα οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά προσώπων με περισσότερες από εννέα θέσεις και κινητήρα με ισχύ ίση ή μεγαλύτερη από 200 CV (κατά DIN), η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου είναι 91 db. Για τα οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά εμπορευμάτων με μέγιστο βάρος τους 12 τόνους και κινητήρα με ισχύ ίση ή μεγαλύτερη των 200 CV (κατά DIN), η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου είναι 91 db.

Η οδηγία 70/157/EC αντικαταστάθηκε από την οδηγία 2007/34/EC το 2007 ενώ άλλαξε ο τρόπος μέτρησης της στάθμης θορύβου.

Κατηγορίες οχημάτων	Τιμές σε dB (A)
2.1.1. Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων και περιέχοντα μέχρι εννέα θέσεις καθήμενων, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης του οδηγού	74
2.1.2. Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων και εφοδιασμένα με άνω των εννέα θέσεων καθήμενων, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης του οδηγού· και με μέγιστη επιτρεπτή μάζα άνω των 3,5 τόνων και:	
2.1.2.1. με κινητήρα ισχύος κάτω των 150 kW	78
2.1.2.2. με κινητήρα ισχύος τουλάχιστον 150 kW	80
2.1.3. Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων και εφοδιασμένα με άνω των εννέα θέσεων καθήμενων, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης του οδηγού· οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά εμπορευμάτων:	
2.1.3.1. με μέγιστη επιτρεπόμενη μάζα το πολύ 2 τόνων	76
2.1.3.2. με μέγιστη επιτρεπόμενη μάζα άνω των 2 τόνων και έως 3,5 τόνους	77
2.1.4. Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, με μέγιστη επιτρεπόμενη μάζα άνω των 3,5 τόνων	
2.1.4.1. με κινητήρα ισχύος κάτω των 75 kW	77
2.1.4.2. με κινητήρα ισχύος τουλάχιστον 75 kW, αλλά κάτω των 150 kW	78
2.1.4.3. με κινητήρα ισχύος τουλάχιστον 150 kW	80

Πίνακας 3 Προδιαγραφές στάθμης εκπεμπόμενου θορύβου σύμφωνα με την οδηγία 2007/34/EC

Η οδηγία 2007/34/EC προβλέπει για τα οχήματα κατηγορίας 2.1.1 και 2.1.3 αύξηση των ορίων κατά 1 dB για οχήματα με κινητήρα Diesel άμεσης έγχυσης. Για τα οχήματα κατηγορίας 2.1.1 που είναι εφοδιασμένα με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων άνω των τεσσάρων σχέσεων μετάδοσης και με κινητήρα μέγιστης ισχύος άνω των 140 kW, όπου ο επιτρεπόμενος λόγος μέγιστης ισχύος προς μέγιστη μάζα υπερβαίνει τα 75 kW ανά τόνο, η οριακή τιμή αυξάνεται κατά 1dB εάν η ταχύτητα με την οποία προχωρά το όχημα με τρίτη σχέση μετάδοσης είναι ανώτερη των 61 km/h.

Η ελληνική νομοθεσία έχει εναρμονιστεί πλήρως με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

5. ΕΠΙΛΕΞΙΜΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΓΙΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

5.1 Εισαγωγή

Οι προς συγκριτική αξιολόγηση κινητήρες αποτελούν μηχανικά σύνολα που χρησιμοποιούν όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες μείωσης κατανάλωσης και εκπομπών, προδιαγραφών Euro 6. Αυτές οι τεχνολογίες αφορούν:

- Για τον κινητήρα Diesel
 - Σύστημα έγχυσης καυσίμου Common Rail
 - Σύστημα υπερπλήρωσης
 - Ανακυκλοφορία καυσαερίων
 - Οξειδωτικό καταλυτικό μετατροπέα
 - Παγίδα αιθάλης
 - Επιλεκτικό αναγωγικό καταλυτικό μετατροπέα
- Για τον κινητήρα Otto
 - Σύστημα έγχυσης καυσίμου άμεσου ψεκασμού (DI)
 - Σύστημα υπερπλήρωσης
 - Καταλυτικό μετατροπέα προδιαγραφών Euro 6

Για να γίνει πιο άμεση η συγκριτική αξιολόγηση επιλέγονται παρακάτω κινητήρες Diesel και Otto του ίδιου κατασκευαστή που χρησιμοποιούνται στο ίδιο αυτοκίνητο. Έτσι υπάρχει μια κοινή βάση για την αντιπαραβολή των επιδόσεων, κατανάλωσης και εκπομπών.

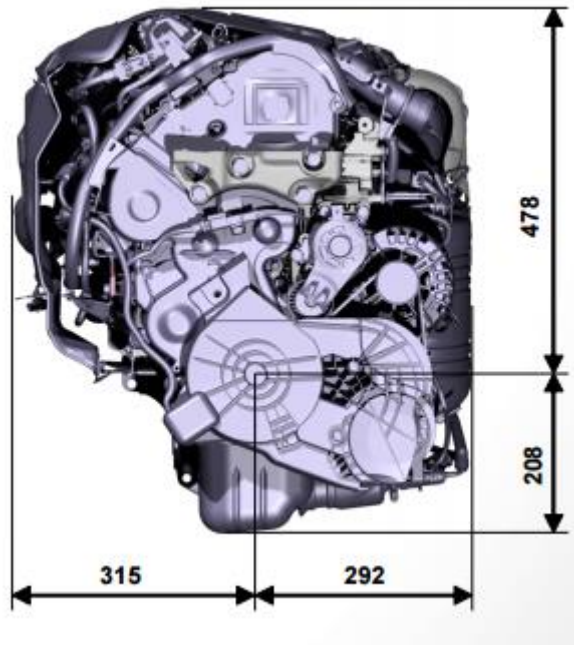
5.2 Παρουσίαση Επιλέξιμου Κινητήρα Diesel

Ο κινητήρας Diesel που θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία είναι ο 1560 cm³ BlueHDI της Peugeot με κωδικό κινητήρα DV6FC που κινεί το Peugeot 308. Αποτελεί έναν από τους πλέον σύγχρονους κινητήρες της αγοράς που ενσωματώνει όλες τις τεχνολογίες μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και περιορισμού των εκπομπών.



Εικόνα 57 Ο κινητήρας DV6 FC του ομίλου PSA

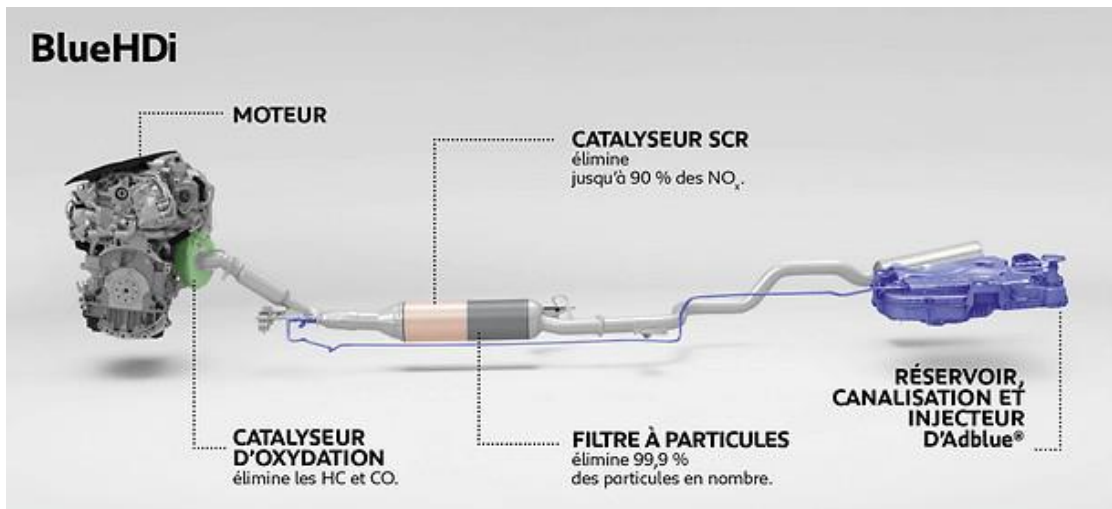
Διαθέτει 4 κυλίνδρους εν σειρά με συνολικό όγκο εμβολισμού 1560 cm³ και δύο βαλβίδες εξαγωγής ανά κύλινδρο (σύνολο 8). Η διάμετρος του εμβόλου είναι 75 mm ενώ η διαδρομή του 88,3 mm. Ο λόγος συμπίεσης του κινητήρα είναι 17:1 και η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής είναι 5100 rpm.



Εικόνα 58 Πλάγια όψη του κινητήρα DV6FC

Ο κινητήρας διαθέτει το σύστημα ψεκασμού Common Rail EDC17 C60 της εταιρίας Bosch. Για να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές εκπομπών Euro 6, εφοδιάζεται με:

- οξειδωτικό καταλυτικό μετατροπέα για τη μείωση των εκπομπών CO, HC και PM
- Παγίδα Αιθάλης (DPF) για τον περιορισμό των εκπομπών μικροσωματιδίων (99,9% κατακράτηση των μικροσωματιδίων)
- Επιλεκτικό αναγωγικό καταλυτικό μετατροπέα για τη μείωση των NO_x (μείωση έως 90% των NO_x) με χρήση AdBlue (ουρία)



Εικόνα 59 Σύστημα Αντιρύπανσης κινητήρα BlueHDi

Διαθέτει επίσης σύστημα υπερπλήρωσης με στροβιλοσυμπιεστή μεταβλητής γεωμετρίας (VGT), σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) και σύστημα Start-Stop για το σβήσιμο του κινητήρα κατά τη διάρκεια στάσεων.

Ο κινητήρας αποδίδει μέγιστη ισχύ 120 hp (88kW) στις 3500 rpm, μέγιστη ροπή στρέψης 300 Nm στις 1750 rpm ενώ εκπέμπει 95 gr/km CO₂ (σύμφωνα με τον κατασκευαστή). Το βάρος του αυτοκινήτου είναι (σύμφωνα με τον κατασκευαστή) 1200 kg, ενώ εμφανίζει επιτάχυνση από 0-100km/h σε 9,5 s και τελική ταχύτητα 196 km/h.

Διαθέτει δεξαμενή καυσίμου χωρητικότητας 53 λίτρων. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του κατασκευαστή η κατανάλωση του είναι:

- Σε αστικό κύκλο 4,1 lt/100 km
- Σε υπεραστικό κύκλο 3,4 lt/100 km
- Σε μικτό κύκλο 3,6 lt/100 km

Επομένως η αυτονομία καυσίμου που εμφανίζει είναι:

- Εντός πόλης 1292 km
- Εκτός πόλης 1558 km
- Σε μικτές συνθήκες 1472 km

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία επιδόσεων, κατανάλωσης και εκπομπών του αυτοκινήτου με τον συγκεκριμένο κινητήρα.

Επιδόσεις (Μετρήσεις Κατασκευαστή)			
Μέγιστη Ισχύς	Μέγιστη Ροπή Στρέψης	Επιτάχυνση 0-100km/h	Τελική Ταχύτητα
<i>119 hp (88 kW) @ 3500 rpm</i>	<i>300 Nm @ 1750 rpm</i>	<i>9,5 s</i>	<i>196 km/h</i>
Μέση κατανάλωση καυσίμου (Μετρήσεις Κατασκευαστή)			
Αστικός Κύκλος	Υπεραστικός Κύκλος	Μικτός Κύκλος	
<i>4,1 lt/100km</i>	<i>3,4 lt/100km</i>	<i>3,6 lt/100km</i>	
Αυτονομία σε Αστικό Περιβάλλον	Αυτονομία σε Υπεραστικό Περιβάλλον	Αυτονομία σε Μικτό Περιβάλλον	
<i>1292 km</i>	<i>1558 km</i>	<i>1472 km</i>	

Πίνακας 4 Συνοπτική παρουσίαση χαρακτηριστικών κινητήρα BlueHDi 120

Διατίθεται στην ελληνική αγορά με κόστος 26.270 € (έκδοση GT-line).

5.3 Παρουσίαση Επιλέξιμου Κινητήρα Otto

Ο κινητήρας Otto που θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία είναι ο 1598 cm³ THP της Peugeot με κωδικό κινητήρα EP6 FDTX που κινεί το Peugeot 308. Αποτελεί έναν από τους πλέον σύγχρονους κινητήρες της αγοράς, που ενσωματώνει όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών.



Εικόνα 60 Ο κινητήρας EP6 FDTX της Peugeot

Διαθέτει 4 κυλίνδρους εν σειρά με συνολικό όγκο εμβολισμού 1598 cm³, δύο βαλβίδες εισαγωγής και δύο βαλβίδες εξαγωγής ανά κύλινδρο (σύνολο 16). Η διάμετρος του εμβόλου είναι 77 mm ενώ η διαδρομή του 85,8 mm. Ο λόγος συμπίεσης του κινητήρα είναι 10,5:1.

Ο κινητήρας διαθέτει σύστημα άμεσου ψεκασμού καυσίμου μέγιστης πίεσης παροχής καυσίμου 200 bar. Επίσης, εξοπλίζεται με ηλεκτρική αντλία ψυκτικού υγρού, και αντλία λιπαντικού μεταβλητής χωρητικότητας. Όστε να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές εκπομπών Euro 6, εφοδιάζεται με οξειδωτικό καταλυτικό μετατροπέα για τη μείωση των εκπομπών CO και HC.



Εικόνα 61 Κινητήρας EP6DT FDTX

Διαθέτει επίσης σύστημα υπερπλήρωσης με διαιρούμενους στροβιλοσυμπιεστές (twin scroll) και ενδιάμεση ψύξη αέρα (intercooler), σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) και σύστημα Start-Stop για το σβήσιμο του κινητήρα κατά τη διάρκεια στάσεων.



Εικόνα 62 Στροβιλοσυμπιεστής κινητήρα EP6DT FDTX

Ο κινητήρας αποδίδει μέγιστη ισχύ 205 hp (151 kW) στις 6000 σαλ, μέγιστη ροπή στρέψης 285 Nm στις 1750 σαλ ενώ εκπέμπει 130 gr/km CO₂ (σύμφωνα με τον κατασκευαστή). Το βάρος του αυτοκινήτου είναι (σύμφωνα με τον κατασκευαστή) 1200 kg, ενώ εμφανίζει επιτάχυνση από 0-100km/h σε 7,6 s και τελική ταχύτητα 235 km/h.

Διαθέτει δεξαμενή καυσίμου χωρητικότητας 53 λίτρων. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του κατασκευαστή η κατανάλωση του είναι:

- Σε αστικό κύκλο 7,4 lt/100 km
- Σε υπεραστικό κύκλο 4,6 lt/100 km
- Σε μικτό κύκλο 5,6 lt/100 km

Επομένως η αυτονομία καυσίμου που εμφανίζει είναι:

- Εντός πόλης 716 km
- Εκτός πόλης 1152 km
- Σε μικτές συνθήκες 946 km

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία επιδόσεων, κατανάλωσης και εκπομπών του αυτοκινήτου με τον συγκεκριμένο κινητήρα.

Επιδόσεις (Μετρήσεις Κατασκευαστή)			
Μέγιστη Ισχύς	Μέγιστη Ροπή Στρέψης	Επιτάχυνση 0-100km/h	Τελική Ταχύτητα
205 hp (151 kW) @ 6000 rpm	285 Nm @ 1750 rpm	7,6 s	235 km/h
Μέση κατανάλωση καυσίμου (Μετρήσεις Κατασκευαστή)			
Αστικός Κύκλος	Υπεραστικός Κύκλος	Μικτός Κύκλος	
7,4 lt/100km	4,6 lt/100km	5,6 lt/100km	
Αυτονομία σε Αστικό Περιβάλλον	Αυτονομία σε Υπεραστικό Περιβάλλον	Αυτονομία σε Μικτό Περιβάλλον	
716 km	1152 km	946 km	

Πίνακας 5 Συνοπτική παρουσίαση χαρακτηριστικών κινητήρα 1,6 THP 205 PS

Διατίθεται στην ελληνική αγορά με κόστος 32.900 € (έκδοση GT).

6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΕΠΙΛΕΞΙΜΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η αντιπαραβολή των κινητήρων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Η συγκριτική αξιολόγηση αφορά τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

- το κόστος κτήσης
- το κόστος χρήσης (κόστος καυσίμου, συντήρησης)
- τις επιδόσεις των κινητήρων (ισχύς, ροπή στρέψης, επιτάχυνση)
- την απόδοση (ίπποι ανά κυβισμό, μέση κατανάλωση ανά ισχύ, αυτονομία)
- τις εκπομπές των κινητήρων κατά τη λειτουργία τους

6.2 Συγκριτική αξιολόγηση

6.2.1 Κόστος Κτήσης

Το κόστος κτήσης των οχημάτων που εξοπλίζονται με τους κινητήρες που αναλύονται στην παρούσα εργασία, είναι ενδεικτικό και εξαρτάται όχι μόνο από τον κινητήρα, αλλά και από τον υπόλοιπο εξοπλισμό που διαθέτει το αυτοκίνητο. Επομένως το όχημα με τον κινητήρα Diesel στην έκδοση GT-line κοστίζει 26.270 €, ενώ το όχημα με τον κινητήρα Otto στην έκδοση GT κοστίζει 32.900 €. Το αυτοκίνητο με τον κινητήρα Otto έχει μεγαλύτερο κόστος αγοράς λόγω του πλουσιότερου εξοπλισμού που περιλαμβάνει. Επειδή η επιλογή των κινητήρων έγινε στην βάση του όγκου

εμβολισμού, δεν ήταν δυνατή η επιλογή αυτοκινήτων ίδιου επιπέδου εξοπλισμού ώστε να είναι αντιληπτή η πραγματική διαφορά στο κόστος κτήσης.

6.2.2 Κόστος Χρήσης

Το κόστος χρήσης των οχημάτων με τους επιλέξιμους κινητήρες αποτελείται από το κόστος του καυσίμου καθώς και το κόστος των προγραμματισμένων συντηρήσεων όπως αυτές προβλέπονται από τον κατασκευαστή.

6.2.2.1 Κόστος καυσίμου

Το κόστος καυσίμου υπολογίζεται σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας τις τιμές κατανάλωσης μικτού κύκλου του κατασκευαστή και για μια μέση απόσταση που διανύει το όχημα περίπου 15.000 km. Η τιμή του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί είναι η ισχύουσα κατά το χρόνο συγγραφής της παρούσας εργασίας και πιο συγκεκριμένα είναι:

- Καύσιμο για τον κινητήρα Diesel, πετρέλαιο κίνησης
Κόστος: 1,25 € / lt
- Καύσιμο για τον κινητήρα Otto, αμόλυβδη βενζίνη 95 οκτανίων (RON)
Κόστος: 1,49 € / lt

Ο κινητήρας Diesel, με μέση μικτή κατανάλωση 3,6 lt/ 100 km καταναλώνει σε διάρκεια ενός έτους περίπου **540 lt με κόστος 675 €.**

Ο κινητήρας Otto, με μέση μικρή κατανάλωση 5,6 lt/ 100 km καταναλώνει σε διάρκεια ενός έτους περίπου **840 lt με κόστος 1251,6 €.**

Το ετήσιο κόστος καυσίμου είναι μικρότερο για τον κινητήρα Diesel από ότι για τον κινητήρα Otto. Αυτό οφείλεται κατά ένα μέρος στην μικρότερη κατανάλωση που εμφανίζει αλλά και στην χαμηλότερη τιμή αγοράς του καυσίμου. Η διαφορά στην τιμή

του καυσίμου οφείλεται στο μεγαλύτερο κόστος διύλισης της βενζίνης και στην υψηλότερη φορολογία της σε σχέση με το πετρέλαιο.

6.2.2.2 Κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης αφορά τα έξοδα για την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή συντήρηση. Η συντήρηση περιλαμβάνει τόσο τον κινητήρα όσο και τα υπόλοιπα μέρη του αυτοκινήτου. Η προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή συντήρηση για τους κινητήρες που αναλύονται στην παρούσα εργασία αφορά:

Για τον κινητήρα Diesel η προβλεπόμενη συντήρηση γίνεται:

- κάθε 20.000 km ή 2 έτη και περιλαμβάνει:
 - Διάγνωση ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου του κινητήρα
 - Αλλαγή λιπαντικού μέσου του κινητήρα
 - Αλλαγή του φίλτρου λιπαντικού του κινητήρα
 - Εκκένωση του φίλτρου πετρελαίου

Ενδεικτικό κόστος 135 €

- κάθε 60.000 km και περιλαμβάνει:
 - Αντικατάσταση φίλτρου καυσίμου
 - Αντικατάσταση φίλτρου αέρα εισαγωγής

Ενδεικτικό κόστος 100 €

- κάθε 120.000 km και περιλαμβάνει:
 - Συμπλήρωση πρόσθετου για τον αναγωγικό καταλυτικό μετατροπέα

Ενδεικτικό κόστος 100€

- κάθε 180.000 km και περιλαμβάνει:
 - Αντικατάσταση φίλτρου μικροσωματιδίων (DPF)

Ενδεικτικό κόστος 1500 €

- Κάθε 240.000 km ή 10 έτη και περιλαμβάνει:

- Αντικατάσταση μάντα χρονισμού του κινητήρα

Ενδεικτικό κόστος 400 €

Επομένως η συντήρηση του αυτοκινήτου όταν αυτό διανύει 15.000 km / έτος κοστίζει περίπου **328 € / έτος**.

Για τον κινητήρα Otto η προβλεπόμενη συντήρηση γίνεται:

- κάθε 30.000 km ή 2 έτη και περιλαμβάνει:

- Διάγνωση ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου του κινητήρα

- Αλλαγή λιπαντικού μέσου του κινητήρα

- Αλλαγή του φίλτρου λιπαντικού του κινητήρα

Ενδεικτικό κόστος 135 €

- Κάθε 60.000 km και περιλαμβάνει:

- Αντικατάσταση φίλτρου καυσίμου

- Αντικατάσταση φίλτρου αέρα εισαγωγής

- Αντικατάσταση σπινθηριστών (μπουζί)

Ενδεικτικό κόστος 200 €

- Κάθε 150.000 km και περιλαμβάνει:

- Αντικατάσταση μάντα χρονισμού του κινητήρα

Ενδεικτικό κόστος 400 €

Επομένως η συντήρηση του αυτοκινήτου όταν αυτό διανύει 15.000 km / έτος κοστίζει περίπου **148 € / έτος**.

Πρέπει να τονιστεί ότι μεγάλη σημασία για την αξιοπιστία και την απροβλημάτιστη λειτουργία των κινητήρων έχει η ποιότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούν. Σε περίπτωση λειτουργίας με καύσιμο υποδεέστερων προδιαγραφών δημιουργούνται προβλήματα αξιοπιστίας ειδικά στους κινητήρες Diesel, καθώς καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο ή χαμηλού αριθμού κετανίου από το προβλεπόμενο βλάπτει σημαντικά εξαρτήματα του κινητήρα (DPF, καταλυτικοί μετατροπείς κλπ). Γίνεται σαφές ότι ένας κινητήρας Diesel απαιτεί πλέον πιο σύντομα διαστήματα συντήρησης από έναν κινητήρα Otto. Αυτό αυξάνει σημαντικά το ανηγμένο ετήσιο κόστος χρήσης σε σχέση με ένα αυτοκίνητο με κινητήρα Otto.

6.2.3 Επιδόσεις των Επιλέξιμων Κινητήρων

Οι επιδόσεις των αυτοκινήτων αποτελούν κομμάτι της ενεργητικής ασφάλειας που προσφέρει το αυτοκίνητο, ενώ δημιουργούν αίσθημα άνεσης για τον οδηγό. Επομένως είναι σημαντικό στην παρούσα εργασία να γίνει αντιπαραβολή των δύο τεχνολογιών στον τομέα των επιδόσεων. Πρέπει να τονιστεί όμως, ότι οι επιδόσεις ενός αυτοκινήτου επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες. Μεγάλη σημασία έχει η ωφέλιμη πραγματική ισχύς (brake power) ισχύς και η ροπή στρέψης του κινητήρα, η κλιμάκωση του κιβωτίου ταχυτήτων, το βάρος του οχήματος, ο αεροδυναμικός συντελεστής του αμαξώματος κλπ. Στην παρούσα ενότητα θα γίνει αντιπαραβολή της ωφέλιμης πραγματικής ισχύος, της ροπής στρέψης μεταξύ των δύο επιλέξιμων κινητήρων, καθώς και της επιτάχυνσης και της τελικής ταχύτητας των δύο οχημάτων.

Επομένως ο κινητήρας Diesel εμφανίζει:

- Μέγιστη ισχύ 120 hp (88 kW) στις 3500 σαλ
- Ροπή στρέψης 300 Nm στις 1750 σαλ
- Επιτάχυνση 0-100 km/h σε 9,7 s

- Τελική ταχύτητα 196 km/h

Ο κινητήρας Otto εμφανίζει:

- Μέγιστη ισχύ 205 hp (151 kW) στις 6000 σαλ
- Ροπή στρέψης 285 Nm στις 1750 σαλ
- Επιτάχυνση 0-100 km/h σε 7,5 s
- Τελική ταχύτητα 235 km/h

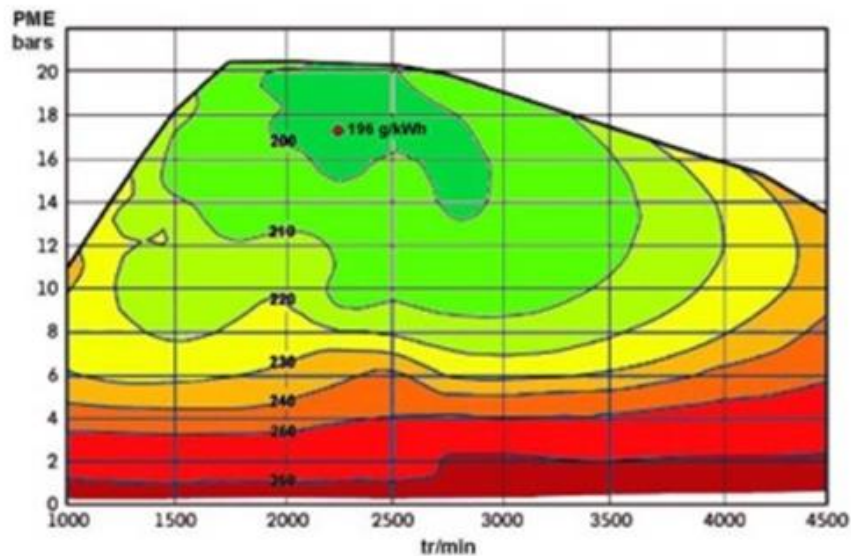
Οι κινητήρες Otto αποδίδουν μεγαλύτερη ισχύ λόγω της δυνατότητάς τους να λειτουργούν με υψηλότερους ρυθμούς περιστροφής (στροφές ανά λεπτό). Οι κινητήρες Diesel δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε αντίστοιχους ρυθμούς περιστροφής καθώς δημιουργούνται προβλήματα κατά την καύση (το καύσιμο των κινητήρων Diesel χρειάζεται περισσότερο χρόνο ώστε να ολοκληρωθεί η ανάφλεξη). Εμφανίζουν όμως σημαντικά υψηλότερη ροπή στρέψης και αυτό οφείλεται στον υψηλότερο θερμικό βαθμό απόδοσής τους.

6.2.4 Απόδοση των Επιλέξιμων Κινητήρων

Ένα σημαντικό στοιχείο της συγκριτικής αξιολόγησης των κινητήρων αποτελεί η απόδοσή τους. Η απόδοση ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής ισχύος προς την θερμική ισχύ που καταναλώνει ο κινητήρας μέσω της καύσης του καυσίμου. Βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν την απόδοση της λειτουργίας του κινητήρα είναι η πραγματική ειδική κατανάλωση καυσίμου (Brake Specific Fuel Consumption-BSFC), η ωφέλιμη ισχύς ανηγμένη στον όγκο εμβολισμού, η ροπή στρέψης ανηγμένη στον όγκο εμβολισμού του κινητήρα και τέλος η αυτονομία του οχήματος. Επομένως, η συγκριτική αξιολόγηση των δύο κινητήρων όσον αφορά την απόδοσή τους, θα βασισθεί στα προαναφερθέντα μεγέθη.

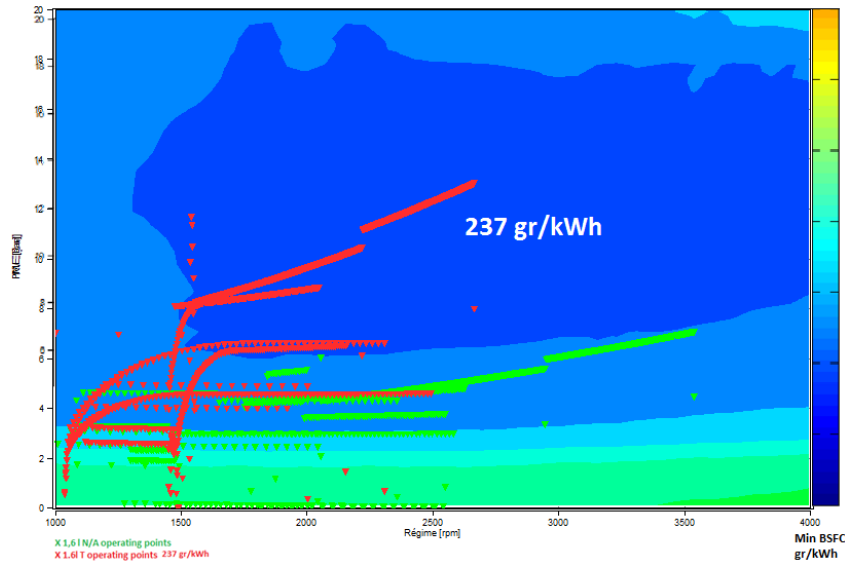
6.2.4.1 Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου ορίζεται ως η κατανάλωση καυσίμου σε gr/s ανά μονάδα ωφέλιμης ισχύος σε kW. Για τον κινητήρα Diesel ο χάρτης του κινητήρα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η ελάχιστη ειδική κατανάλωση είναι BSFC=196 gr/kWh και εμφανίζεται στο εύρος ~2000 rpm έως ~3000 rpm και για μέση πραγματική πίεση 14-20 bar.



Εικόνα 63 Χάρτης Λειτουργίας κινητήρα Diesel

Για τον κινητήρα Otto η ελάχιστη ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι 237 gr/kWh από τις ~1500 rpm έως 4500 rpm και για μέση πραγματική πίεση 8-18 bar, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 64 Ο Χάρτης Λειτουργίας του κινητήρα Otto

Γίνεται σαφές από τους χάρτες λειτουργίας των κινητήρων ότι ο κινητήρας Diesel εμφανίζει μικρότερη ειδική κατανάλωση από τον αντίστοιχο κινητήρα Otto. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη σχέση συμπίεσης του κινητήρα Diesel σε σχέση με τον κινητήρα Otto και στο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης της καύσης εντός του θαλάμου.

6.2.4.2 Ειδική Ισχύς και Ειδική Ροπή Κινητήρα

Η ειδική ισχύς και η ειδική ροπή ενός κινητήρα είναι η ισχύς και η ροπή εκφρασμένες ανά μονάδα όγκου εμβολισμού του κινητήρα. Αποτελούν σημαντική παράμετρο για τη σύγκριση κινητήρων καθώς αποτελεί μέτρο της συγκέντρωσης ισχύος ή ροπής.

Επομένως η ειδική ισχύς και η ειδική ροπή για τον κινητήρα Diesel είναι:

- Ειδική ισχύς = $88 \text{ kW}/1,560 \text{ lt} = 56,41 \text{ kW/lt}$
- Ειδική ροπή = $300 \text{ Nm}/1560 \text{ lt} = 192,3 \text{ Nm/lt}$

Η ειδική ισχύς και ροπή για τον κινητήρα Otto είναι:

- Ειδική ισχύς = $151 \text{ kW}/1,598 \text{ lt} = 94,5 \text{ kW/lt}$
- Ειδική ροπή = $285 \text{ Nm}/1,598 \text{ lt} = 178,35 \text{ Nm/lt}$

Ο κινητήρας Diesel εμφανίζει μεγαλύτερο λόγο ροπής στρέψης προς όγκο εμβολισμού, ενώ ο κινητήρας Otto εμφανίζει μεγαλύτερο λόγο ισχύος προς όγκο εμβολισμού κινητήρα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο κινητήρας Diesel λειτουργεί με μεγαλύτερη Μέση Πραγματική Πίεση από τον κινητήρα Otto (μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης καύσης) ενώ ο κινητήρας Otto εμφανίζει υψηλότερη ειδική ισχύ λόγω του υψηλότερου ρυθμού περιστροφής του.

6.2.4.3 Μέγιστη Αυτονομία

Η αυτονομία ενός αυτοκινήτου αποτελεί σημαντική παράμετρο για την επιλογή του. Όσο μεγαλύτερη είναι η αυτονομία του τόσο πιο αραιά γίνεται ανεφοδιασμός του με καύσιμο. Η αυτονομία εξαρτάται από την χωρητικότητα της δεξαμενής καυσίμου, αλλά και από την κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα. Στην παρούσα εργασία, η αξιολόγηση των δύο κινητήρων αφορά στο ίδιο αυτοκίνητο, επομένως η δεξαμενή είναι ίδιας χωρητικότητας (53 λίτρα) τόσο για τον κινητήρα Diesel όσο και για τον κινητήρα Otto. Επομένως η διαφορά στην αυτονομία επηρεάζονται μόνο από την κατανάλωση που έχει ο κινητήρας σύμφωνα με τις τιμές του κατασκευαστή.

Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο κινητήρας Diesel εμφανίζει αυτονομία:

- Σε αστικό κύκλο 1292 km
- Σε υπεραστικό κύκλο 1558 km
- Σε μικτές συνθήκες 1472 km

Ενώ για τον κινητήρα Otto οι αντίστοιχες τιμές αυτονομίας είναι:

- Σε αστικό κύκλο 716 km
- Σε υπεραστικό κύκλο 1152 km

- Σε μικτές συνθήκες 946 km

Ο κινητήρας Diesel εμφανίζει σημαντικά υψηλότερη αυτονομία σε κάθε περίπτωση και αυτό οφείλεται στη μικρότερη κατανάλωση που εμφανίζει σε όλες τις συνθήκες.

6.2.5 Μέσα Επίπεδα Εκπομπών

Τα μέσα επίπεδα εκπομπών μετρούνται κατά τη διαδικασία έγκρισης τύπου του οχήματος για κυκλοφορία στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι απαραίτητες μετρήσεις γίνονται σε διαπιστευμένα εργαστήρια σύμφωνα με τον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC). Σύμφωνα με τα στοιχεία των εργαστηριακών μετρήσεων που αφορούν τους δύο κινητήρες που επιλέχθηκαν, τα μέσα επίπεδα εκπομπών είναι:

- Για τον κινητήρα Diesel
 - CO₂ 95 gr/km
 - CO 0,190 gr/km
 - HC 0,016 gr/km
 - NO_x 0,065 gr/km
 - HC και NO_x 0,081 gr/km
 - PM ≈ 0 gr/km
 - Στάθμη θορύβου 68,3 db
- Για τον κινητήρα Otto
 - CO₂ 130 gr/km
 - CO 0,778 gr/km
 - HC 0,037 gr/km
 - NO_x 0,015 gr/km
 - PM ≈ 0 gr/km
 - Στάθμη θορύβου 69 db

Ο κινητήρας Diesel λόγω της μικρότερης κατανάλωσης καυσίμου εκπέμπει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, λόγω της υψηλότερης απόδοσης καύσης ο κινητήρας Diesel εκπέμπει λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα και άκαυστους υδρογονάνθρακες. Εκπέμπει όμως περισσότερα οξείδια του αζώτου λόγω της υψηλής περισσειας αέρα στο θάλαμο καύσης ($\lambda_a \gg 1$) και της υψηλότερης θερμοκρασίας που επικρατεί κατά την καύση.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία το αντικείμενο της μελέτης ήταν η συγκριτική αξιολόγηση δύο σύγχρονης τεχνολογίας κινητήρων αυτοκίνησης, ενός κινητήρα Diesel και ενός κινητήρα Otto. Η συγκριτική αξιολόγηση περιλάμβανε την ανάλυση των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές Euro 6. Στη συνέχεια παρατέθηκαν δεδομένα που αφορούν το κόστος κτήσης και χρήσης, επιδόσεων, απόδοσης και εκπομπών με βάση τα οποία διενεργήθηκε η συγκριτική αξιολόγηση.

7.1 Κόστος Χρήσης

Το κόστος κτήσης που παρατέθηκε στην παρούσα εργασία, αποτελεί το πραγματικό κόστος αγοράς του αυτοκινήτου έπειτα από ερώτηση στην ελληνική αντιπροσωπεία. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η διαφορά στο κόστος κτήσης δεν αντιπροσωπεύει τη διαφορά κόστους λόγω του διαφορετικού κινητήρα, αλλά αφορά την διαφορά στο επίπεδο εξοπλισμού του αυτοκινήτου. Ο λόγος που δεν γίνεται εμφανής η διαφορά στο κόστος αγοράς των κινητήρων είναι ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες προσφέρουν

κινητήρες Diesel και Otto αντίστοιχης ιπποδύναμης με το ίδιο επίπεδο εξοπλισμού, που οδηγεί στην επιλογή κινητήρων Otto χαμηλότερου όγκου εμβολισμού από τους κινητήρες Diesel. Χαρακτηριστικά, το αυτοκίνητο που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, διατίθεται απέναντι από τον κινητήρα Diesel που παρουσιάστηκε, με κινητήρα Otto 1199 cc και απόδοσης 130 ίππων.

Το κόστος χρήσης (καύσιμο και προγραμματισμένες συντηρήσεις) είναι προσεγγιστικό και περιλαμβάνει 15.000 km ανά έτος. Έτσι όσον αφορά στο καύσιμο, το κόστος καυσίμου είναι σημαντικά μικρότερο για τον κινητήρα Diesel (675 € / έτος έναντι 1251,6 € / έτος). Αυτό οφείλεται στην μικρότερη κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα Diesel, αλλά και στην υψηλότερη τιμή πώλησης της βενζίνης σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης. Το κόστος συντήρησης ανηγμένο ανά έτος είναι μικρότερο για τον κινητήρα Otto, καθώς απαιτεί συντήρηση σε λιγότερο τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι σε περίπτωση βλάβης, η επιδιόρθωση του κινητήρα Diesel απαιτεί μεγαλύτερο κόστος, λόγω των πιο σύνθετων και στιβαρών εξαρτημάτων του. Ενδεικτικά αντικατάσταση της αντλίας καυσίμου σε κινητήρα Diesel κοστίζει 1500-2000€ (αντλία χαμηλής και υψηλής πίεσης) ενώ σε κινητήρα Otto κοστίζει 300-400€. Η αξιοπιστία του κινητήρα Diesel καθώς και των συστημάτων αντιρύπανσης που διαθέτει εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του καυσίμου. Θα πρέπει λοιπόν οι ιδιοκτήτες αυτοκινήτων Diesel να είναι πολύ προσεκτικοί ως προς το καύσιμο με το οποίο εφοδιάζουν τα αυτοκίνητά τους.

7.2 Επιδόσεις

Στον τομέα των επιδόσεων, ο κινητήρας Otto εμφανίζει υψηλότερη μέγιστη ισχύ σε σχέση με τον κινητήρα Diesel, ενώ η ροπή στρέψης του κινητήρα είναι μικρότερη. Αυτό οφείλεται στον μικρότερο βαθμό απόδοσης της καύσης του καυσίμου εντός του

κυλίνδρου και στην υψηλότερη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής. Το βάρος των οχημάτων δεν διαφέρει σημαντικά. Σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τις επιδόσεις του αυτοκινήτου είναι η κλιμάκωση του κιβωτίου ταχυτήτων. Τα αυτοκίνητα με κινητήρα Diesel εφοδιάζονται με κιβώτια ταχυτήτων μικρότερου λόγου μετάδοσης (πιο «μακριές» σχέσεις) καθώς λόγω της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα δεν θα είχαν υψηλή τελική ταχύτητα.

7.3 Απόδοση

Η απόδοση του κινητήρα Diesel είναι υψηλότερη, λόγω του υψηλότερου λόγου συμπίεσης και του υψηλότερου βαθμού απόδοσης καύσης εντός του θαλάμου. Στους χάρτες λειτουργίας των κινητήρων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα Diesel φαίνεται να είναι μικρότερη από εκείνη του αντίστοιχου κινητήρα Otto (196 gr/kWh έναντι 237 gr/kWh). Ένας ακόμη λόγος που ο κινητήρας Diesel εμφανίζει χαμηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι ότι παρουσιάζει υψηλή ροπή στρέψης σε χαμηλές στροφές του κινητήρα. Στο επίπεδο της αυτονομίας των αυτοκινήτων, ο κινητήρας Diesel λόγω της μικρότερης κατανάλωσής του, εμφανίζει μεγαλύτερη αυτονομία σε όλες τις συνθήκες οδήγησης.

7.4 Μέσα Επίπεδα Εκπομπών

Σύμφωνα με τις μετρήσεις εκπομπών που προκύπτουν κατά τις δοκιμές έγκρισης τύπου, ο κινητήρας Diesel εκπέμπει λιγότερο μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Όμως εκπέμπει σημαντικά περισσότερα οξείδια του αζώτου που ευθύνονται για το φωτοχημικό νέφος στις πόλεις. Επίσης σε περίπτωση που εφοδιαστεί με καύσιμο που περιέχει θείο εκπέμπει οξείδια του θείου.

7.5 Τελική Συγκριτική Αξιολόγηση

Στα πλαίσια του κύματος υποकुβισμού (downsizing) των κινητήρων αυτοκινήτων, τα περισσότερα μοντέλα της αγοράς εφοδιάζονται με κινητήρες Otto μικρού κυβισμού ώστε να ικανοποιηθούν οι αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών. Οι κινητήρες Diesel που εφοδιάζουν ένα όχημα είναι υψηλότερου κυβισμού από τους Otto με αντίστοιχες επιδόσεις (ισχύς, επιτάχυνση, τελική ταχύτητα). Ο κινητήρας Diesel που επιλέχθηκε εμφανίζει εφάμιλλες επιδόσεις με κινητήρα Otto 1198 cm³. Ο επιλέξιμος κινητήρας Otto 1598 cm³ τοποθετείται σε πλουσιότερη έκδοση από πλευράς εξοπλισμού και για αυτό το λόγο έχει μεγαλύτερο κόστος κτήσης.

Μετά από τη συγκριτική αξιολόγηση των κινητήρων διαπιστώθηκε ότι οι κινητήρες Diesel εμφανίζουν μεγαλύτερη απόδοση, που μεταφράζεται σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Παρόλα αυτά, έχουν μεγαλύτερο κόστος συντήρησης, ενώ είναι πιο ευπαθείς σε βλάβες που προκαλούνται από καύσιμο που δεν πληροί τις νομοθετημένες προδιαγραφές. Το κόστος αποκατάστασης των βλαβών είναι αρκετά υψηλό, επομένως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή πρατηρίου καυσίμων για τον ανεφοδιασμό. Οι κινητήρες Diesel αποτελούν ιδανική επιλογή για οδηγούς που διανύουν μεγάλες αποστάσεις σε υπεραστικό περιβάλλον, καθώς αναγεννώνται τα μέσα αντιρύπανσης και αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους.

Οι επιδόσεις του αυτοκινήτου με κινητήρα Otto είναι ανώτερες από εκείνες του αυτοκινήτου με τον κινητήρα Diesel, λόγω της υψηλότερης πραγματικής ισχύος και του «κοντούτερου» κιβωτίου ταχυτήτων. Οι κινητήρες Otto αποτελούν καλύτερη επιλογή από τους κινητήρες Diesel για οδηγούς που αναζητούν επιδόσεις από το αυτοκίνητό τους.

Στον τομέα των εκπομπών, οι κινητήρες Otto εκπέμπουν λιγότερα οξείδια του αζώτου (NO_x), επομένως επιβαρύνουν λιγότερο το περιβάλλον στις πόλεις. Διαθέτουν πιο αξιόπιστα μέσα αντιρύπανσης, επομένως διασφαλίζεται ότι οι εκπομπές τους θα παραμένουν σε χαμηλότερα επίπεδα από τους αντίστοιχους κινητήρες Diesel. Στη Σύνοδο των Δημάρχων (C40) στο Μεξικό αποφασίστηκε η απαγόρευση κυκλοφορίας οχημάτων με κινητήρες Diesel στην Αθήνα, το Παρίσι, τη Μαδρίτη και το Μεξικό μέχρι το 2025. Αναμένεται σταδιακά να λάβουν αντίστοιχα μέτρα και άλλες μεγάλες πόλεις ανά την υφήλιο, το οποίο θα οδηγήσει τις αυτοκινητοβιομηχανίες σε μείωση της παραγωγής και διάθεσης κινητήρων Diesel.

Σύμφωνα με ανακοινώσεις των βιομηχανιών αυτοκινήτου, οι κινητήρες Diesel έχουν φτάσει πολύ κοντά στο ανώτερο όριο εξέλιξής τους με αποτέλεσμα στο άμεσο μέλλον η έρευνα να επικεντρωθεί στους κινητήρες Otto. Στο κοντινό μέλλον, θα διατίθενται λιγότερα αυτοκίνητα με κινητήρες Diesel και περισσότερα με κινητήρες Otto αντίστοιχης ή και καλύτερης απόδοσης καθώς και ηλεκτρικά οχήματα. Επίσης, αξίζει να αναφέρουμε ότι ήδη έχει ξεκινήσει η μετατροπή κινητήρων ώστε να λειτουργούν με διπλό καύσιμο. Στους κινητήρες Otto χρησιμοποιείται ως δεύτερο καύσιμο το υγραέριο κίνησης (LPG) ενώ στους κινητήρες Diesel συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), ενώ ήδη τα συμβατικά καύσιμα περιέχουν ένα ποσοστό βιοκαυσίμων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των οξειδίων του θείου. Η διερεύνηση της επίδρασης στις εκπομπές, την απόδοση και τις επιδόσεις της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων σε κινητήρες αυτοκίνησης καθώς και η αντιπαραβολή τους με ηλεκτρικά οχήματα αποτελεί ενδιαφέρον ζήτημα για μελλοντική έρευνα, αξιοποιώντας τις βάσεις που έθεσε η παρούσα εργασία.

8. Βιβλιογραφία

1. Ε. Γιακουμής, Σημειώσεις μαθήματος “Περιβαλλοντική Τεχνολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος” ΔΠΜΣ “Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας”, ΕΜΠ
2. Ε. Γιακουμής, Σημειώσεις μαθήματος “Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Ι”, ΔΠΜΣ “Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας”, ΕΜΠ
3. Ν. Καπεντζώνης, «Συστήματα Άμεσης Έγχυσης Καυσίμου Βενζινοκινητήρων», Ηράκλειο
4. Μ. Οικονόμου, «Ανασκόπηση Σύγχρονων Συστημάτων Αντιρρόπησης Εμβολοφόρων Κινητήρων», Αθήνα 2011
5. Α. Κονταράτος, «Ψύξη-Λίπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.», Αθήνα, 2007
6. Γ. Πεχλιβάνογλου, «Μηχανές Εσωτερικής Καύσης»,
7. Κ. Αγγελόπουλος, Δ. Καμπίτσης, «Σύγχρονες Εξελίξεις και Μελλοντικές Τάσεις σχετικά με την Βελτίωση της Συμπεριφοράς Λειτουργίας Εμβολοφόρων Κινητήρων Σπινθρισμού», Δεκέλεια 2011
8. Θ. Χουντάλας, Ρ. Γ. Παπαγιαννάκης, «Δυνατότητα Χρήσης Φυσικού Αερίου σε Υπάρχοντες Κινητήρες Ντήζελ», Αθήνα 2005
9. Α. Βαφειάδης, Δ. Παπαφλωράτος, «Συστήματα Τροφοδοσίας Καυσίμου-Καύση σε Τετράχρονους Βενζινοκινητήρες», Σέρρες 2012
10. Διαδικτυακός Ιστότοπος Peugeot www.peugeot.com/en
11. Διαδικτυακή Εγκυκλοπαίδεια Wikipedia www.wikipedia.org
12. Διαδικτυακός Ιστότοπος Denso VCT systems www.denso.com/global/en/
13. Διαδικτυακός Ιστότοπος Caroto www.caroto.gr
14. Διαδικτυακός Ιστότοπος Ευρωπαϊκής Επιτροπής <http://ec.europa.eu/>