

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΧΕΡΣΑΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΑΘΗΝΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην χρήση των πετρελαιοκινητήρων στις χερσαίες μεταφορές. Οι κινητήρες Diesel αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία στην σημερινή αγορά και χρήζουν ιδιαίτερης μελέτης.

Στην αρχή μελετάται η τεχνολογία των κινητήρων Diesel και στην συνέχεια γίνεται αναφορά στις εμπορικές εφαρμογές. Το δεύτερο μέρος της εργασίας αναλώνεται στο περιβαλλοντικό υπόβαθρο, με περιγραφή των ρύπων τους Diesel κινητήρες αλλά και τις μεθόδους αντιμετώπισης αυτών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Γεώργιο Καμπουρίδη για την ανάθεση του ενδιαφέροντος αυτού θέματος, αλλά κυρίως για την εξαιρετική του καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια και τη διαθεσιμότητα του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστώ τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση και τις πολύτιμες συμβουλές τους σε κάθε μου βήμα, τον αδερφό μου και τους φίλους μου, τα στηρίγματα μου σε όλη την φοιτητική ζωή.

Ξανθόπουλος Βασίλειος
Αθήνα 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.) αποτελούν την κύρια κατηγορία θερμικών μηχανών. Με τις θερμικές μηχανές επιδιώκεται η παραγωγή μηχανικού έργου, αξιοποιώντας την αποταμιευμένη στα καύσιμα χημική ενέργεια, με εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά το φαινόμενο της καύσης. Ονομάστηκαν μηχανές «εσωτερικής» καύσης για το λόγο ότι τα προϊόντα της καύσεως του καυσίμου με το οξειδωτικό, όπου κατά κύριο λόγο είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, αποτελούν ταυτόχρονα και το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ισχύος, σε αντίθεση με τις μηχανές εξωτερικής καύσης.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται αναφορά στην χρήση πετρελαιοκινητήρα στις μεταφορές. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στα αλλά είδη κινητήρων, καθιστώντας τα άμεσα συγκρίσιμα με τους κινητήρες που είναι το βασικό αντικείμενο μελέτης. Η ανάλυση αφορά τόσο την χρήση ηλεκτρισμού στις μεταφορές όσο και την χρήση καυσίμων σε άλλου είδους κινητήρες. Στην συνέχεια γίνεται η τεχνική περιγραφή της λειτουργίας των κινητήρων με την πλήρη περιγραφή των στοιχείων που των συνθέτουν ενώ ακολουθεί η εμπορική εφαρμογή των κινητήρων αυτών στην πράξη.

Το δεύτερο μέρος εστιάζει στο σημαντικό για την εποχή ζήτημα των εκπομπών ρύπων από τις μεταφορές. Οι εκπομπές αυτές έχουν βαρύνουσα σημασία στην σύγχρονη εποχή και για το λόγο αυτό αναλύονται ξεχωριστά. Παράλληλα αναφέρονται και τα μέτρα που λαμβάνονται με στόχο την μείωση των εκπομπών. Η συνδυαστική εφαρμογή των μέσων αυτών είναι το μέλλον στην τεχνολογία περιορισμού των ρύπων και για το λόγο αυτό γίνεται πλήρη αναφορά στις σύγχρονες αυτές τεχνικές.

Η σύγχρονη τεχνολογία δίνει μεγάλη έμφαση στην τεχνολογία των Diesel κινητήρων. Όλο και περισσότερα ερευνητικά προγράμματα ασχολούνται με την βελτίωση αυτών, ενώ παράλληλα πολλές εταιρίες έχουν επενδύσει στην επικράτηση αυτής της τεχνολογίας. Μεγάλο μέρος της ερευνάς πραγματοποιείται από την δραστηριοποίηση στον τομέα των μεταφορών. Η συνεχής τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει στην βελτίωση της απόδοσης των μηχανών αυτών, τόσο όσο αφορά τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, όσο και την περιβαλλοντική τους απόδοση. Για το λόγο αυτό χρήζει ιδιαίτερης μελέτης η ανάλυση των πετρελαιοκινητήρων στις σύγχρονες χερσαίες μεταφορές.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.Προς την χρήση πετρελαιοκινητήρων στις χερσαίες μεταφορές.....	1
1. ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	5
1.1 Γενικά είδη κινητήρων.....	5
1.1.1 Κινητήρας Otto.....	5
1.1.2 Κινητήρας Wankel.....	7
1.1.3 Ηλεκτροκινητήρας.....	9
1.1.3.1 DC κινητήρας.....	10
1.1.3.2 Ο σύγχρονος εναλλασσόμενος κινητήρας.....	10
1.1.3.3 Ασύγχρονος επαγωγικός τριφασικός εναλλασσόμενος κινητήρας.....	10
1.2 Σκοπός και ανάπτυξη της διπλωματικής εργασίας.....	11
2. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Εξωτερική λειτουργία – Τετράχρονοι και Δίχρονοι Πετρελαιοκινητήρες.....	14
2.3 Ρύθμιση ισχύος κινητήρων Diesel.....	17
2.4 Υπερπλήρωση κινητήρων Diesel.....	18
2.5 Ψύξη πετρελαιοκινητήρα.....	20
2.5.1 Ψύξη σε Κινητήρες Diesel.....	21
2.5.2 Σύγκριση ψύξης με αέρα έναντι ψύξης με νερό.....	22
2.6 Λίπανση κινητήρων Diesel.....	22
2.6.1 Εισαγωγή.....	22
2.6.2 Λιπαντικά κινητήρων Diesel.....	23
3. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	25
3.1 Εισαγωγή.....	25
3.2 Πετρελαιοκινητήρες σε δίκυκλα οχήματα.....	25
3.3 Πετρελαιοκινητήρες σε χαμηλού φορτίου οχήματα.....	26
3.4 Πετρελαιοκινητήρες σε βαρέως τύπου οχήματα.....	31
3.5 Πετρελαιοκινητήρες στις σιδηροδρομικές μεταφορές.....	33
3.5.1 Τύποι μετάδοσης παρουσία Diesel μηχανής.....	35

3.6 Συμπεράσματα.....	37
4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΩΝ.....	38
4.1 Σχηματισμός ρύπων στους κινητήρες Diesel.....	38
4.2 Οξειδία του αζώτου (NOx).....	38
4.2.1 Σχηματισμός οξειδίων του αζώτου σε κινητήρες Diesel.....	39
4.2.2 Συνθήκες σχηματισμού NO.....	39
4.2.3 Επίδραση των παραμέτρων λειτουργίας των τιμών του NO.....	40
4.3 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO).....	40
4.4 Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες (HC).....	41
4.4.1 Σχηματισμός Άκαυστων Υδρογονανθράκων σε κινητήρες Diesel.....	43
4.5 Σωματιδιακές εκπομπές – Αιθάλη.....	42
4.5.1 Σχηματισμός σωματιδίων Αιθάλης.....	43
4.6 Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	43
4.7 Όρια εκπομπής ρύπων κινητήρων Diesel.....	44
4.7.1 Επιβατικά και ελαφρά φορτηγά με κινητήρες Diesel.....	45
4.7.2 Οχήματα βαρέως τύπου.....	46
4.8 Ευρωπαϊκοί «Κύκλοι Πόλης».....	46
4.8.1 «Κύκλος Πόλης» ECE+EUDC (NEDC).....	46
4.8.2 «Κύκλος Πόλης» ETC (European Transient Cycle).....	48
5. ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL.....	51
5.1 Εισαγωγή.....	51
5.2 Καταλύτες.....	52
5.3 Παγίδες σωματιδίων Αιθάλης.....	54
5.4 Ανακυκλοφορία των καυσαερίων.....	55
5.4.1 Επίδραση EGR στις εκπομπές ρύπων και τη λειτουργία κινητήρα Diesel.....	57
5.5 Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή.....	58
5.6 Adblue Μέθοδος SCR.....	60
5.7 Τεχνολογία Bluetec.....	62
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
6.1 Συμπεράσματα.....	64
6.2 Μελλοντική επέκταση.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

DC	=	Direct Current
M.E.K.	=	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης
E.E.	=	Ευρωπαϊκή Ένωση
NO	=	Nitric Oxide
CO	=	Carbon Oxide
HC	=	Hydro Carbones
SO	=	Sodium Oxide
ESC	=	European Stationary Cycle
ETC	=	European Transient Cycle
ECE	=	Economic Commission Europe
EUDC	=	Extra Urban Driving Cycle
EGR	=	Exhaust Gas Recirculation
SCR	=	Selective Catalyst Reduction

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

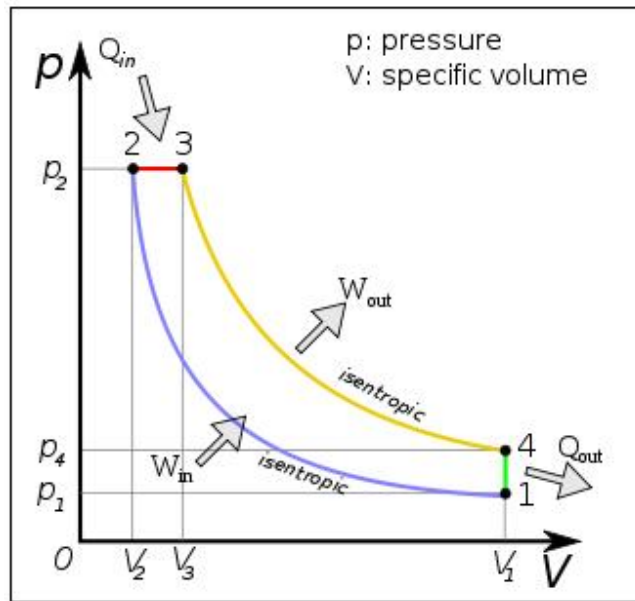
1.ΠΡΟΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΧΕΡΣΑΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Ο 21^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται ως ο αιώνας των μεταφορών. Η ανάγκη για μετακινήσεις έχει αυξηθεί σε ραγδαίο ρυθμό, ενώ παράλληλα η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου είχε σαν συνέπεια την μαζική αύξηση των ιδιοκτητών οχημάτων. Η ανάπτυξη στον τομέα των μεταφορών οδήγησε στην ανάγκη για βελτίωση των κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε αυτές. Παράλληλα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και το ολοένα αυξανόμενο κόστος του πετρελαίου, λόγω της εξάντλησης των αντίστοιχων αποθεμάτων και κατά συνέπεια της αυξημένης τιμής, έχουν οδηγήσει στη θέσπιση αυστηρότερων περιβαλλοντικών κριτηρίων και προδιαγραφών για τα οχήματα όλων των τύπων.

Συνεπώς, οι εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων υποχρεώθηκαν να μειώσουν τους εκπεμπόμενους ρύπους για την τήρηση των περιβαλλοντικών κανονισμών, που θεσπίστηκαν παγκοσμίως την τελευταία δεκαετία. Ειδικότερα, η μείωση των ρύπων αυτών πρέπει να συνάδει με την αύξηση της ισχύος των κινητήρων και παράλληλα με την αυξημένη απόδοση.

Τα προηγούμενα χρόνια έγιναν αρκετές προσπάθειες για να βελτιωθούν περαιτέρω η απόδοση των κινητήρων Diesel και η οικονομία καυσίμου, ώστε να περιοριστούν οι εκπομπές CO₂ και εμμέσως άλλων αέριων και σωματιδιακών ρύπων. Ο συνδυασμός της βελτίωσης και ελέγχου της προπορείας, της πίεσης και του ρυθμού της έγχυσης καυσίμου, καθώς και της πίεσης λειτουργίας μπορούν να μειώσουν την ειδική κατανάλωση καυσίμου στους κινητήρες Diesel άμεσης έγχυσης. Ακόμη, παράγοντες που ωθούν στην βελτίωση της λειτουργίας των Diesel κινητήρων αποτελεί η βελτίωση του βαθμού απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου λειτουργίας σε συνδυασμό με την μείωση των λειτουργικών απωλειών αυτών. [Ρακόπουλος,1998]

Ο κύκλος Diesel είναι η θερμοδυναμική διεργασία του κύκλου που προσεγγίζει την πίεση και τον όγκο του θαλάμου καύσης του κινητήρα Diesel, και εφευρέθηκε από τον Ρούντολφ Ντίζελ το 1897. Σαν πρώτο στάδιο έχει σταθερή πίεση κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους της «καύσης» (φάση V2 προς V3 στο διάγραμμα). Αυτή είναι μια εξιδανικευμένη μαθηματική προσέγγιση: στην πραγματική φυσική του πετρελαιοκινητήρα υπάρχει αύξηση της πίεσης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αλλά είναι λιγότερο έντονη από ό, τι στον κύκλο Otto. [Ρακόπουλος,1998]



Σχήμα 1.1: Ιδανικός κύκλος Diesel [2]

Το παραπάνω σχήμα (Σχήμα 1.1) απεικονίζει ένα διάγραμμα PV για τον ιδανικό κύκλο Diesel [Ρακόπουλος,1998] ,όπου p είναι η πίεση και v είναι η κατά μονάδα όγκου. Ο ιδανικός κύκλος Diesel ακολουθεί τις εξής τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες (οι αναφορές σε χρώμα αναφέρεται στο χρώμα της γραμμής στο διάγραμμα.):

- § Διαδικασία 1 – 2: είναι ισεντροπική συμπίεση του ρευστού (μπλε χρώμα).
- § Διαδικασία 2 – 3: είναι αναστρέψιμη σταθερή πίεση θέρμανσης (κόκκινο).
- § Διαδικασία 3 – 4: είναι ισεντροπική εκτόνωση (κίτρινο).
- § Διαδικασία 4 – 1: είναι αναστρέψιμη σταθερή ψύξη όγκου (πράσινο).

Η Diesel είναι μια θερμική μηχανή όπου μετατρέπει τη θερμότητα σε έργο. Οι διαδικασίες ισεντροπικής μεταβολής είναι αδιαπέραστες στη θερμότητα: η θερμότητα ρέει μέσα στο βρόχο μέσω της ισοβαρής επέκτασης της διαδικασίας και ορισμένη από αυτή ρέει προς τα έξω μέσω της διαδικασίας εκτόνωσης.

Οι διεργασίες που λαμβάνουν μέρος αναλύονται:

- § Έργο εισόδου: γίνεται από το έμβολο ώστε να συμπιέζει το φέρον ρευστό.
- § Θερμότητα εισόδου : γίνεται με την καύση του καυσίμου.
- § Έργο εξόδου: είναι το έργο που εκμεταλλευτεί στην έξοδο της διαδικασίας.
- § Θερμότητα εξόδου: είναι η θερμότητα που εξάγεται κατά την διαδικασία της ψύξης.

Μέγιστη θερμική απόδοση

Η μέγιστη θερμική απόδοση του κύκλου Diesel [Ρακόπουλος,1998] εξαρτάται από την αναλογία συμπίεσης και τον cut-off δείκτη (V_3/V_2):

$$n_{th} = 1 - \frac{1}{r^{g-1}} \left(\frac{a^{g-1}}{g(a-1)} \right) \quad (1.1)$$

όπου n_{th} : η απόδοση του κύκλου
 r : ο λόγος συμπίεσης (V_2/V_1)
 a : cut-off ratio
 γ : στοιχείο του ρευστού.

Σήμερα η εφαρμογή των προηγούμενων τεχνικών έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου των κινητήρων [4]. Όλες αυτές οι δράσεις έχουν να κάνουν με την εκ των προτέρων λειτουργία των κινητήρων αυτών. Αντίστοιχα μέτρα εξετάζονται και για εκ των υστέρων μέτρα λειτουργίας των diesel κινητήρων, μετά την διαδικασία της καύσης του μίγματος. Στην περίπτωση αυτή τα μέτρα λαμβάνονται στην αξιοποίηση των καυσαερίων στον μέγιστο βαθμό.

Η σύγχρονη τεχνολογία ωθείται στα όριά της, καθώς είναι εξαιρετικά χαμηλές οι εκπομπές ρύπων, όπως απαιτούνται από το νομοθετικό πλαίσιο [Gingery, 1996]. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πλήθος συσκευών για την διαχείριση των καυσαερίων, ενώ παράλληλα πολλές άλλες συσκευές βρίσκονται υπό μελέτη και σταδιακά εφαρμόζονται στα σύγχρονα εμπορικά οχήματα, όπως:

- Φίλτρα σωματιδίων diesel για τις εκπομπές σωματιδίων ντίζελ,
- NOx ντίζελ καταλύτες (καταλύτες εξουδετέρωσης των NOx) για τις εκπομπές των ντίζελ NOx .
- Παγίδες NOx.

Τα μέσα αυτά θα αναπτυχθούν λεπτομερώς στην συνέχεια, ενώ παράλληλα αποτελούν ένα μέρος από την διαθέσιμη τεχνολογία στα οχήματα. Το σύνηθες είναι μάλιστα να χρησιμοποιείται ο συνδυασμός αυτών των μεθόδων, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή μετάβαση σε ένα περιβάλλον που να συμπίπτει με την εφαρμοζόμενη νομοθεσία.

Προκειμένου να συμμορφωθούν με τη νομοθεσία, οι μηχανικοί εστιάζουν στα ηλεκτρικά μέρη του αυτοκινήτου, ώστε όλες οι διαδικασίες λειτουργίας να είναι ελεγχόμενες και ακριβείς. Αυτό έχει σαν συνέπεια την βελτίωση του συστήματος ελέγχου με την εγκατάσταση σύγχρονων ψηφιακών συστημάτων και εξελιγμένων αισθητήριων οργάνων, τα οποία συνδέονται με τον εγκέφαλο του οχήματος μελέτης. [Meyer, 1982]

Παρατηρείται λοιπόν μια εξέλιξη στον τομέα των πετρελαιοκινητήρων και την χρήση αυτών στις μεταφορές. Η συνεχής ανάπτυξη και εξέλιξη αυτών, έχει οδηγήσει σε ραγδαία βελτίωση της λειτουργίας τους με συνέπεια να έχουν διεισδύσει τόσο στα μικρά οχήματα, όσο και σε μεγάλες εφαρμογές που ανέκαθεν αποτελούσε το πεδίο επικράτησης των μηχανών αυτών.

Προκειμένου να μειωθεί το κόστος και ο χρόνος σχεδιασμού για την ανάπτυξη και την εξέλιξη των μηχανών αυτών, η ανάπτυξη της μοντελοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας είναι απαραίτητη. Η συμπεριφορά των κινητήρων προσομοιώνεται μέσω ειδικών προγραμμάτων ενώ παράλληλα προστίθενται και νέες διαδικασίες στην προσομοίωση για ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Στο πλαίσιο αυτό η μελέτη

Λειτουργίας και εφαρμογής των κινητήρων Diesel είναι ένα πολυδιάστατο αντικείμενο και σε αυτή την εξέταση βασίζεται η υλοποίηση της μελέτης αυτής.

1. ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

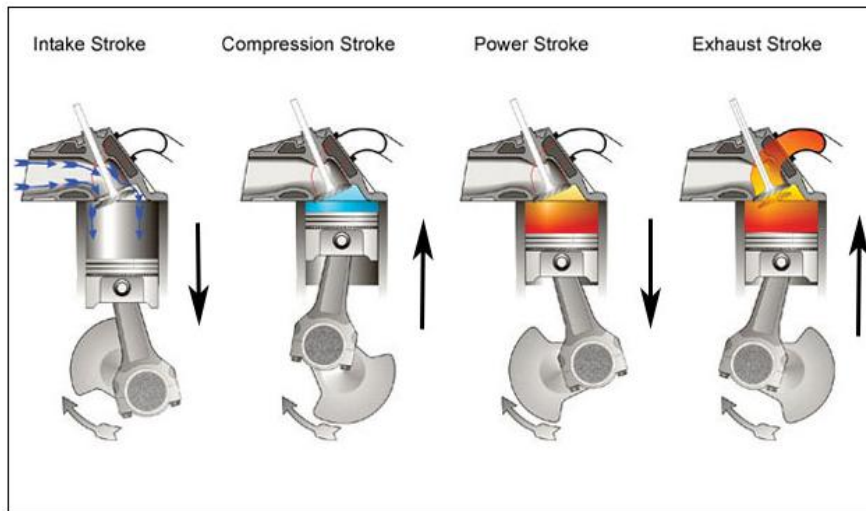
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η αναφορά στους Diesel κινητήρες αποτελεί την βάση της παρούσας μελέτης, αλλά δεν αποτελεί το μοναδικό είδος κινητήρα. Η ανάγκη για γρήγορες, ταχείες και αποτελεσματικές λειτουργίες έχει οδηγήσει στην μελέτη και καθιέρωση διαφορετικών τύπων κινητήρων. Στην συνέχεια αναφέρονται οι πιο σημαντικοί τύποι κινητήρων που χρησιμοποιούνται στις χερσαίες μεταφορές. Από τους κινητήρες αυτούς, άλλοι βρίσκονται σε ραγδαία εξέλιξη και άλλοι έχουν τεθεί στο περιθώριο λόγω δυσλειτουργίας της εφαρμογής τους.

1.1.1 Κινητήρας Otto

Αποτελούν τους “ανταγωνιστικούς κινητήρες” καυσίμου για τους πετρελαιοκινητήρες. Στους κινητήρες Otto ή έναυσης με σπινθήρα (spark ignition), όπως αλλιώς ονομάζονται, υπάρχει πάντοτε ανάφλεξη με τη βοήθεια κάποιου εξωτερικού μέσου, συνηθέστατα ενός ηλεκτρικού σπινθήρα. Οι κινητήρες Otto, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο διακρίνονται σε βενζινομηχανές και αεριομηχανές. Οι αεριομηχανές χρησιμοποιούν σαν καύσιμο φυσικά ή τεχνητά αέρια, όπως π.χ. φυσικό αέριο ενώ οι βενζινομηχανές χρησιμοποιούν σαν καύσιμο κατ’εξοχήν βενζίνη αλλά και επιπλέον ελαφρά υγρά καύσιμα μεγάλης πτητικότητας (όπως π.χ. μεθανόλη, αιθανόλη, κ.λπ.). Πάντως σήμερα, το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό των αυτοκινήτων με κινητήρες Otto χρησιμοποιούν ως καύσιμο την βενζίνη.

Ο πιο συνήθης τρόπος για τον σχηματισμό του μίγματος αέρα-καυσίμου είναι αυτός του εξαεριωτή (ή καρμπυρατέρ) [Ρακοπουλος,1998]. Στον εξαεριωτή σχηματίζεται και προετοιμάζεται το καύσιμο μείγμα, το οποίο έχει αναρροφηθεί από τη μηχανή με κάποια τεχνητή διαδικασία. Πιο σύγχρονα συστήματα σχηματισμού του μίγματος περιλαμβάνουν μεθόδους όπως την ηλεκτρονική έγχυση μονού σημείου ή πολλαπλών σημείων (συστήματα εμμέσου εγχύσεως) και την άμεση έγχυση. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και συστήματα περιοδικής εγχύσεως σε αντίθεση με τα παλαιότερα συστήματα συνεχούς εγχύσεως, κατά τη λειτουργία των οποίων η βενζίνη ψεκαζόταν αδιάκοπα σε όλους τους κυλίνδρους. Το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 1.2) δείχνει ένα τυπικό κύλινδρο ΟΤΤΟ. Η μηχανή αυτή αφορά ένα τετράχρονο κινητήρα τύπου Otto με όλες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα.



Σχήμα 1.2: Τετράχρονη μηχανή ΟΤΤΟ [2]

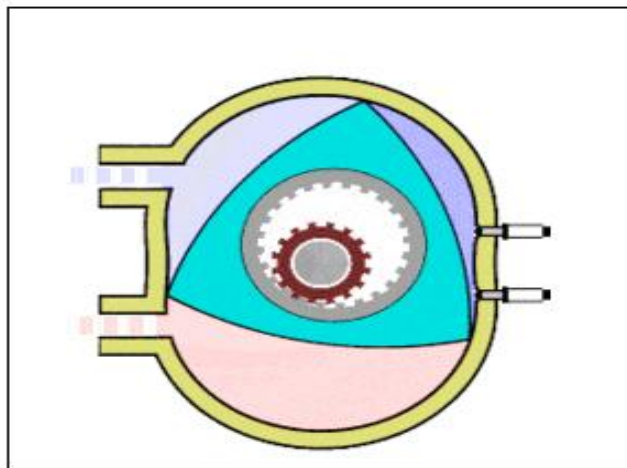
Κατά τις μεθόδους αυτές διακοπτόμενης και συνεχούς εγχύσεως επιτυγχάνεται η έγχυση της βενζίνης μέσω του συστήματος αντλίας καυσίμου- εγχυτήρα.

Η ρύθμιση της ισχύος του κινητήρα Otto είναι ποσοτική [1], δηλαδή η αυξομείωση του έργου και της ισχύος επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας την ποσότητα του μείγματος που εισέρχεται στον κύλινδρο. Η μεταβλητότητα της ποσότητας του μείγματος ρυθμίζεται με τη βοήθεια στραγγαλιστικής δικλείδας («πεταλούδα»), η οποία βρίσκεται στη διαδρομή του μείγματος προς τον κύλινδρο και η περιστροφή της οποίας ρυθμίζει την είσοδο του καυσίμου στον κύλινδρο. Ταυτόχρονα, η ποιότητα του μείγματος, δηλαδή ο λόγος μαζών αέρα-καυσίμου, παραμένει ουσιαστικά σταθερός με εξαίρεση τις περιπτώσεις κρίσης εκκίνησης, όπου γίνεται αυτόματη ρύθμιση πλουσιότερου μίγματος έναντι της στοιχειομετρικής αναλογίας.

Πρέπει να τονιστεί ότι η στοιχειομετρική αναλογία αέρα- βενζίνης είναι περίπου 14,7:1 δηλαδή απαιτούνται 14,7 μέρη αέρα για την πλήρη καύση ενός τμήματος βενζίνης. Απ' την άλλη μεριά, η καύση πολύ πτωχών μειγμάτων, η καύση δηλαδή με περίσσεια αέρα, έχει ως θετική συνέπεια τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης και τη μείωση των εκπεμπόμενων ρυπογόνων αερίων. Οι κινητήρες Otto πτωχού μείγματος επιτρέπουν την καύση πολύ πτωχών μειγμάτων, με λόγο αέρα-καυσίμου μέχρι και 50:1, πράγμα που επιτυγχάνεται με αύξηση του επιπέδου της τύρβης της γομώσεως και πιο συγκεντρωτικό θάλαμο γύρω από τη βαλβίδα εξαγωγής και οδηγούν στην αύξηση ισχύος και απόδοσης του κινητήρα.

1.1.2 Κινητήρας Wankel

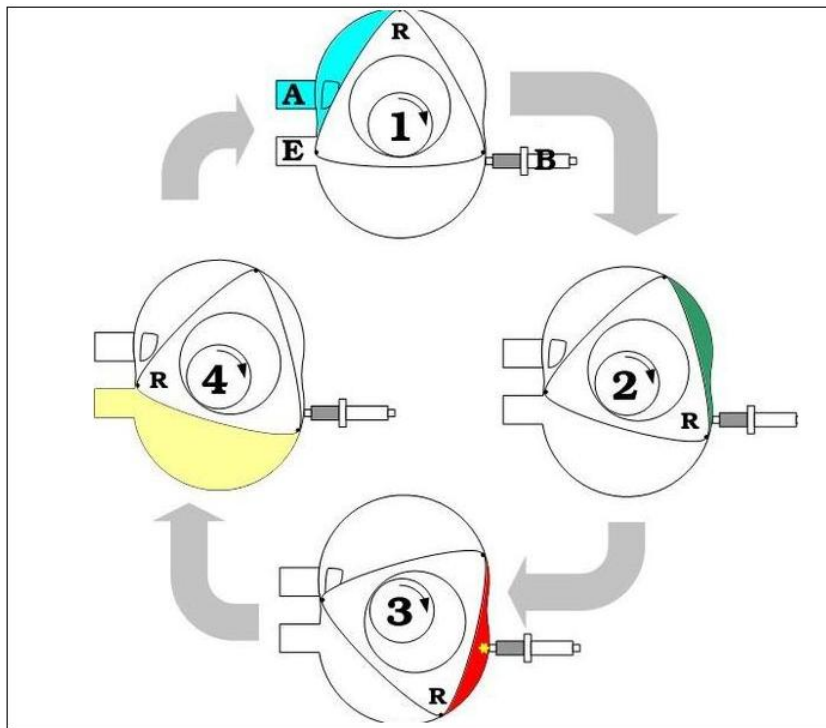
Ο περιστροφικός αυτός κινητήρας [Hadley,1999] είναι ένας τετράχρονος κινητήρας εσωτερικής καύσης, που αναπτύχθηκε στην δεκαετία του 1950. Η βασική αρχή λειτουργίας είναι ίδια με του κλασικού τετράχρονου παλινδρομικού εμβολοφόρου, αφού χρησιμοποιεί την ισχύ από την καύση του μείγματος βενζίνης/αέρα για να παράγει έργο. Όμως, σε αντίθεση με τον παλινδρομικό κινητήρα, ο περιστροφικός κινητήρας wankel δεν έχει πιστόνια, μπιέλες, βαλβίδες και εκκεντροφόρους αλλά ρότορες που περιστρέφονται μέσα στους στάτορες και ένα περιστρεφόμενο έκκεντρο άξονα πάνω σε αυτόν τον ρότορα για τη μετάδοση της ισχύος. Ο ρότορας μεταφέρει κίνηση στον άξονα κίνησης μέσω μιας εκκεντρικής ρόδας. Ο άξονας κίνησης περιστρέφεται μια φορά κατά τη διάρκεια κάθε κτυπήματος δύναμης αντί δύο φορές όπως ισχύει στους κινητήρες Otto. Οι κινητήρες Wankel παράγουν υψηλότερη ισχύ με λιγότερα κινούμενα μέρη από ότι η μηχανή Otto, εντούτοις οι τεχνικές δυσκολίες έχουν παρεμποδίσει τη διαδεδομένη εφαρμογή τους.



Σχήμα 1.3: Κινητήρας Wankel [6]

Ένας τυπικός κινητήρας wankel (Σχήμα 1.3) (π.χ. ο 13B ή ο πιο σύγχρονος Renesis) έχει δύο «θαλάμους» ή στάτορες, δύο ρότορες (ένα σε κάθε στάτορα), και τον έκκεντρο άξονα (eccentric shaft), πάνω στον οποίο αναρτώνται και περιστρέφονται οι ρότορες. Τα παραπάνω σχηματίζουν το σύνολο του κινητήρα. Το ακόλουθο διάγραμμα αποτελεί την παρουσίαση του ένα ροτορα του κινητήρα.

Ο θάλαμος ενός περιστροφικού κινητήρα wankel έχει επιτροχιοειδή μορφή, και η περιφέρειά του θυμίζει το σχήμα του αυγού. Μέσα σε αυτόν περιστρέφεται με ελλειπτική κίνηση ο ρότορας, ο οποίος κατά την περιστροφή του εκτελεί τις φάσεις του παλινδρομικού κινητήρα σε κάθε μία από τις τρεις πλευρές του. Με άλλα λόγια, οι «θάλαμοι καύσης» του περιστροφικού κινητήρα δεν είναι σταθεροί, αλλά κάθε πλευρά του τριγωνικού ρότορα σχηματίζει από έναν θάλαμο, ο οποίος μετακινείται καθώς μετακινείται και ο ρότορας. Το ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 1.4)προσιδιάζει την λειτουργία του κινητήρα Wankel ενώ στην συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή του κύκλου λειτουργίας:



Σχήμα 1.4: Διεργασίες κινητήρα Wankel [6]

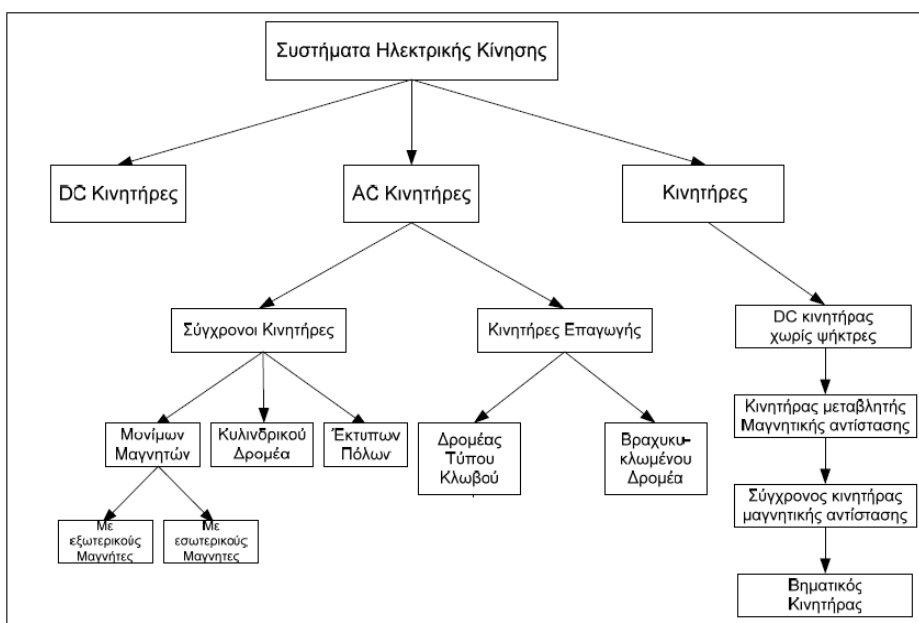
Οι φάσεις λειτουργίας του περιστροφικού κινητήρα είναι οι ακόλουθες κατά αντιστοιχία με τους παλινδρομικούς κινητήρες:

- 1) Φάση εισπνοής: μία από τις πλευρές του ρότορα περνάει επάνω από τις θυρίδες εισαγωγής από όπου εισέρχεται το προς καύση μείγμα βενζίνης/αέρα.
- 2) Φάση συμπίεσης: ο ρότορας –λόγω της μορφής του στάτη- συμπιέζει το μείγμα βενζίνης/αέρα με τον λόγο συμπίεσης που έχει ο κινητήρας wankel.
- 3) Φάση ανάφλεξης: στην τρίτη φάση περιστροφής του ρότορα το συμπιεσμένο μείγμα οδηγείται πάνω από τα δύο μπουζί, ώστε να αναφλεγεί και να εκλυθεί η απαιτούμενη ενέργεια, η οποία πρακτικά «σπρώχνει» τον ρότορα ώστε να συνεχίσει την περιστροφή του
- 4) Φάση εκτόνωσης: η ίδια πλευρά του ρότορα πλέον περνάει πάνω από τα exhaust ports (θυρίδες εξαγωγής), μέσα από τα οποία τα καυσαέρια οδηγούνται προς την εξάτμιση.

Τα μόλις τρία κινούμενα μέρη του wankel (ρότορες και έκκεντρος άξονας), η λογική λειτουργίας του (η περιστροφική κίνηση παράγεται από περιστροφική κίνηση, σε αντίθεση με τον παλινδρομικό κινητήρα), και η συχνότητα παραγωγής έργου (μία φορά σε κάθε περιστροφή του ρότορα, ο οποίος με την σειρά του περιστρέφεται τρεις φορές πιο αργά από τον άξονα), οδηγούν σε μερικά πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα: Πολύ μικρότερο μέγεθος, πολύ λιγότερες τριβές, μειωμένες απώλειες ισχύος, μικρότερο βάρος, και κυρίως μικρότερη αδράνεια των κινούμενων μερών του κινητήρα με συνέπεια μεγάλη σταθερότητα στην όλη εγκατάσταση. Μερικά από τα μειονεκτήματα του κινητήρα αυτού αναφέρονται: ο μακρύς και στενός θάλαμος καύσης, η κατανάλωση δεν αντιστοιχεί στην ονομαστική χωρητικότητα του κινητήρα.

1.1.3 Ηλεκτροκινητήρας

Η ηλεκτρική μηχανή είναι η συσκευή η οποία αναλαμβάνει η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική και αντίστροφα. Στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης η ηλεκτρική μηχανή έχει συνήθως ρόλο κινητήρα, εκτός από την περίπτωση αναγέννησης πέδησης, όπου επέχει ρόλο η λειτουργία γεννήτριας. Υπάρχουν πολλά είδη ηλεκτρικών κινητήρων, τα οποία χρησιμοποιούνται σε συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και τα συνηθέστερα παρουσιάζονται στο σχήμα. Η επιλογή του κατάλληλου κινητήρα γίνεται βάση της πηγής ισχύος που έχουμε, του διαθέσιμου μετατροπέα, του φορτίου που θα τροφοδοτηθεί. Ακριβώς επειδή η ηλεκτροκίνηση στις μεταφορές είναι σε πρώιμο στάδιο, η κυριαρχία ενός τύπου οχήματος δεν είναι δεδομένη. [Sulzberger,2004]



Σχήμα 1.5: Συστήματα ηλεκτρικής κίνησης

1.1.3.1 DC κινητήρας

Ο DC κινητήρας [Τεγόπουλος,1991] βασίζει την λειτουργία του στην αλληλεπίδραση δύο μαγνητικών πεδίων, αυτό της διέγερσης και αυτό του τυμπάνου. Το πεδίο του τυμπάνου παράγεται από το τύλιγμα τυμπάνου, που είναι κατανομημένο στο δρομέα ενώ το πεδίο της διέγερσης μπορεί να παραχθεί είτε από μόνιμους μαγνήτες τοποθετημένους στο στάτη είτε από τύλιγμα διεγέρσεως στο στάτη. Σημαντικότερο ρόλο στην λειτουργία της DC μηχανής έχει ο συλλέκτης, ο οποίος αναλαμβάνει να κάνει μηχανική ανόρθωση της εναλλασσόμενη παραγόμενης τάσης

από το τύλιγμα του τυμπάνου. Η εναλλασσόμενη αυτή τάση ανορθώνεται μηχανικά στο συλλέκτη.

1.1.3.2 Ο σύγχρονος εναλλασσόμενος κινητήρας

Η αρχή λειτουργίας της οφείλεται στην αλληλεπίδραση του πεδίου του τυμπάνου με το πεδίο διέγερσης. Το τύλιγμα τύμπανου αποτελείται από 3 τυλίγματα, ένα για κάθε φάση τα οποία είναι χωρικά κατανομημένα στο στάση και με χωρική μετατόπιση 120 και 240 ηλεκτρικών μοιρών. Το πεδίο του τυμπάνου που παράγεται από το τριφασικό ρεύμα που διαρρέει το τύλιγμα τυμπάνου στρέφεται με την σύγχρονη ταχύτητα στο χώρο. Από την άλλη, το πεδίο διέγερσης μπορεί να παραχθεί είτε από μόνιμους μαγνήτες τοποθετημένους εξωτερικά ή εσωτερικά στο δρομέα είτε από συνεχές ρεύμα που ρέει το τύλιγμα διεγέρσεως, του οποίου μπορεί να είναι είτε τυλιγμένο στο κυλινδρικό δρομέα είτε τυλιγμένο στους έκτυπους πόλους (σε περίπτωση δρομέα έκτυπων πόλων).

Στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης συνήθως προτιμούνται σύγχρονες μηχανές μόνιμων μαγνητών, ειδικότερα μετά την πρόοδο που σημειώνει η τεχνολογία υλικών, όπου πλέον έχουμε μόνιμους μαγνήτες (με κράματα νεοδημίου, σιδήρου και βορίου), τα οποία δίνουν παραμένουσα μαγνήτιση στα 1.2T και υψηλή συνεχούσα δύναμη 1000kA/m, καθώς και μόνιμους μαγνήτες φερρίτη με παραμένουσα μαγνήτιση στα 0.35T και συνεχούσα δύναμη στα 150kA/m.

1.1.3.3 Ασύγχρονος επαγωγικός τριφασικός εναλλασσόμενος κινητήρας

Οι ασύγχρονοι εναλλασσόμενοι κινητήρες ονομάζονται έτσι γιατί στρέφονται με διαφορετική από την σύγχρονη ταχύτητα λειτουργίας. Στην ασύγχρονη μηχανή το πεδίο τυμπάνου παράγεται από το τύλιγμα τυμπάνου όταν αυτό διαρρέεται από συμμετρικά τριφασικά ρεύματα. Το τύλιγμα τυμπάνου είναι το ίδιο που φέρουν και οι σύγχρονοι κινητήρες. Βασικό πλεονέκτημα της ασύγχρονης μηχανής είναι ότι δεν απαιτείται κάποιο συγκεκριμένο σύστημα διεγέρσεως στο δρομέα για την παραγωγή του πεδίου διεγέρσεως.

Έτσι, οι ασύγχρονοι κινητήρες αποτελούν ιδανική επιλογή για πολλά συστήματα ηλεκτρικής κίνησης, λόγω της απλότητας της κατασκευής, του πολύ καλού βαθμού απόδοσης, της αξιοπιστίας τους, της ελάχιστης συντήρησης που απαιτούν, του μεγάλου χρόνου ζωής και βεβαίως του μικρού βάρους και όγκου που απαιτούν.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μελέτη των κινητήρων Diesel αποτελεί την βάση της παρούσας εργασίας. Ο στόχος της μελέτης είναι να εξεταστεί η τεχνολογία των κινητήρων αυτών και πως αυτή έχει επηρεάσει αλλά και επηρεαστεί από την ανάγκη για χερσαίες μεταφορές. Η μελέτη εστιάζει σε δυο ξεχωριστά και διακριτά αντικείμενα:

- § Τεχνική εξέταση των κινητήρων αυτών. Με την αναφορά αυτή εξετάζεται η τεχνολογική εξέλιξη των πετρελαιοκινητήρων. Γίνεται αναφορά σε όλα τα στάδια που επηρεάζουν την λειτουργία ενώ αναφέρονται και οι διαφορετικές χρήσεις της μεθόδου αυτής. Οι διάφορες χρήσεις εστιάζονται στα διαφορετικά μέσα μεταφοράς εδάφους.
- § Περιβαλλοντική προσέγγιση των κινητήρων Diesel. Στις μέρες μας ένα από τα προβλήματα που εξετάζονται είναι η διαχείριση των ρύπων. Το πρωτόκολλο του Κιότο και η ανάγκη για ένα πιο καθαρό περιβάλλον έχει οδηγήσει στον περιορισμό των ρύπων. Ένα από τα σημαντικά ζητούμενα των κινητήρων αυτών είναι οι υψηλές εκπομπές ρύπων, κάτι που τις καθιστούσε απαγορευτικές για τα αστικά κέντρα.

Στο πλαίσιο αυτό η παρούσα μελέτη διαχωρίζεται σε 6 διακριτά και ξεχωριστά κεφάλαια μελέτης. Η οργάνωση της μελέτης αυτής ακολουθεί:

Το **Κεφάλαιο 1** αποτελεί την εισαγωγική προσέγγιση των κινητήρων στις σύγχρονες μεταφορές. Αναλύεται η ανάγκη περαιτέρω έρευνας στους πετρελαιοκινητήρες, ιδιαίτερα σε μια εποχή όπου η ανάγκη για μεταφορική ικανότητα έχει αυξηθεί σημαντικά. Επειδή οι πετρελαιοκινητήρες δεν αποτελούν την μόνη προσέγγιση, μια απλή αναφορά στην σύγχρονη τεχνολογία των διαφορετικών κινητήρων ακολουθεί. Το εισαγωγικό κομμάτι κλείνει με μια εκτενής αναφορά στην μελέτη με εστίαση στα βασικά σημεία εξέτασης.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται πλήρη περιγραφή της τεχνολογίας των ντιζελοκινητήρων. Η μελέτη αφορά την πλήρη διάκριση αυτών σε τετράχρονους και δίχρονους ντιζελοκινητήρες, ενώ γίνεται αναφορά σε όλες τις φάσεις του κύκλου diesel αυτών. Παράλληλα, μελετάται η ισχύς των πετρελαιοκινητήρων και οι παράγοντες που την επηρεάζουν, ενώ παρουσιάζονται και τα διαγράμματα εξάρτησης ισχύος από παραμέτρους λειτουργίας. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην τεχνολογία υπερπλήρωσης σε κινητήρες τέτοιου τύπου. Ειδικά θέματα που αφορούν τέτοιου τύπου κινητήρες, όπως είναι η διαδικασία της καύσης, η λίπανση και η ψύξη επίσης αναλύονται σε βάθος.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται η διάκριση των χερσαίων χρήσεων ανάλογα με το μέγεθος. Έτσι, μελετάται η επίδραση που έχουν οι πετρελαιοκινητήρες τόσο στα ελαφρού τύπου οχήματα, όσο και στα βαρέα οχήματα. Η χρήση στα φορτηγά μελετάται ξεχωριστά. Η οικονομική εξάρτηση με το μέγεθος ακολουθεί. Παράλληλα μελετάται ο συνδυασμός των κινητήρων αυτών με άλλες τεχνολογίες, με σκοπό μια πιο υβριδική προσέγγιση των οχημάτων και γενικά των χερσαίων μεταφορών. Στο πλαίσιο αυτό μελετάται και το οικονομικό όφελος από την παρουσία του πετρελαιοκινητήρα σε συνδυασμό με μια ξεχωριστή τεχνολογία.

Το **Κεφάλαιο 4** αποτελεί την εισαγωγή στην περιβαλλοντική προσέγγιση των κινητήρων. Στην εποχή μας γίνεται πολύς λόγος για ένα κοινωνικό περιβάλλον με γνώμονα το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνει ειδική αναφορά στους

ρύπτους που εκπέμπονται από τους κινητήρες αυτούς, αφού αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ρύπων για την ατμόσφαιρα. Στο πλαίσιο αυτό και στο πρώτο από τα δύο κεφάλαια για την περιβαλλοντική μελέτη, γίνεται αναφορά στους ρύπτους που εκπέμπονται, σε συνδυασμό με τα όρια λειτουργίας που έχουν οριστεί από διάφορους φορείς.

Στο **Κεφάλαιο 5** όπου αναφέρεται στην **Αντιρρυπαντική τεχνολογία σε πετρελαιοκινητήρες** γίνεται αναφορά και σύγκριση σε όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες αντιρρύπανσης, τόσο από την μεριά του καυσίμου πριν την καύση όσο και κατά την διαδικασία της καύσης με την επανακυκλοφορία των καυσαερίων αλλά και με την παρουσία καταλυτικών διεργασιών. Το κεφάλαιο αυτό είναι άμεσα συνυφασμένο με το κεφάλαιο 4, όπου αναφέρθηκε το πρόβλημα της ρύπανσης από τους πετρελαιοκινητήρες.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων. Αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης, όπου εστιάζεται κυρίως στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακολουθεί τέλος η μελλοντική έρευνα σε άλλα σχετικά θέματα.

Η μελέτη αυτή δεν αποσκοπεί στην απλή παρουσίαση της τεχνολογίας, αλλά εμβαθύνει σε μια κοινωνική προσέγγιση του θέματος των πετρελαιοκινητήρων, μέσω της διείσδυσης αυτών στις χερσαίες μεταφορές. Το ζήτημα της περιβαλλοντικής προσέγγισης αποτελεί σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης μελέτης και για τον λόγο αυτό καταλαμβάνει σημαντικό κομμάτι της έρευνας.

2.ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.) [Ferguson et al,2001] και κατά συνέπεια οι πετρελαιοκινητήρες, που είναι το αντικείμενο μελέτης, αποτελούν την κύρια κατηγορία θερμικών μηχανών. Με τις μηχανές αυτές επιδιώκεται η παραγωγή μηχανικού έργου, αξιοποιώντας την αποταμιευμένη χημική ενέργεια των καύσιμων, με εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά το φαινόμενο της καύσης. Ονομάστηκαν μηχανές «εσωτερικής» καύσης για το λόγο ότι τα προϊόντα της καύσεως του καυσίμου με το οξειδωτικό, που κατά βάση είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, αποτελούν ταυτόχρονα και το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ισχύος, σε αντίθεση με τις μηχανές εξωτερικής καύσης όπου το καύσιμο και το οξειδωτικό δεν έρχονται σε επαφή. Για το λόγο αυτό και χρησιμοποιούνται σε ανοικτό κύκλωμα.

Οι εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. αποτελούν την πιο κοινή μορφή κινητηρίου μηχανής λόγω της απλής τους κατασκευής και της μεγάλης συγκέντρωσης ισχύος τους. Για το λόγο αυτό βρίσκουν εφαρμογή στις μεταφορές (αυτοκίνητα, πλοία, τραίνα, αεροπλάνα χαμηλής ταχύτητας, ελικόπτερα) και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι βασικές φάσεις λειτουργίας μιας Diesel μηχανής [Heywood, 1988, Lilly 1984] είναι η συμπίεση του εργαζόμενου μέσου (αέρας ή αέρας και καύσιμο), που αναρροφάται από τη μηχανή, η καύση του μίγματος όπου παραλαμβάνουμε την θερμική ενέργεια για την μετατροπή της σε μηχανική, η αποτόνωση κατά την οποία παραλαμβάνουμε το κινητήριο έργο και τέλος η φάση απόπλυσης των αερίων, όπου γίνεται η έκπλυση του κυλίνδρου και η εκ νέου πλήρωσή του με εργαζόμενο μέσο. Η διαδικασία αυτή είναι η βασική αρχή της λειτουργίας του κύκλου Diesel. Η λειτουργία αυτή αναλύεται στην συνέχεια με την περιγραφή των δυο ξεχωριστών μεθόδων εφαρμογής της παραπάνω διαδικασίας.

Η μελέτη αυτή αποτελεί το βασικό τμήμα της τεχνικής περιγραφής των πετρελαιοκινητήρων Diesel. Το τμήμα αυτό αποτελεί την βάση για την κατανόηση της λειτουργίας αυτής καθώς και των επιδράσεων που έχει το κάθε τμήμα στην συνολική απόδοση.

2.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ-ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΙ-ΔΙΧΡΟΝΟΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ως προς την εξωτερική λειτουργία τους οι εμβολοφόροι κινητήρες και κατά συνέπεια και οι κινητήρες Diesel διακρίνονται σε τετράχρονους (4-Χ) και δίχρονους (2-Χ)[Taylor,1985]. Ο κύκλος λειτουργίας και των δυο τύπων κινητήρα μοιάζει αρκετά αλλά διαφοροποιείται στον χρόνο εκτέλεσης του κάθε βήματος. Για τους 4-χρόνους κινητήρες η διαδικασία περιγράφεται ακολούθως.

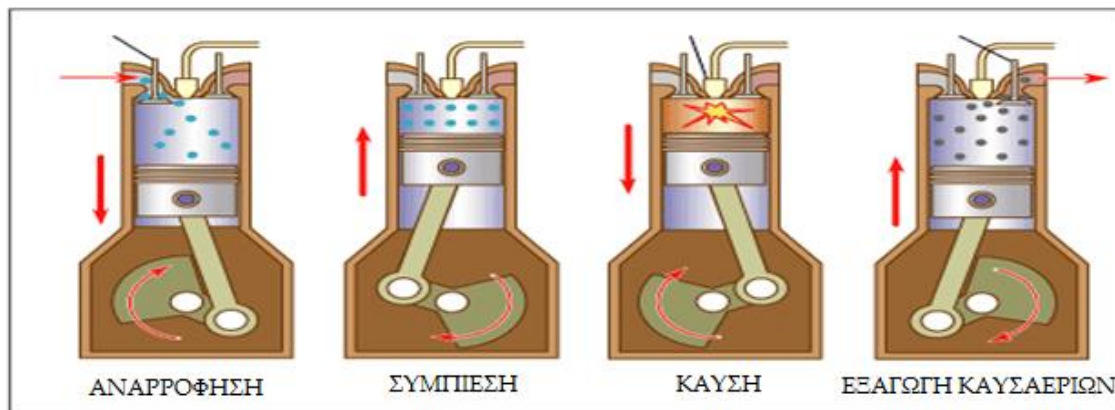
Στους τετράχρονους κινητήρες μια περίοδος λειτουργίας διαρκεί δυο πλήρεις περιστροφές ή 720 μοίρες της στροφαλοφόρου ατράκτου, δηλαδή περιλαμβάνει 4 πλήρεις διαδρομές εμβόλου (ή χρόνους), εκ των οποίων οι δυο (πρώτη και τέταρτη) είναι αφιερωμένες στην εναλλαγή των αερίων, που έτσι διεξάγεται με σχετική άνεση και μάλιστα υπό τον άμεσο έλεγχο της δράσης του εμβόλου. Την πλήρωση ή εκκένωση του κυλίνδρου καθώς και την έναρξη της καύσεως ρυθμίζουν ειδικά όργανα διανομής, που λαμβάνουν κίνηση από την εκκεντροφόρο άτρακτο, η οποία κινείται από την στροφαλοφόρο άτρακτο με το μισό της ταχύτητας της. Πιο αναλυτικά τα διάφορα στάδια της περιόδου αναφέρονται [Λαζάρου κ.α. ,2000]:

(Α)-Αναρρόφηση: Ο στροφαλοφόρος άξονας περιστρέφεται δεξιόστροφα και το έμβολο κινείται καθοδικά εντός του κυλίνδρου, ενώ παράλληλα εισέρχεται ο αέρας του μίγματος εντός του κυλίνδρου.

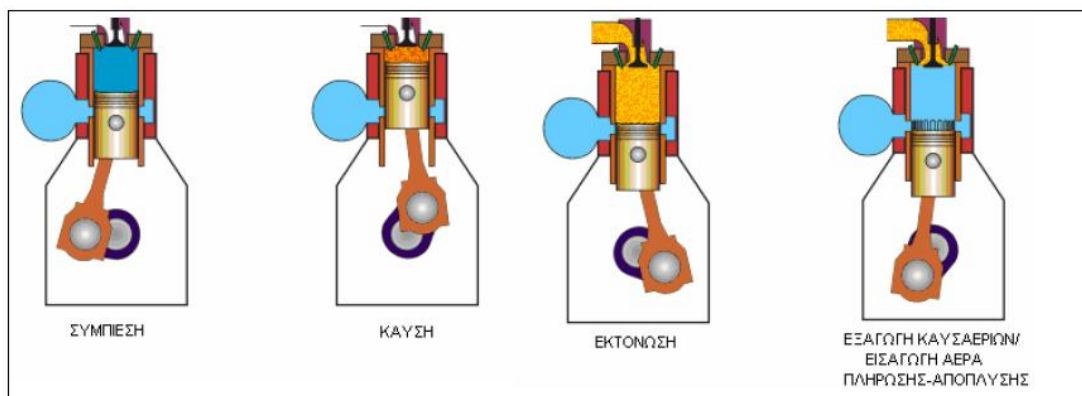
(Β)-Συμπίεση: Μόλις ο στροφαλοφόρος άξονας φτάσει στο Άνω Νεκρό Σημείο, συμπιέζοντας την ποσότητα αέρα που εισέρχεται από τις θυρίδες αέρα εισαγωγής, αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής. Όταν πλησιάζει το έμβολο στην κορυφή του κυλίνδρου, στο λεγόμενο Άνω Νεκρό Σημείο(ή ΑΝΣ), η πίεση έχει αυξηθεί αρκετά, και είναι κατάλληλη για την εισαγωγή του καυσίμου.

(Γ)-Έγχυση καυσίμου και καύση: Το καύσιμο εισέρχεται στο αέριο με την υψηλή πίεση. Όταν η ποσότητα του μίγματος είναι η κατάλληλη και δημιουργηθούν οι απαιτούμενες θερμοδυναμικές συνθήκες, ώστε να αρχίσει η έναυση του μίγματος, αρχίζει το φαινόμενο της καύσης. Λόγω της καύσης αυξάνεται η πίεση και αποδίδεται στο έμβολο στη φάση της εκτόνωσης ως έργο. Ταυτόχρονα ξεκίνα και η διαδικασία της αποτόνωσης για την απόδοση του παραγόμενου έργου με την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα προς τα κάτω.

(Δ)-Εξαγωγή καυσαερίων/Εισαγωγή αέρα καθαρισμού: Στη συνέχεια, μετά από τη πάροδο ορισμένων μοιρών αποκαλύπτονται οι θυρίδες του αέρα εξαγωγής. Η διαδικασία αυτή λέγεται “απόπλυση” και οδηγεί στην εξαγωγή των καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης, ώστε να εισέρθει νέος αέρας και η διαδικασία να ξεκινήσει από την αρχή. Το ακόλουθο σχήμα αναλύει ακριβώς τα στάδια που αναφέρθηκαν για τους 4-χρόνους diesel κινητήρες.(Σχήμα 2.1)



Σχήμα 2.1: Διαδικασία 4-Χ κινητήρα [2]



Σχήμα 2.2: Διαδικασία 2-Χ κινητήρα [2]

Στους δίχρονους κινητήρες (Σχήμα 2.2) μια περίοδος λειτουργίας διαρκεί μια περιστροφή ή 360 μοίρες, δηλαδή περιλαμβάνει 2 διαδρομές εμβόλου εκ των οποίων μονό $2 \times 1/4 = 1/2$ είναι αφιερωμένες στην εναλλαγή των αερίων. Πιο αναλυτικά τα τέσσερα στάδια της διαδικασίας ακολουθούν [Σιδέρης ,2003]:

(Α)-Συμπίεση: Ο στροφαλοφόρος άξονας περιστρέφεται δεξιόστροφα και το έμβολο κινείται ανοδικά εντός κυλίνδρου, συμπιέζοντας την ποσότητα αέρα που εισέρχεται από τις θυρίδες αέρα εισαγωγής. Λόγω του γεγονότος αυτού αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής. Όταν πλησιάζει το έμβολο στην κορυφή του κυλίνδρου, η πίεση και η θερμοκρασία έχουν αυξηθεί αρκετά.

(Β)-Εγχυση καυσίμου και καύση: Λίγο πριν από το Άνω Νεκρό Σημείο το καύσιμο εγχέεται στον κύλινδρο από τον εγχυτήρα. Το καύσιμο «ψεκάζεται» υπό μορφή μικροσκοπικών σταγονιδίων. Με τον τρόπο αυτό το καύσιμο θερμαίνεται δια συναγωγής από τον θερμό αέρα πολύ γρήγορα, ενώ επιτυγχάνεται με τον ψεκασμό και ο διασκορπισμός του καυσίμου σε όλο τον θάλαμο καύσης, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η ατμοποίηση και ανάμειξή του με τον αέρα.

(Γ)-Εκτόνωση (Φάση παραγωγής έργου από τον κινητήρα): Σε ορισμένη θέση μετά από το ΑΝΣ (110° περίπου) οι θυρίδες καυσαερίων αποκαλύπτονται από το έμβολο και αρχίζει η διαφυγή των καυσαερίων (αποτελούμενα κυρίως από άζωτο, διοξείδιο του

άνθρακα, υδρατμούς και άκαυστο οξυγόνο) από τον κύλινδρο προς τον οχετό εξαγωγής.

(Δ)-Εξαγωγή καυσαερίων/Εισαγωγή αέρα καθαρισμού: Στη συνέχεια, μετά από τη πάροδο ορισμένων μοιρών (140° από το ΑΝΣ περίπου), αποκαλύπτονται οι θυρίδες του αέρα εισαγωγής. Οι θυρίδες αυτές αποκαλύπτονται μετά από το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής καυσαερίων (ή των θυρίδων εξαγωγής) όταν η πίεση εντός του κυλίνδρου μειωθεί στα επίπεδα της πίεσης αέρα στον οχετό εισαγωγής, ώστε να είναι δυνατή η διαφυγή των καυσαερίων προς τον οχετό εξαγωγής. Η διαδικασία αυτή λέγεται «απόπλυση».

Στη συνέχεια το έμβολο αρχίζει και πάλι υπό την επίδραση του στροφαλοφόρου άξονα την ανοδική του πορεία κλείνοντας σταδιακά και πάλι τις θυρίδες αέρα εισαγωγής. Ακολούθως κλείνει η βαλβίδα (ή θυρίδα) εξαγωγής καυσαερίου, ολοκληρώνοντας έτσι ένα κύκλο λειτουργίας και ξεκινώντας τη νέα συμπίεση.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι ένας κύκλος ενός δίχρονου κινητήρα ολοκληρώνεται σε 360° περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα σε αντίθεση με τον κύκλο ενός τετράχρονου που απαιτεί 720° μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Αυτό σημαίνει θεωρητικά ότι ένας δίχρονος κινητήρας θα πρέπει να παρέχει διπλάσια ισχύ από αυτή που παρέχει ένας τετράχρονος με τον ίδιο όγκο εμβολισμού. Όμως πρακτικά η διαφορά αυτή είναι μικρότερη, καθώς ένα σημαντικό μέρος του όγκου εμβολισμού διατίθεται για την απόπλυση. Είναι μια διαδικασία που λαμβάνει στους πετρελαιοκινητήρες και αναλύεται στην συνέχεια.

Απόπλυση [Καραπάνος,1999] είναι η διαδικασία κατά την οποία αέρας υπό πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής χρησιμοποιείται για να απομακρύνει τα καυσαέρια έξω από τον κύλινδρο μιας μηχανής. Αντίθετα προς την τετράχρονη μηχανή, η δίχρονη μηχανή δεν χρησιμοποιεί το έμβολο για να απομακρύνει τα καυσαέρια από τον κύλινδρο, αλλά εισάγει αέρα στον κύλινδρο κοντά στο ΚΝΣ του κύκλου λειτουργίας (αέρας σάρωσης), ο οποίος πραγματοποιεί την απόπλυση των καυσαερίων από τον κύλινδρο.

Υπάρχουν διαφορετικές διατάξεις αποπλύσεως δίχρονων κινητήρων [17] καθώς και οι διαδρομές αποπλύσεως που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες. Όλες οι μέθοδοι απόπλυσης που χρησιμοποιούνται στους δίχρονους εμβολοφόρους κινητήρες έχουν ως στόχο τη μείωση του χρόνου καθαρισμού του θαλάμου καύσης από τα καυσαέρια, αφήνοντας την ελάχιστη δυνατή ποσότητα καυσαερίων εγκλωβισμένων στο θάλαμο καύσεως μετά την έναρξη του νέου κύκλου λειτουργίας. Η απόπλυση που λαμβάνει χώρα σε δίχρονους κινητήρες που διαθέτουν βαλβίδα (ή βαλβίδες) εξαγωγής καυσαερίου επί της κυλινδροκεφαλής τους, ονομάζεται διαμήκης απόπλυση, λόγω της διαδρομής του αέρα σάρωσης εντός του κυλίνδρου. Ωστόσο άλλοι δίχρονοι κινητήρες δε διαθέτουν βαλβίδες, αλλά θυρίδες εξαγωγής καυσαερίων κατά αντιστοιχία με τις θυρίδες εισαγωγής. Καθώς το έμβολο ξεκινά να αποκαλύπτει τις θυρίδες εξαγωγής κατά τη φάση της εκτόνωσης, το καυσαέριο ξεκινά να απομακρύνεται από τον κύλινδρο. Όταν δε αποκαλύπτονται οι θυρίδες εισαγωγής, σχηματίζονται «βρόγχοι» αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου που οδηγούν το καυσαέριο έξω από αυτόν. Η διαδικασία απόπλυσης αυτή ονομάζεται βρογχοειδής απόπλυση.

Η εναλλαγή των αερίων διεξάγεται πάντοτε υπό δυσμενείς συνθήκες, καθώς ο χρόνος που είναι διαθέσιμος για αυτή τη διαδικασία είναι πολύ μικρότερος του αντίστοιχου χρόνου των τετράχρονων κινητήρων. Πολλές σκέψεις αναπτύχθηκαν για

να παρέχουν μια καλύτερη αποβολή των καυσαερίων, έτσι ώστε να αποβάλλεται όσο το δυνατό λιγότερος άκαυστος αέρας (όπως παραδείγματος χάριν η θεωρία "nosepiston"). Παρά τις προσπάθειες αυτές, ο βαθμός πλήρωσης του δίχρονου κινητήρα παραμένει πάντα χειρότερος από ότι του τετράχρονου, καθώς ο δίχρονος κινητήρας χάνει σημαντικό ποσοστό από τον αέρα εισαγωγής λόγω της "επικάλυψης" των χρόνων των θυρίδων εισαγωγής και των θυρίδων(ή βαλβίδων) εξαγωγής των καυσαερίων.

2.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

Σε αντίθεση με άλλους τύπους κινητήρων, η ρύθμιση του κινητήρα Diesel είναι ποιοτική. Δηλαδή η αυξομείωση του έργου και της ήσυχος επιτυγχάνεται δια της μεταβολής της ποιότητας του μίγματος, ενώ η ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα και επομένως του μίγματος περιμένει πρακτικώς ίδια για όλα τα φορτία, εφόσον τηρείται σταθερή η ταχύτητα περιστροφής. Σημειώνεται ότι σε αντίθεση με τον κινητήρα Otto δεν απαιτείται ορισμένη σχέση μαζών αέρα-καυσίμου, διότι υπάρχει έναυση σε όσες θέσεις το μείγμα είναι μέσα στην περιοχή της αναφλεξιμότητας και δεν είναι ανάγκη να υπάρχει διάδοση της φλόγας.

Επίσης, στον κινητήρα Diesel το μέγιστο φορτίο τίθεται συνήθως από την καύση, δηλαδή αντιστοιχεί στο φορτίο πέραν του οποίου αρχίζουμε να έχουμε απαράδεκτο πλέον του ελαφρού καπνό στην εξαγωγή.

Η ικανοποιητική λειτουργία του κινητήρα Diesel εξαρτάται από τον κατάλληλο έλεγχο της εγχύσεως καυσίμου και της κινήσεως του αέρα στον θάλαμο καύσεως [Ρακόπουλος,1998]. Ιδανικά είναι επιθυμητή μια καλή ποιότητα εγχύσεως του καυσίμου και ένα υψηλό επίπεδο κινήσεως του αέρα στον κύλινδρο, με σκοπό την τελειότητα του σχηματιζόμενου μίγματος καυσίμου-αέρα στον κύλινδρο. Η λύση της καλής ποιότητας εγχύσεως του καυσίμου επιτυγχάνεται με ακροφύσια πολλών οπών υπό υψηλή διαφορά πίεσης εγχύσεως που εξαιτίας του προς τα κάτω περιορισμού του μεγέθους των οπών, περιορίζεται στους μεσαίου και μεγάλου μεγέθους κινητήρες.

Ο **ενιαίος θάλαμος καύσης**, με άμεση έγχυση του καυσίμου, χρησιμοποιείται στους κινητήρες μεγάλων και μεσαίων διαστάσεων, που είναι και μικρής ή μέσης ταχύτητας περιστροφής και σχηματίζεται μεταξύ της άνω επιφάνειας του εμβόλου και της κάτω επιφάνειας του καλύμματος του κυλίνδρου. Την κυριότερη συμβολή στο σχηματισμό του μίγματος και γενικότερα την όλη εξέλιξη της καύσεως έχει πάντοτε η ποιότητα εγχύσεως του καυσίμου. Έτσι έχουμε εγχυτήρες με περισσότερες μικρές οπές και υψηλή πίεση εγχύσεως, που παρέχουν δέσμες καυσίμου οι όποιες μπορούν να φέρουν το καύσιμο σε κάθε θέση του θαλάμου καύσεως και να το διανείμουν κατά το δυνατό ομοιόμορφα εντός αυτού Σε αυτό βοηθά και κάθε μέσο που προάγει την ένταση των στροβιλοειδών κινήσεων του αέρα κατά την απορρόφηση ή κατά την συμπίεση. Τέτοια μέσα είναι η διαμόρφωση της άνω επιφάνειας του εμβόλου και γενικότερα των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσεως.

Παραλλαγή του θαλάμου αυτού αποτελεί το σύστημα **θαλάμου καύσεως 'M'**. Ο θάλαμος καύσεως διαμορφώνεται σαν βαθιά σφαιρική κοιλότητα στο έμβολο και από αυτό προσπίπτει σε υγρή μορφή το καύσιμο, του οποίου τα παραγόμενα λεπτά

στρώματα ατμού παρεμβάλλονται διαδοχικά από τον άνωθεν αυτού κινούμενο αέρα για τον σχηματισμό του μείγματος.

Ο **διμερής θάλαμος καύσης**, [Χουντάλας,2005] με έμμεση έγχυση του καυσίμου, που προσιδιάζει τους κινητήρες μικρών διαστάσεων, που είναι και υψηλής ταχύτητας περιστροφής, υποδιαιρείται σε δυο τμήματα, που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μιας στενής διόδου. Ο κύριος θάλαμος σχηματίζεται κανονικά μεταξύ ενός εμβόλου και του αντιστοίχου καλύμματος κυλίνδρου, ο δε δευτερεύων λαμβάνει μορφή ιδιαίτερου θύλακα διαμορφωμένου εντός του καλύμματος.

Η διαμόρφωση του διμερούς θαλάμου καύσεως καθίστα την κατασκευή του καλύμματος του κυλίνδρου σχετικά δυσχερή και δαπανηρή. Επίσης η εντός του θαλάμου καύσεως ανάπτυξη έντονης εξαναγκασμένης ροής του αέρα έχει δυο δυσμενείς συνέπειες:

- a) Προσθέτει κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη της ροής αυτής και
- b) Αυξημένη ψυκτική δράση των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσεως και επομένως αυξημένη απώλεια θερμότητας, ταυτοχρόνως δε και δυσχερείς θερμοκρασιακές συνθήκες στον κύλινδρο κατά την εκκίνηση.

Ως συνέπεια ο διμερής θάλαμος καύσεως εμφανίζει πάντα σχετικά αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου και έχει ανάγκη μεγαλύτερου βαθμού συμπίεσεως καθώς και βοηθητικών μέσων εκκινήσεως. Όμως με τους διμερής θαλάμους επιτυγχάνεται σημαντική, προς τα άνω, μετατόπιση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα καθώς και αύξηση της συγκεντρώσεως ισχύος, λόγω της δυνατότητας επιτυχούς καύσεως με μικρότερη περίσσεια αέρα καύσεως. Για τον τύπο των θαλάμων καύσης γίνεται εκτενής αναφορά στην συνέχεια.

2.4 ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στην υπερπλήρωση των μηχανών εσωτερικής καύσης, δεδομένου ότι η μέθοδος αυτή είναι η πλέον διαδεδομένη στους συγχρόνους πετρελαιοκινητήρες. Η υπερπλήρωση [20] είναι μέθοδος αύξησης της ισχύος ενός κινητήρα και συνίσταται στην αντικατάσταση της «φυσικής αναπνοής» (αμέσου αναρροφήσεως αέρος από το περιβάλλον) του κινητήρα από εξαναγκασμένη πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα υπό πίεση που παρέχεται από συμπιεστή. Στη περίπτωση των δίχρονων κινητήρων, η υπερπλήρωση συμβάλει στην αύξηση της πίεσεως του αέρα αποπλύσεως πάνω από το όριο της απλής απόπλυσης, δηλαδή της απόπλυσης λόγω «φυσικής αναπνοής». Ακολούθως εξηγούνται οι λόγοι που οδήγησαν στην υιοθέτηση της υπερπλήρωσης, ως μέσου αυξήσεως της ισχύος ενός κινητήρα.

Είναι γνωστό ότι προκειμένου να αυξηθεί η πραγματική ισχύς ενός κινητήρα υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

- Ø Αύξηση της παροχής αέρα αναρροφήσεως του κινητήρα.
- Ø Αύξηση της μέσης πραγματικής πίεσης.

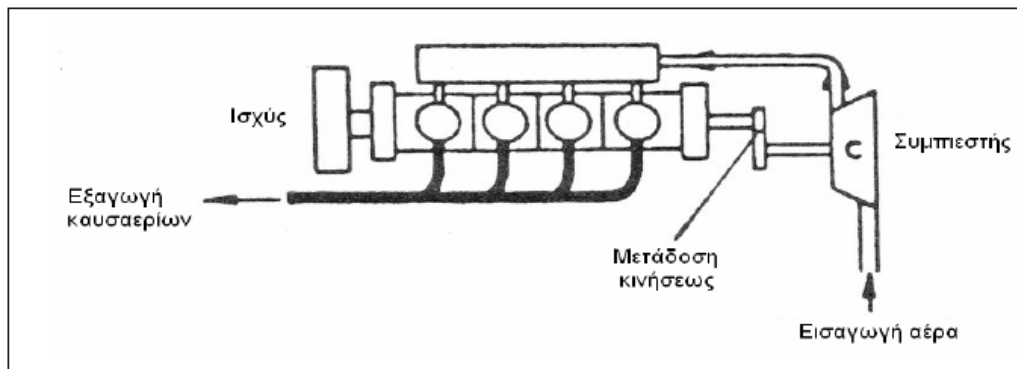
Η πρώτη δυνατότητα (αύξηση της παροχής αέρα αναρροφήσεως του κινητήρα), μπορεί να επιτευχθεί είτε με επιλογή δίχρονου κινητήρα, είτε αυξάνοντας τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής προσφέρει περιορισμένες δυνατότητες καθώς η αύξηση της πάνω από ένα όριο, άρα και της μέσης ταχύτητας κινήσεως του εμβόλου, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μηχανικού βαθμού απόδοσης του κινητήρα λόγω της αύξησης των μηχανικών απωλειών λόγω τριβών του κύριου κινηματικού μηχανισμού. Επίσης, αυξάνονται οι καταπονήσεις του συνολικού κινηματικού μηχανισμού, λόγω παλινδρομικών και περιστρεφόμενων δυνάμεων με συνέπεια τον κίνδυνο αντοχής του κινητήρα. Επιπλέον, αρνητικές επιπτώσεις παρατηρούνται και στον βαθμό πληρώσεως καθώς πέρα από κάποιο όριο ταχύτητας περιστροφής παρατηρείται σημαντική μείωση του.

Με βάση τα προηγούμενα στοιχεία εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αύξηση της μέσης πραγματικής πίεσης απομένει ως το κύριο μέσο αύξησεως της ισχύος ενός κινητήρα, με σταθερά τα υπόλοιπα στοιχεία (διαστάσεις κυλίνδρων, ταχύτητα περιστροφής) που επηρεάζουν την ισχύ του κινητήρα. Για να αυξηθεί η πίεση αυτή, απαιτείται η πρόσδοση περισσότερης ενέργειας μέσω του καυσίμου, δηλαδή καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου ανά κύκλο λειτουργίας, κάτι που όμως με τη σειρά του προϋποθέτει ανάλογη αύξηση της μάζας του αέρα με τον οποίο πληρώνεται κάθε φορά ο κύλινδρος. Έτσι με την αύξηση της πίεσης οδηγεί στην καύση μεγαλύτερης ποσότητας μείγματος και κατά συνέπεια την αύξηση της ισχύος. Σημειώνεται εδώ ότι ο βασικός σκοπός της υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της ισχύος ενός κινητήρα και δευτερεύοντος η βελτίωση του βαθμού αποδόσεως αυτού. Παρ' όλα αυτά, έχει διαπιστωθεί στη πράξη, ότι ο βαθμός αποδόσεως παρουσιάζει αύξηση.

Τα υπάρχοντα συστήματα υπερπληρώσεως [Γιακουμής ,2006] είναι τα ακόλουθα:

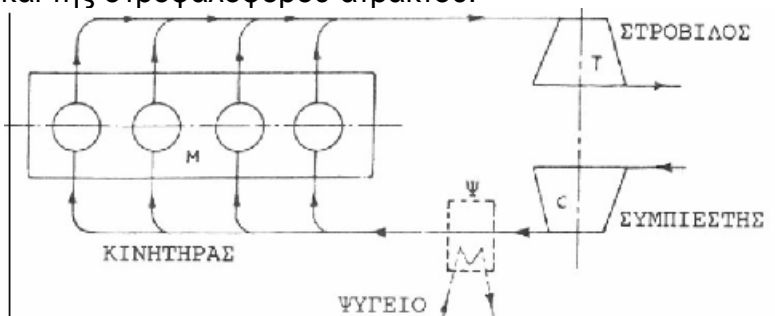
A) Μηχανική υπερπλήρωση: Ο συμπιεστής πληρώσεως (οπού αυξάνει την πίεση του μείγματος) παίρνει κίνηση από τη στροφαλοφόρο άτρακτο του κινητήρα απορροφώντας όμως με τον τρόπο αυτό πολύτιμο μηχανικό έργο. Μια τέτοια διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 2.3.

B) Στρόβιλο-υπερπλήρωση: Σήμερα βρίσκεται σε γενική σχεδόν χρήση το σύστημα με υπερπλήρωση μέσω του καυσαερίου ή υπερπλήρωση **με ζεύγος** στροβίλου-συμπιεστή ή απλά στρόβιλο-υπερπλήρωση, κατά τη διάταξη του Σχήματος 2.4 όπου ο συμπιεστής C κινείται από ένα στρόβιλο T, που παράγει ισχύ εκμεταλλευόμενος τα υψηλά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των καυσαερίων στην έξοδο από τους κυλίνδρους. Τονίζεται ότι το ζεύγος (σε κοινή άτρακτο) υπερπληρώσεως (C-T), δεν έχει καμία μηχανική σύνδεση με τον κινητήρα M.



Σχήμα 2.3: Μηχανική υπερπλήρωση

Εκτός των συστημάτων απλής στρόβιλο-υπερπλήρωσης, υφίστανται και συστήματα σύνθετης στρόβιλο-υπερπλήρωσης (compound), το χαρακτηριστικό των οποίων είναι η ύπαρξη κάποιας μηχανικής συνδέσεως και μεταφοράς ισχύος μεταξύ του στρόβιλου και της στροφαλοφόρου ατράκτου.



Σχήμα 2.4: Στρόβιλο-υπερπλήρωση

2.5 ΨΥΞΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Εκτός από τις βασικές λειτουργίες στην διαδικασία του κινητήρα, οι δευτερεύουσες λειτουργίες είναι εξίσου σημαντικές. Για το λόγο αυτό γίνεται εκτενής μελέτη στην επίδραση της τριβής στα διάφορα μέρη του κινητήρα [Δανιήλ], εξετάζοντας τα ζητήματα της ψύξης του κινητήρα, όσο και της λίπανσης των διαφορετικών μερών αυτού.

Υπάρχουν τρεις λόγοι για την ψύξη των κινητήρων:

- § Για να προάγει μια υψηλή ογκομετρική ικανότητα.
- § Για να εξασφαλίσει κατάλληλη καύση.
- § Για να εξασφαλίσει την καλή λειτουργία του κινητήρα και την αξιοπιστία του.

Όσο πιο “κρύες” είναι οι επιφάνειες του θαλάμου καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του αέρα που μπορεί να παγιδευτεί στον κύλινδρο, άρα και η μάζα του καυσίμου που μπορεί να καεί (δηλαδή ο ογκομετρικός β.α., ή βαθμός πλήρωσης). Κατά συνέπεια με την περίσσεια του αέρα στον θάλαμο καύσης, αυξάνεται και η ισχύς απόδοσης του κινητήρα.

Από την άλλη πλευρά, η υπερθέρμανση στον κινητήρα, οδηγεί σε αρνητική απόδοση στην παραγόμενη ισχύ. Υπάρχουν 3 τρόποι με τους οποίους η υπερθέρμανση μπορεί να έχει επιπτώσεις στη μηχανική απόδοση ενός κινητήρα.

1. Αρχικά η υπερθέρμανση μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ισχύος. Για παράδειγμα, κράματα αλουμινίου μαλακώνουν σε θερμοκρασίες πάνω από 200° C, και οι αύλακες των ελατηρίων εμβόλου μπορούν να παραμορφωθούν λόγω ερπυσμού. Επιπλέον, εάν η αυτανάφλεξη είναι αρκετά σφοδρή, τότε το έμβολο μπορεί να διαβρωθεί στις περιοχές κορυφής και "πάτου". Αυτές είναι συνήθως οι πιο θερμές περιοχές του εμβόλου και άρα συμπίπτουν με την περιοχή όπου η αυτανάφλεξη εμφανίζεται πολύ συχνά.

2. Η μέγιστη θερμοκρασία στους αύλακες ελατηρίων εμβόλου πρέπει να περιορίζεται στους 200° C περίπου. Πάνω από αυτή τη θερμοκρασία τα λιπαντικά μπορούν να υποβαθμιστούν ποιοτικά, οδηγώντας και σε απώλεια λίπανσης.

3. Τέλος η βλάβη μπορεί να προέλθει από θερμική φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν συνέπεια την αύξηση πιθανότητας βλάβης της όλης εγκατάστασης, λόγω των τεχνικών ορίων που τίθεται σε αυτή.

2.5.1 Ψύξη σε Κινητήρες Diesel

Η συμπεριφορά της μεθόδου ψύξης [Φούντη,2005] είναι διαφορετική ανάλογα με τον τύπο πετρελαιοκινητήρα που χρησιμοποιείται. Η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο είναι υψηλότερη στους κινητήρες έμμεσης έγχυσης (IDI) απ' ό τι στους κινητήρες άμεσης έγχυσης (DI). Οι κινητήρες Diesel άμεσης έγχυσης έχουν συχνά ελαιοψυκτήρα, ο οποίος χρησιμοποιεί το ψυκτικό μέσο του κινητήρα ως ένα μέσο ψύξης, συνεπώς η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο περιλαμβάνει συνήθως τη θερμότητα που αφαιρείται από το λιπαντικό. Οι κινητήρες έμμεσης έγχυσης περιορίζονται συνήθως σε μικρότερη απόδοση ισχύος (π.χ. οχήματα), για την οποία δεν υπάρχει ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ελαιοψυκτήρας.

Η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο εκφράζεται συχνά ως συνάρτηση του ποσοστού ροής καυσίμου. Μια εμπειρική προσέγγιση γίνεται από μελέτη ενός μονοκύλινδρου κινητήρα. Είναι:

$$QC \sim (mf)^{0,64} \quad (2.1)$$

όπου QC είναι η ροή ενέργειας στο ψυκτικό μέσο
mf είναι η παροχή καυσίμου

Εντούτοις, μέσα στα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη αυτής της συσχέτισης, υπάρχουν πρόσθετες συνιστώσες:

- η σταθερά της αναλογικότητας αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας και τη μείωση της υπερπίεσης.
- η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο ήταν πάντα μεταξύ 18 και 34% της ενέργειας καυσίμου, με το υψηλότερο ποσοστό απόρριψης θερμότητας να εμφανίζεται με μηδενικό φορτίο.

Επίσης πρέπει να τονιστεί για την απορριπτόμενη θερμότητα στο ψυκτικό μέσο για τους κινητήρες άμεσης και έμμεσης έγχυσης, ότι αποτελεί συνάρτηση της μέσης ταχύτητας του εμβόλου (σE).

2.5.2 Σύγκριση ψύξης με αέρα έναντι ψύξης με νερό

Το πλεονέκτημα του νερού ως ψυκτικό μέσο έγκειται στην σημαντικά μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα του έναντι του αέρα. Στην πράξη αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να αντισταθμιστεί με τη χρήση αέρα σε πολύ υψηλότερη ταχύτητα και χαμηλότερη θερμοκρασία απ' ό,τι στο συνηθισμένο υδρόψυκτο σύστημα, μαζί με τη προσθήκη πτερυγίων ώστε να αυξηθεί η περιοχή της εξωτερικής επιφάνειας των κυλίνδρων.

Χαρακτηριστικά, η περιοχή με πτερύγια ενός αερόψυκτου κυλίνδρου είναι από 10 μέχρι 125 φορές μεγαλύτερη από την περιοχή ενός κυλίνδρου χωρίς πτερύγια, και οι ταχύτητες του αέρα που χρησιμοποιείται είναι 4 έως 8 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες ταχύτητες του νερού. Οι μικρότεροι από αυτούς τους αριθμούς αντιστοιχούν σε μικρούς κινητήρες χαμηλής απόδοσης, ενώ οι μεγαλύτεροι ισχύουν για αεροσκάφη και στρατιωτικούς κινητήρες υψηλής απόδοσης. Ένας άλλος παράγοντας που αντισταθμίζει το θεμελιώδες πλεονέκτημα του νερού ως ψυκτικού μέσου είναι ότι ο αέρας είναι σπάνια θερμότερος από 40ο C, ενώ με την υδρόψυκτη η συνηθισμένη μέση θερμοκρασία είναι 70-85ο C. Εντούτοις, με τη συγκρίσιμη ποιότητα του σχεδιασμού, οι αερόψυκτοι κύλινδροι παρουσιάζουν γενικά υψηλότερες θερμοκρασίες στις κρίσιμες περιοχές (βαλβίδες εξαγωγής, έδρες των βαλβίδων, αυλοί εξαγωγής και μπουζί) απ' ό,τι οι υδρόψυκτοι κύλινδροι κάτω από αντίστοιχες συνθήκες.

2.6 ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

2.6.1 Εισαγωγή

Όλο το έργο που μεταφέρεται στο έμβολο από το αέριο που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο δεν είναι διαθέσιμο στην στροφαλοφόρο άτρακτο. Ένα σημαντικό μέρος χάνεται εξαιτίας των τριβών των διαφόρων μηχανικών μερών. Το έργο των τριβών ποικίλει από περίπου 10% στο πλήρες φορτίο έως 100% σε μηδενικό φορτίο, και είναι μεγάλης πρακτικής σπουδαιότητας κατά το σχεδιασμό κινητήρων. Οι απώλειες τριβής έχουν άμεσες επιπτώσεις στη μέγιστη πραγματική ροπή και την ελάχιστη πραγματική κατανάλωση καυσίμου. Συχνά, η διαφορά μεταξύ ενός καλοσχεδιασμένου κινητήρα και ενός μέτρια σχεδιασμένου κινητήρα είναι η διαφορά στις απώλειες τριβής. Ένα μεγάλο μέρος των απωλειών τριβής εμφανίζεται ως θερμότητα στο ψυκτικό μέσο και το λιπαντικό έλαιο, που πρέπει να αφαιρεθεί στο ψυγείο και τον ελαιοψυκτήρα. Κατά συνέπεια, οι απώλειες τριβής επηρεάζουν το μέγεθος των συστημάτων ψύξης.

Το σύστημα λίπανσης [Παπαευαγγέλου,1998] είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει αρκετό λάδι στα μέρη του κινητήρα που απαιτούν λίπανση κατά την κίνηση

τους και λειτουργούν κάτω από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Το λάδι διοχετεύεται με την πίεση της αντλίας στα περισσότερα μέρη του κινητήρα και μειώνει την τριβή και τη φθορά στο ελάχιστο και επίσης αποτρέπει την εμφάνιση υπερθέρμανσης σε ορισμένες περιοχές και θα μπορούσε να οδηγήσει σε φθορά του κινητήρα. Μερικά συστατικά δεν λιπαίνονται με τη βοήθεια της πίεσης αλλά ψεκάζονται από το λιπαντικό. Το λάδι που κυκλοφορεί στο σύστημα λίπανσης επίσης βοηθάει στην ψύξη του κινητήρα. Το λιπαντικό και το σύστημα λίπανσης εκτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες:

1. Μείωση της τριβής αντίστασης της μηχανής στο ελάχιστο για να εξασφαλιστεί μέγιστη μηχανική απόδοση.
2. Προστασία του κινητήρα από τη φθορά.
3. Συμβολή στη ψύξη του εμβόλου.

2.6.2 Λιπαντικά κινητήρων Diesel

Η λίπανση των πετρελαιοκινητήρων [24], σε σύγκριση με τους βενζινοκινητήρες, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη προσοχή και παρουσιάζει περισσότερα προβλήματα, γιατί:

- Τα συνολικά φορτία είναι πολύ μεγαλύτερα, επομένως ασκούνται πιο μεγάλες πιέσεις.
- Οι θερμοκρασίες είναι συνήθως πολύ υψηλότερες, και μάλιστα κυμαινόμενες συχνά σε πλατιά όρια.
- Χρησιμοποιούνται καύσιμα με ολοένα πιο χαμηλή ποιότητα που επιδρούν δυσμενώς στο λιπαντικό.

Για να αντιμετωπισθούν όλες αυτές οι συνθήκες λειτουργίας των πετρελαιομηχανών η τεχνολογία των λιπαντικών έχει φθάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα τελειότητας. Τόσο η παραγωγή των λαδιών όσο και οι αντίστοιχες προδιαγραφές εξασφαλίζουν την ποιότητα εκείνη που χρειάζεται, ώστε η λίπανση να επιτελεί με απόλυτη επιτυχία την τόσο ζωτικής σημασίας αποστολή της, τη διατήρηση δηλαδή του κινητήρα σε καλή κατάσταση και την εν γένει αποδοτική λειτουργία της. Εκτός όμως από τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις ποιότητας που οι αγοραστές των λιπαντικών καθορίζουν, ο ανταγωνισμός μεταξύ των εταιρειών παραγωγής και διαθέσεως των λιπαντικών έχει βελτιώσει πολύ την ποιότητά τους.

Η λίπανση των πετρελαιομηχανών [24] διακρίνεται:

- Στη λίπανση των κυλίνδρων
- Στη λίπανση των τριβέων
-

Τα δύο δίκτυα λιπάνσεως, δηλαδή των κυλίνδρων και των τριβέων, άλλοτε μεν τροφοδοτούνται από κοινή δεξαμενή με τα ίδια λιπαντέλαια και άλλοτε είναι τελείως ανεξάρτητα μεταξύ τους, με χωριστές δεξαμενές, και φυσικά με διαφορετικό είδος λαδιού, ανάλογα με το είδος του κινητήρα. Κοινό δίκτυο λιπάνσεως με ενιαίο τύπο λιπαντικού έχουν οι μηχανές χωρίς ζύγωμα (Trunk piston engines), πράγμα που ισχύει

για ταχύστροφες κατ' εξοχή πετρελαιομηχανές μικρής ισχύος που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές.

3.ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της μελέτης αυτής εστιάζει στην χρήση των κινητήρων Diesel στις χερσαίες μεταφορές. Η χρήση όμως των κινητήρων αυτών δεν περιορίζεται σε αυτόν τον τομέα. Μεγάλο εύρος στην αγορά των κινητήρων για τις θαλασσιές και της αεροπορικές μεταφορές καλύπτεται από τους κινητήρες Diesel. Ειδικά για τις θαλασσιές μεταφορές αποτελεί την κυρίαρχη λύση. Επιπλέον, η χρήση των κινητήρων Diesel είναι έντονη σε στρατιωτικές εφαρμογές. Τα στρατιωτικά οχήματα εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα των μηχανών αυτών για καλύτερη προσαρμογή σε διαφορετικές καταστάσεις.

Εκτός όμως από τις μεταφορές, οι κινητήρες Diesel είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την παραγωγή της ενέργειας. Πολλές κατηγορίες και μεγέθους γεννητριών τροφοδοτούνται από αυτό τον τύπο. Όλοι αυτοί οι κλάδοι χρήζουν ιδιαίτερης ανάλυσης, εξαιτίας των λεπτομερειών που εμφανίζουν. Στο παρόν μελετάται η χρήση στις χερσαίες μεταφορές με έμφαση στην εμπορική διείσδυση των κινητήρων. Το τεχνικό κομμάτι δεν αναπτύσσεται, αφού οι βασικές αρχές λειτουργίας των μηχανών περιγράφηκαν στο Κεφαλαίο 2. Η ανάπτυξη του παρόντος γίνεται με σειρά μεγέθους. Αρχικά αναλύεται η αγορά των δίκυκλων, όπου η χρήση Diesel μηχανών είναι περιορισμένη ενώ ακολουθούν τα “ελαφρού” τύπου οχήματα που αποτελεί και το πιο σημαντικό κομμάτι έρευνας και ανάπτυξης στην σύγχρονη εποχή. Κατόπιν τα φορτηγά (heavy duty) Diesel, ενώ καταλήγει με την συνολική ανάπτυξη των κινητήρων αυτών στις σιδηροδρομικές μεταφορές.

3.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΕ ΔΙΚΥΚΛΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Με παραδοσιακά κακή αναλογία ισχύος προς βάρος, οι περισσότεροι κινητήρες ντίζελ χαρακτηρίζονται γενικά ως ακατάλληλοι για χρήση στις μοτοσικλέτες, που απαιτούν συνήθως χαμηλό βάρος, συμπαγείς διαστάσεις, υψηλές στροφές και γρήγορη επιτάχυνση. Η ανάπτυξη των πετρελαιοκινητήρων σε δίκυκλα επομένως ήταν απόρροια εξωγενών παραγόντων (στρατιωτική τεχνολογία-1980), Αερόψυκτοι, μονοκύλινδροι κινητήρες που κατασκευάζονται από την Lombardini χρησιμοποιήθηκαν και είχαν κάποια επιτυχία ως προς το επιθυμητό αποτέλεσμα.[McGuigan,2001] Επετεύχθησαν παρόμοιες επιδόσεις με το φυσικό αέριο / βενζίνη και παράλληλα οικονομία καυσίμου έως και 200 μίλια ανά γαλόνι. Αυτό οδήγησε σε ορισμένες χώρες, την εκ νέου ερεύνα τους με κινητήρες ντίζελ.

Περαιτέρω ανάπτυξη του Cranfield University οδήγησε στην παραγωγή του Kawasaki KLR650, που αποτέλεσε πρότυπη μοτοσικλέτα για στρατιωτική χρήση. Ο κινητήρας αυτής της μοτοσικλέτας είναι υδρόψυκτος, μονοκύλινδρος τετράχρονος με χωρητικότητα 584 cc και παράγει 21 kW (28 hp) με μέγιστη ταχύτητα 85 μίλια/ώρα (136 km / h). Η χρήση για στρατιωτικές εφαρμογές έχει επιτευχθεί, όμως η μαζική παράγωγή καθυστερεί εξαιτίας του υψηλού κόστους των 19.000\$.

Στην Ινδία, οι μοτοσικλέτες των 325 cc με κινητήρα μονοκύλινδρο και καύσιμο πετρέλαιο ντίζελ, χρησιμοποιούνται λόγω του χαμηλού κόστους κτήσης και λειτουργίας. Οι κινητήρες αυτοί όμως ήταν θορυβώδεις και ανεπεξέργαστοι, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζονταν από μεγάλο βάρος.

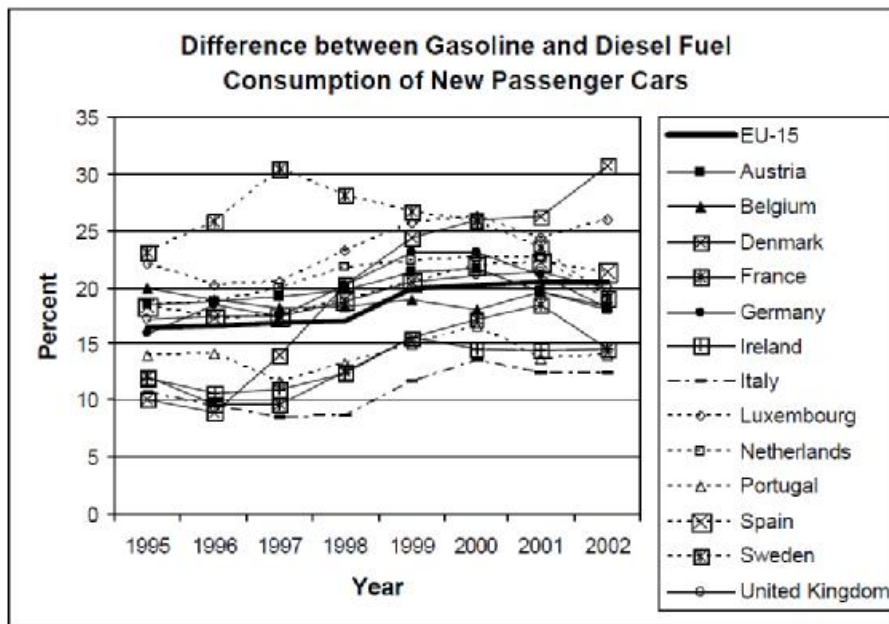
Η χρήση επομένως κινητήρων Diesel σε δίτροχα οχήματα είναι περιορισμένη. Οι ενδεικτικές περιπτώσεις που αναλύονται καταδεικνύουν ακριβώς την ελάχιστη χρήση των κινητήρων αυτών στις χερσαίες μεταφορές. Η ερεύνα συνεχίζει να υφίσταται, αλλά τα εγγενή προβλήματα από την τεχνολογία αυτή (βάρος, όγκος κτλ) δεν μπορούν να ξεπεραστούν.

3.3 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΕ ΧΑΜΗΛΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΑ

Το σύγχρονο ζητούμενο είναι κατά πόσον οι μηχανές diesel μπορούν να αποτελέσουν το κυρίαρχο μέσο μετάδοσης στα “ελαφρά” οχήματα, που αποτελούν και την πλειοψηφία τους μεταφορές. Τα μεγάλα μειονεκτήματα που αποτέλεσε και τροχοπέδη για την ανάπτυξη των οχημάτων αυτών ήταν:

1. Το υψηλό κόστος, λόγω της επιπλέον ανθεκτικότητας που απαιτείται, ώστε να αντέχουν τα μηχανικά μέρη στην πίεση της υψηλής συμπίεσης καύσης ντίζελ, καθώς και της πρόσθετης τεχνολογία, με τους υπερσυμπιεστές που βελτιώνουν τις επιδόσεις και την πρόσθετη επεξεργασία καυσαερίων που απαιτείται για την εξασφάλιση καθαρών εκπομπών στην ατμόσφαιρα.
2. Οι υψηλές εκπομπές ρύπων [ACEA,1998] σε πετρελαιοκινητήρες ήταν πάντα το μεγάλο πρόβλημα των Diesel κινητήρων. Η διαφορά ήταν όχι μόνο ποσοτική αλλά και ποιοτική, αφού είναι μεγαλύτερο το πλήθος των ρύπων που εκπέμπονται. Παράλληλα θεωρούνταν θορυβώδης, ενώ προκαλούσαν και δυσοσμία καθιστώντας τους κατάλληλους μόνο για βιομηχανικές εφαρμογές.

Πλέον η ανάπτυξη των κινητήρων Diesel για ελαφρού τύπου οχήματα είναι έντονη, με συνέπεια τον περιορισμό των εμπορικών μειονεκτημάτων. Η ανάλυση γίνεται τόσο από την μεριά των κατασκευαστών όσο και από την μεριά των καταναλωτών. (Σχήμα 3.1)



Σχήμα 3.1: Διαφορά κατανάλωσης Diesel-Βενζίνης [33]

Οι πετρελαιοκινητήρες από την μεριά των κατασκευαστών

Η ανάπτυξη των πετρελαιοκινητήρων από την μεριά των παραγωγών εστιάζει στα περιθώρια ανάπτυξης του κλάδου προς όφελος αυτών. Αν και οι εκπομπές των ρύπων είναι υψηλές για το καύσιμο Diesel, η υψηλότερη ενεργειακή απόδοση αυτού το καθιστά κατάλληλο για χρήση στις μεταφορές των αυτοκινήτων.

Σε όλες σχεδόν τις χώρες, η διαφορά μεταξύ της κατανάλωσης πετρελαίου και βενζίνης έχει από το 1995 αυξηθεί, με το μέσο όρο καύσης ντίζελ να διευρύνει το πλεονέκτημα της οικονομίας του καυσίμου του οχήματος. Από το 2002, οι κινητήρες diesel στην ΕΕ εμφανίζουν κατά μέσο όρο 20% χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου ανά χιλιόμετρο από ό, τι τα βενζινοκίνητα οχήματα. Στο Σχήμα 3.1 διαφαίνεται ακριβώς αυτό το χαρακτηριστικό της χαμηλότερης κατανάλωσης πετρελαίου Diesel σε σχέση με την βενζίνη για νέα οχήματα ντίζελ και βενζίνης που πωλούνται στην ΕΕ και τις χώρες μέλη της. [30]. Από το σχήμα αυτό διαφαίνεται η καθολική διαφορά της κατανάλωσης πετρελαίου από βενζίνη. Όμως η διαφοροποίηση αυτή δεν είναι σταθερή. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται είναι για ένα μέσο όχημα από κάθε κατηγορία, στο οποίο έχει αναχθεί το σύνολο της κατανάλωσης της κάθε χώρας.

Όμως η διαφοροποίηση του είδους οχήματος, οδηγεί σε διαφορά της κατανάλωσης. Έτσι σε περιόδους και χώρες με μεγάλη διαφοροποίηση της κατανάλωσης, υπάρχει στροφή για οχήματα υψηλής κατανάλωσης καυσίμου με συνέπεια και η διαφορά στα δυο είδη καυσίμου να είναι αντίστοιχα υψηλή. Το δεδομένο που προκύπτει για το σύνολο της Ε.Ε. είναι η τάση για διαφοροποίηση κατά 20% υπέρ των ντιζελοκινητήρων.

Ένα άλλο στοιχείο που χαρακτηρίζει τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, και εξετάζεται από την μεριά των κατασκευαστών έχει να κάνει με την τιμή κατασκευής του οχήματος

[31], δηλαδή το κεφαλαίο κτήσης του οχήματος. Το στοιχείο αυτό αποτελούσε και το κατεξοχήν μειονέκτημα, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Πλέον όμως με την πρόοδο της τεχνολογίας και της υψηλού επιπέδου ερευνάς στον κλάδο των πετρελαιοκινητήρων, αποτελούν πλέον μια καθόλα ανταγωνιστική λύση. Στο Σχήμα 3.2 αναφέρεται το κόστος κτήσης ενός αυτοκίνητου σε διαφορετικές χώρες της Ε.Ε. Η σύγκριση γίνεται για το ίδιο μοντέλο αυτοκίνητου που κατασκευάζεται στις δυο εκδόσεις: με χρήση πετρελαιοκινητήρα και με χρήση βενζινοκινητήρα.

Vehicle Price w/tax (EURO)	2.0 HDi (90 bhp) Diesel	1.6 (110 bhp) Gasoline	Price Difference for Diesels
Austria	19,900	19,000	+900
Belgium	18,760	17,460	+1,300
Denmark	33,266	29,091	+4,175
Germany	16,350	15,550	+800
Greece	NA	16,950	NA
Finland	25,100	21,600	+3,500
France	18,450	16,800	+1,650
Ireland	25,655	22,205	+3,450
Italy	18,650	17,150	+1,500
Luxembourg	17,829	16,594	+1,235
Netherlands	23,710	19,900	+3,810
Portugal	29,015	22,975	+6,040
Spain	18,600	17,090	+1,510
Sweden	16,771	16,771	0
United Kingdom	20,320	19,034	+1,286

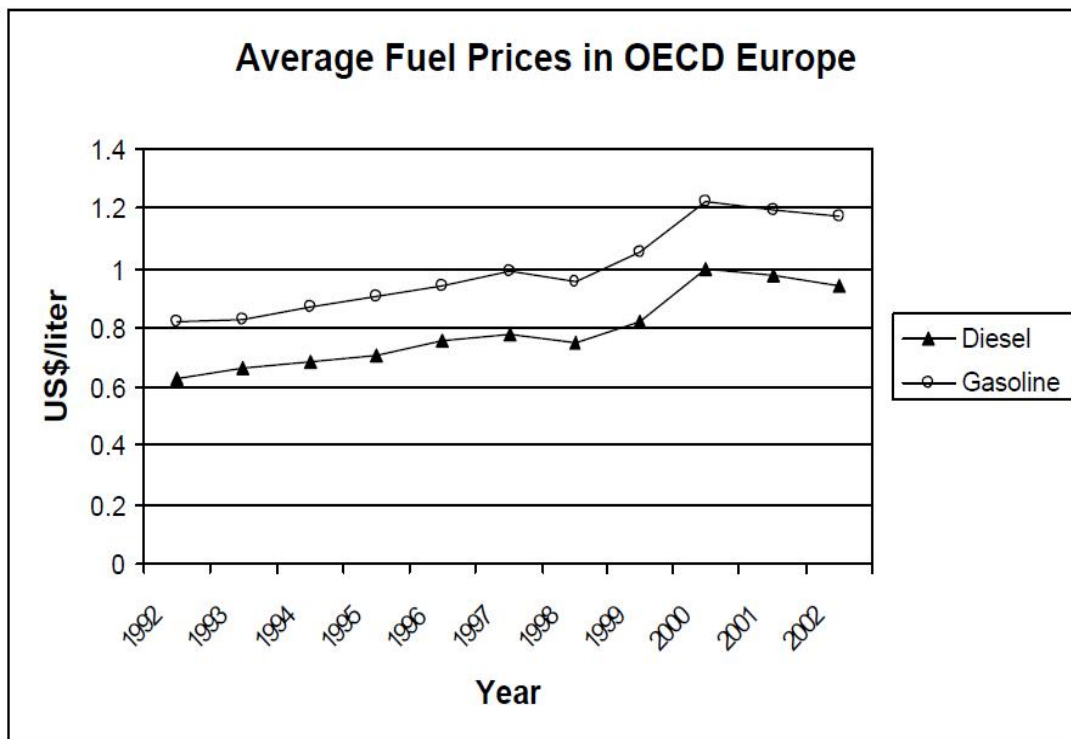
Σχήμα 3.2: Ενδεικτικές τιμές Diesel και βενζινοκίνητου οχήματος

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δυο οχημάτων είναι παρόμοια. Το συνολικό κόστος διαφοροποιείται στις χώρες, όμως η διαφορά αυτή δεν οφείλεται σε καθαρά κατασκευαστικούς λόγους. Πράγματι η ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό στα diesel οχήματα, τα καθιστά πιο ακριβά, όμως η αύξηση αυτή εκτιμάται στα 586 \$. Όμως με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα, η μέση τιμή της συνολικής διαφοράς είναι 1567\$. Ο λόγος της διαφοράς αυτής έχει να κάνει με λόγους marketing. Σε ορισμένες χώρες, η διαφορά στις τιμές καυσίμου (οι όποιες καθορίζονται από τις κυβερνήσεις κατά ένα μεγάλο ποσοστό) οδηγεί σε αντίστοιχα περιθώρια αύξησης ή μείωσης της τιμής κτήσης του οχήματος. Επιπλέον ένα μέρος της διαφοράς, οφείλεται επιπλέον στο δίκτυο πωλήσεων των οχημάτων, αφού σε ορισμένες χώρες η κατασκευάστρια εταιρία δεν επεμβαίνει στο δίκτυο προώθησης αυτών. Η διακριτικότητα στους ρόλους αυτούς οδηγεί στην ασυνέχεια των τιμών που παρατηρείται στον ως άνω πίνακα.

Οι πετρελαιοκινητήρες από την μεριά των καταναλωτών

Η μεταβλητότητα στις πωλήσεις ντιζελοκίνητων μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. εξηγείται καλύτερα από τις διαφορετικές προτιμήσεις των καταναλωτών και των οικονομικών κινήτρων. [Schipper et al ,2002] Η άνοδος στα πετρελαιοκίνητα μπορεί να αποδοθεί σε μια σειρά συμπληρωματικών παραγόντων. Μεγάλο μέρος της πρόσφατης αύξησης των πωλήσεων ντιζελ οφείλεται στις τεχνολογικές προόδους που έχουν βελτιώσει την απόδοση του οχήματος. Οι βελτιώσεις αυτές έχουν αλλάξει την κοινή αντίληψη των πετρελαιοκινητήρων, όπως ότι είναι βαριά, θορυβώδη και ρυπογόνα οχήματα, διατηρώντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα της οικονομίας του καυσίμου. Αυτός ο τελευταίος παράγοντας αποτελεί και την βάση για την ανάπτυξη των

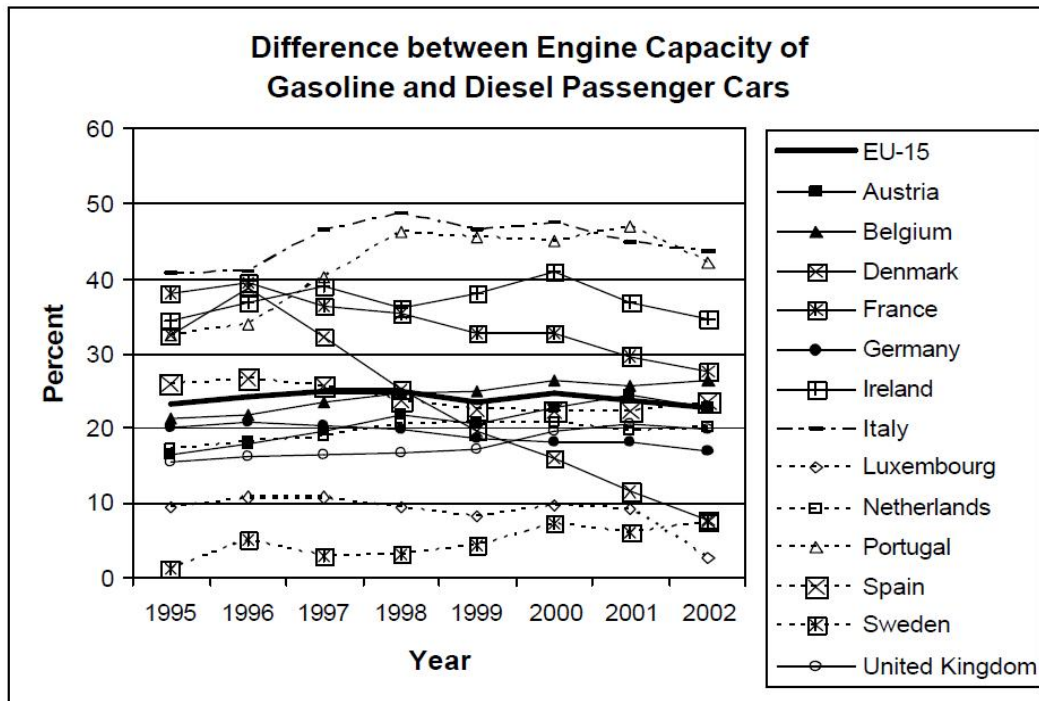
πετρελαιοκινητήρων. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.3) παρουσιάζεται η διαφοροποίηση στις τιμές καυσίμου για τα διαφορά έτη.



Σχήμα 3.3: Ενδεικτικές τιμές καυσίμων Diesel και βενζινοκίνητου οχήματος [Kliesch,2003]

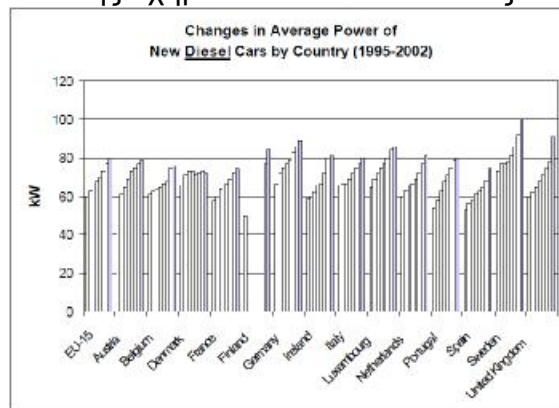
Παρατηρείται μια σταθερή διαφοροποίηση κατά 0,2\$/λίτρο για όλα τα έτη. [Kliesch,2003] Ο λόγος αυτός δεν έχει να κάνει μονό με την τεχνολογία του καυσίμου, αλλά πολλές φορές είναι απόρροια των πολιτικών των διαφόρων χώρων για την προώθηση ενός συγκεκριμένου τύπου προϊόντος.

Ένα ακόμη στοιχείο που εξετάζεται από την μεριά των καταναλωτών , εκτός από το κόστος του οχήματος, έχει να κάνει με την απόδοση αυτού. [ACEA,2003] Με τον όρο απόδοση εννοείται η οδηγητική απόδοση του οχήματος, δηλαδή κατά ποσόν μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες του οδηγού του. Ήδη από το σχήμα, όπου μελετήθηκαν οχήματα με παρόμοια χαρακτηριστικά, διαφαίνεται η ανάγκη για μεγαλύτερο όγκο στα οχήματα αυτά. Έτσι, παρόλο που τα diesel οχήματα χαρακτηρίζονται από υψηλή ροπή, η απόδοση της ισχύος απαιτεί την παρουσία βαρύτερων κίνητρων. Η διαφορά στην χωρητικότητα των κινητήρων των οχημάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Ενδεικτικές τιμές χωρητικότητας Diesel και βενζινοκίνητου οχήματος

Το βάρος των οχημάτων Diesel εξακολουθεί να είναι μεγάλο και στις μέρες μας και μάλιστα η αύξηση αυτή γίνεται κατά αντιστοιχία με τις ανάγκες για ισχύ. Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από το μέγεθος, η αντοχή των κινητήρων Diesel είναι επίσης μεγαλύτερη. Στο ακόλουθο διάγραμμα διαφαίνεται η αύξηση της ισχύος στα πετρελαιοκίνητα οχήματα, στις διαφορές χώρες της E.E. Το μέγεθος των οχημάτων όμως έχει παραμείνει σταθερά το ίδιο (οι διαστάσεις του μέσου οχήματος) κάτι που οδηγεί σε καλύτερης απόδοσης οχήματα που καλύπτουν τις ανάγκες των οδηγών.



Σχήμα 3.5: Ενδεικτικές τιμές ισχύος Diesel οχήματος

Προς ολοκλήρωση της μελέτης στα ελαφρού τύπου οχήματα, μια τεχνοοικονομική εξέταση των πετρελαιοκινήτων σε σχέση με τους βενζινοκινήτες

είναι αναγκαία. Μάλιστα, η μελέτη αυτή γίνεται από την πλευρά των καταναλωτών, ώστε να διαφανεί το ολικό κόστος κτήσης και λειτουργίας ενός οχήματος.[Verboven,2002]

Στο ακόλουθο παρατίθεται πίνακας 3.1 που αποτελεί σύνθεση πινάκων, φαίνεται η αξία της επένδυσης σε Diesel κινητήρες. Με εξαίρεση την Πορτογαλία και την Ολλανδία, η διαφορά στο κόστος κτήσης του οχήματος καλύπτεται εντός του χρόνου ζωής του οχήματος. Η εκτίμηση αυτή έγινε με βάση την μέση διανυόμενη ετησία απόσταση ενός τυπικού οδηγού. Η εκτίμηση αυτή είναι μια πρώτη ένδειξη για την αξία της επένδυσης, η τελική όμως τιμή προέρχεται από τον συνολικό υπολογισμό των παραμέτρων που καταδεικνύουν και την διαφορετικότητα στο σενάριο εξέτασης.

Πινάκας 3.1: Τεχνο-οικονομική μελέτη Diesel και βενζινοκινητήρων

Country	(A) Price Difference for Diesels	(B) Diesel Fuel Savings (US\$/yr)	(C) Payback Period (yrs)	(D) Diesel Savings (miles)
Austria	+900	218	4.1	4340
Belgium	+1,300	293	4.4	5280
Denmark	+4,175	264	15.8	4651
Germany	+800	172	4.7	4132
Greece	NA	208	NA	4433
Finland	+3,500	216	16.2	4166
France	+1,650	123	13.4	2377
Ireland	+3,450	213	16.2	3660
Italy	+1,500	199	7.5	4605
Luxembourg	+1,235	384	3.2	7153
Netherlands	+3,810	181	21.0	3744
Portugal	+6,040	203	29.8	4494
Spain	+1,510	200	7.5	3665
Sweden	0	236	0	4223
United Kingdom	+1,286	162	7.9	1923

3.4 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΕ ΒΑΡΕΩΣ ΤΥΠΟΥ ΟΧΗΜΑΤΑ

Η ίδια μελέτη ακολουθεί και για τα πετρελαιοφόρα οχήματα, οπου μεταφέρουν μεγάλο φορτίο. Τέτοιου τύπου οχήματα χαρακτηρίζονται ως βαρέους τύπου οχήματα. Η πλήρης τεχνοοικονομική ανάλυση, όπως προηγουμένως, δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού ακολουθείται παρόμοια συμπεριφορά με την προηγούμενη κατηγορία των οχημάτων. Σε αυτή την κατηγορία των οχημάτων θα γίνει εστίαση στην διάκριση αυτών σε μικρότερες ομάδες, κάνοντας χρήση συγκεκριμένων παραμέτρων εξέτασης.

Τα δεδομένα βάρους των φορτηγών είναι κρίσιμη παράμετρος για την εξέταση των βαρέως τύπου οχημάτων. Αυτά τα δεδομένα συλλέγονται από τους οργανισμούς μεταφορών κατά την διάρκεια του σχεδιασμού των έργων, καθώς και κατά την διάρκεια διαχείρισης αυτών. Ωστόσο, πολλά από τα στοιχεία έχουν αμφίβολη ακρίβεια λόγω ανεπάρκειας του εξοπλισμού και ανεπαρκούς ανάπτυξης μεθόδων βαθμονόμησης. Μια ολοκληρωμένη μέθοδος βαθμονόμησης για το φορητό εξοπλισμό ζύγισης εν κινήσει, που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με προσωρινούς βρόχους και αισθητήρες, δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί. Η παραδοσιακή μέθοδος βαθμονόμησης των συσκευών ζύγισης εν κινήσει είναι μέσω της χρήσης ενός ενιαίου φορτηγού δοκιμής σε ένα μόνο βάρος.

Οι πηγές δεδομένων για τα βαρέα οχήματα δεν είναι επί του παρόντος αντιπροσωπευτικά της συνολικής δραστηριότητας των οχημάτων.[Ramamurthy,1999] Μόνιμες εγκαταστάσεις, που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων (πχ το βάρος του οχήματος), έχουν επιλεγεί με βάση την παρακολούθηση ορίων σε πεζοδρόμια και τις ανάγκες επιβολής του βάρους. Πολλές από τις μετρήσεις επικεντρώθηκαν σε γέφυρες που είναι διαρθρωτικά ευαίσθητες στο βάρος του οχήματος. Άλλες περιοχές είναι αυτές που βρίσκεται στο αγροτικό τμήμα των αυτοκινητόδρομων, προκειμένου να λαμβάνεται ένα μεγάλο μέρος των οχημάτων, όπου κινούνται κατά κανόνα με μεγάλο φορτίο. Ως εκ τούτου, πολλά από τα στοιχεία που συλλέγονται από τις μετρήσεις των κρατικών υπηρεσιών είναι ασυμβίβαστα με τις δεδομένες ανάγκες της έρευνας Νέα δεδομένα βάρους του οχήματος πρέπει να συλλέγονται, τα οποία επικεντρώνονται στην χρονική και χωρική αναπαράσταση, σε μητροπολιτικό επίπεδο των βαρέων επαγγελματικών οχημάτων.

Ο φορέας αυτοκινητοβιομηχανίας των ΗΠΑ (EPA) έχει ορίσει τους συγχρόνους κινητήρες βαρέων οχημάτων σύμφωνα με την ιπποδύναμη, αλλά μη-αντιπροσωπευτικά δείγματα των φορτηγών που περιλαμβάνονται στην τρέχουσα μεθοδολογία των ερευνών είναι ανεπαρκή για την πρόβλεψη της κατανομής της onroad ιπποδύναμης.

Εθνικές έρευνες δεν περιλαμβάνουν την ιπποδύναμη ως στοιχείο της έρευνας μέσου. Οι σύγχρονες έρευνες είναι επικεντρωμένες σε δείγματα οχημάτων στα αστικά δίκτυα λόγω του μεγάλου αριθμού του στόλου οχημάτων σε αυτές τις περιοχές. Αντίθετα στα αγροτικά δίκτυα και λόγω της μικρότερης διασποράς, τα δεδομένα αυτά δεν είναι διαθέσιμα. Για το λόγο αυτό η μελλοντική μελέτη πρέπει να αντιπροσωπεύει μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με την τρέχουσα έλλειψη στοιχείων ιπποδύναμης των κινητήρων σε κίνηση.

Το πρώτο μέρος αναφέρεται στην έλλειψη στοιχείων βαρέου τύπου οχημάτων και τους λόγους που παρατηρείται η έλλειψη αυτή. [Andrei,2001] Τα δεδομένα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:

1. Το βάρος των οχημάτων.
2. Η ιπποδύναμη των οχημάτων.

Τα δεδομένα αυτά είναι παράλληλα και τα απαραίτητα συστατικά για την διακριτή κατανομή των οχημάτων βαρέου τύπου. Εκτός όμως από τα δεδομένα αυτά και άλλες κατηγορίες διακρίσεις λαμβάνονται υπόψη:

Ο τύπος των δρομολογίων

Η ανάλυση αφορά ένα off road χαρακτηριστικό των βαρέου τύπου οχημάτων. Τα χαρακτηριστικά της διαδρομής που διανύουν τα οχήματα αυτά αποτελεί τον σημαντικό παράγοντα εξέτασης. Σε αντίθεση με τα ελαφρού τύπου οχήματα, που το προφίλ κίνησης αυτών είναι συγκεκριμένο, οι διαφοροποιήσεις στα μεγάλα οχήματα είναι έντονες. Έτσι ξεχωριστά προφίλ δημιουργούνται για κίνηση σε αστικό ή αγροτικό περιβάλλον, για διάνυση μεγάλων ή μικρών αποστάσεων, για συχνές στάσεις κατά τη διαδρομή κ.ο.κ. Ο μεγάλος αριθμός οχημάτων βαρέως τύπου, που χρησιμοποιείται σε διαφορετικά περιβάλλοντα με συνέπεια την ανάγκη κατηγοριοποίησης αυτών.

Αποδοτικότητα του Κινητήρα

Οι τριβές του κινητήρα ντίζελ στα βαρέως τύπου οχήματα [An,1993] και η αποτελεσματικότητα αυτής αποτελούν βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τριβές που εμφανίζονται στον κίνητρα τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση και κατά συνέπεια μειώνεται η απόδοση λειτουργίας της μηχανής. Για το λόγο αυτό αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφαλαίο, η χρήση των λιπαντικών που συμβάλει στην ακριβώς αυτή διαδικασία της μείωσης των απωλειών.

Επιπλέον, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν άμεσα την απόδοση λειτουργίας. Η λειτουργία αυτή αφορά τόσο το κομμάτι της μηχανής, όσο και το συνολικό όχημα. Στο παρακάτω διάγραμμα διαφαίνεται η επίδραση που έχει η ταχύτητα του οχήματος στις αεροδυναμικές απώλειες με κατ' επέκταση επίδραση στην συνολική κατανάλωση καυσίμου.

Η αναφορά στα βαρέως τύπου οχήματα δεν διαφέρει σημαντικά από τα συμβατικά οχήματα. Η διαφορά εγγυάται στο εύρη περιβάλλον χρήσης αυτών με συνέπεια την ανάγκη για πλήρη διαχωρισμό των δραστηριοτήτων που συμμετέχουν με γνώμονα ορισμένες παραμέτρους. Για το λόγο αυτό το εδάφιο αυτό περιγράφει μια μεθοδολογία για την διάκριση των εφαρμογών που συμμετέχουν τα οχήματα βαρέως τύπου.

3.5 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΕ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η ανάπτυξη των σύγχρονων σιδηρόδρομων συνέπεσε χρονικά με την ανάπτυξη των μηχανών Diesel. Αν και αρχικά το κύριο μέσο κίνησης ήταν η ατμομηχανή, στην συνέχεια αυτή εκτοπίστηκε από την σύγχρονη και πιο αποτελεσματική τεχνολογία των Diesel κινητήρων. Στη σύγχρονη εποχή, η ανάγκη για μεγάλες ταχύτητες και έχει οδηγήσει σε μια στροφή προς την ηλεκτροκίνηση (τρένα MAGLEV), άλλα ένα μεγάλο μέρος των μεταφορών εξακολουθεί να λαμβάνει χώρα με ντιζελοκινητήρες.[Ross,1997]

Πλεονεκτήματα Diesel σε σχέση με τις ατμομηχανές

Οι πετρελαιοκινητήρες επισκιάζουν σιγά αργά εκείνους που κινούνται με ατμό, αφού η βελτίωση της αποτελεσματικότητας κατασκευής και λειτουργίας του πρώτου τους έκανε φθηνότερους προς εκμετάλλευση. [Doherty, 1962] Ενώ οι αρχικές δαπάνες των κινητήρων ντίζελ ήταν υψηλές, οι ατμομηχανές ήταν κατά παραγγελία για συγκεκριμένες σιδηροδρομικές διαδρομές και γραμμές και, ως εκ τούτου, οι οικονομίες κλίμακας ήταν δύσκολο να επιτευχθούν. Αν και περισσότερο πολύπλοκοι και με απαιτητικές κατασκευαστικές ανοχές (1/10000 –ιντσών) - (0,025 χιλιοστά) οι κινητήρες ντίζελ, σε σύγκριση με (1/100-ίντσες) (0,25 mm) την παραγωγή ατμού, τα ντίζελ μέρη του τρένου ευνοούσαν μια μαζική παραγωγή.

Οι μηχανές diesel προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα λειτουργίας σε σχέση με τις ατμομηχανές. Μπορούν να λειτουργήσουν με ασφάλεια από ένα άτομο, καθιστώντας τες ιδανικές για την αλλαγή / ελιγμό καθηκόντων (αν και για πολλούς λόγους ασφαλείας στον κύριο αγωγό μηχανών Ντίζελ εξακολουθούν να υπάρχουν 2-άνθρωποι πλήρωμα), ενώ παράλληλα το λειτουργικό περιβάλλον είναι πολύ πιο

ελκυστικό, είναι πολύ πιο ήσυχο, πλήρως στεγανό και χωρίς τη βρωμιά και τη θερμότητα που είναι ένα αναπόφευκτο μέρος της λειτουργίας μιας ατμομηχανής. Οι μηχανές diesel μπορεί να εργαστούν σε πολλαπλές συνθήκες με ένα ενιαίο έλεγχο πολλαπλών μηχανών έλξης μέσα σε ένα απλό τρένο-όχι κάτι πρακτικό στις ατμομηχανές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην όλη λειτουργία, αφού το σύστημα των μεμονωμένα μηχανών θα μπορούσε να είναι σχετικά χαμηλής ισχύος για χρήση ως μία ενιαία μονάδα για ελαφρύ φορτίο, αλλά παράλληλα θα μπορούσε να συνδυαστεί ώστε να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ σε ένα βαρύ τρένο.

Οι πετρελαιοκινητήρες μπορούν να ξεκινήσουν και να σταματήσουν σχεδόν αμέσως, πράγμα που σημαίνει ότι μια μηχανή ντίζελ έχει τη δυνατότητα να επιβαρύνονται με μηδενικό κόστος, όταν δεν χρησιμοποιείται. Ωστόσο, εξακολουθεί να είναι η πρακτική των μεγάλων σιδηροδρόμων της Βορείου Αμερικής να χρησιμοποιούν κατ'ευθείαν το νερό ως ψυκτικό μέσο σε κινητήρες ντίζελ, αντί ψυκτικά που ενσωματώνουν αντιψυκτικές ιδιότητες. Αυτό οδηγεί τις μηχανές ντίζελ να μείνουν στο ρελαντί όταν είναι σταθμευμένα σε ψυχρά κλίματα, αντί να κλείσουν τελείως. Ακόμα, ένας κινητήρας ντίζελ μπορεί να μείνει στο ρελαντί για ώρες ή ακόμη και ημέρες, δεδομένου μάλιστα ότι σχεδόν κάθε κινητήρας ντίζελ που χρησιμοποιείται σε μηχανές διαθέτει συστήματα που κλείνουν αυτόματα τον κινητήρα αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα, όπως η απώλεια πίεσης λαδιού ή απώλεια ψυκτικού υγρού. Τα τελευταία χρόνια, αυτόματα συστήματα start / stop όπως SmartStart έχουν εκδοθεί, τα οποία παρακολουθούν τις θερμοκρασίες ψυκτικού και κινητήρα. Όταν αυτές οι θερμοκρασίες δείχνουν ότι η μονάδα είναι κοντά για να υπάρξει το πάγωμα του ψυκτικού υγρού, το σύστημα επανεκκινεί το ντίζελ κινητήρα για να ζεσταθεί το ψυκτικό υγρό και άλλα συστήματα.

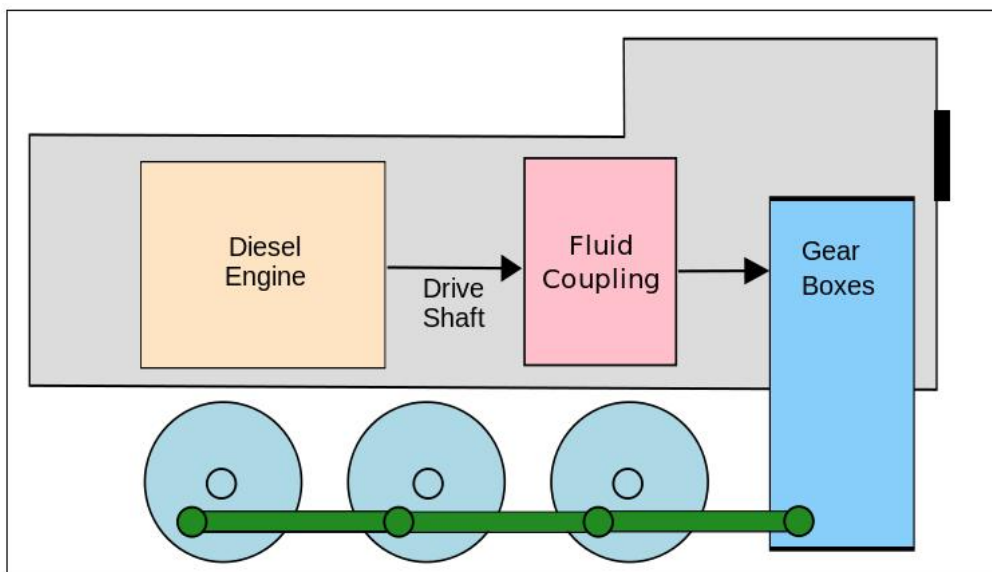
Οι ατμομηχανές, από τη σύγκριση, απαιτούν εντατική συντήρηση, τη λίπανση και τον καθαρισμό πριν, κατά και μετά τη χρήση. Επιπλέον, τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας των μηχανών ατμού ήταν πολύ υψηλότερα από τις αντίστοιχες ντίζελ, παρόλο που θα χρειαστούν οι μηχανές ντίζελ σχεδόν 50 χρόνια για να φτάσουν την ίδια ισχύ που οι ατμομηχανές θα μπορούσαν να επιτύχουν άμεσα. Το ετήσιο κόστος συντήρησης για την παραγωγή ατμού μηχανών αντιπροσωπεύει το 25% της αρχικής τιμής αγοράς. Με ντηζελομηχανές, τα ανταλλακτικά όπου απαιτούνται θα μπορούσαν να είναι σε μαζική παραγωγή και έτοιμα για χρήση σε πολλά μέρη και υποσυστήματα, οπότε θα μπορούσαν να τυποποιηθούν σε όλο τον στόλο ενός επιχειρηματία που χρησιμοποιεί διαφορετικά μοντέλα της ατμομηχανής από τον ίδιο κατασκευαστή. Μέρη θα μπορούσαν να εναλλάσσονται μεταξύ ντίζελ μηχανών του ίδιου ή παρόμοιου σχεδίου, μειώνοντας το χρόνο αποκατάστασης - για παράδειγμα ελαττωματικό μιας μηχανής άμεσης χρήσης μπορεί να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί εύκολα και γρήγορα με ένα άλλο, από μια μονάδα που επιτρέπει την μη υλοποίηση αυτής, με συνέπεια την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου των σιδηρόδρομων.

3.5.1 Τύποι μετάδοσης παρουσία Diesel μηχανής

Σε αντίθεση με τις ατμομηχανές, οι μηχανές εσωτερικής καύσης απαιτούν μετάδοση ισχύς στους τροχούς.[Times] Οι κατηγορίες χρήσης των Diesel κινητήρων αναλύονται στη συνέχεια:

Ντίζελ-μηχανικές

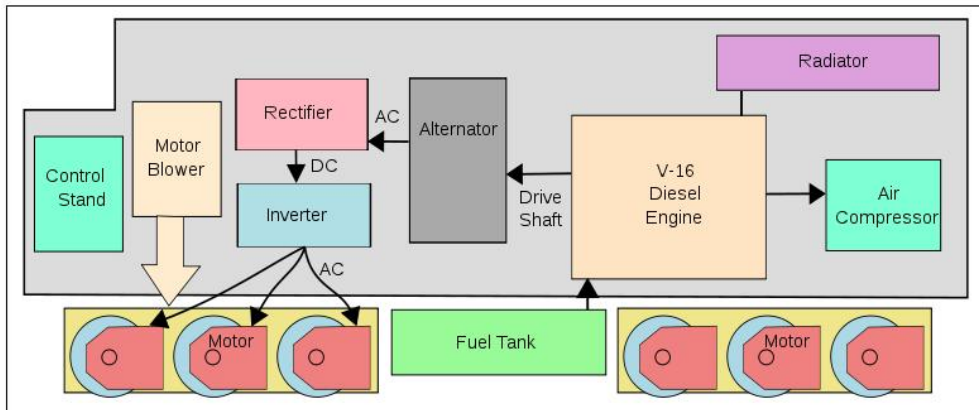
Μια ντίζελ-μηχανική μηχανή (Σχήμα 3.6) χρησιμοποιεί μια μηχανική μετάδοση, με τρόπο παρόμοιο με εκείνο που χρησιμοποιείται στα περισσότερα οδικά οχήματα. Αυτός ο τύπος της μετάδοσης περιορίζεται γενικά σε χαμηλής ισχύος, χαμηλής ταχύτητας ελιγμών (εναλλαγή) μηχανές.



Σχήμα 3.6: Σχηματική παρουσίαση μιας ντίζελ-μηχανικής μετάδοσης

Οι μηχανικές μεταδόσεις που χρησιμοποιούνται για την πρόωση σιδηρόδρομων είναι γενικά πιο σύνθετες και πολύ πιο ισχυρές από ό, τι οι αντίστοιχες εκδόσεις δρόμου. Υπάρχει συνήθως ένας σύνδεσμος υγρού που παρεμβάλλεται μεταξύ του κινητήρα και το κιβώτιο ταχυτήτων, και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι συχνά επικυκλικό (πλανητικό) τύπου για να καταστεί δυνατή η μετατόπιση, ενώ το φορτίο είναι περιορισμένο. Διάφορα συστήματα έχουν επινοηθεί για να ελαχιστοποιηθεί η διακοπή της μετάδοσης κατά την αλλαγή της ταχύτητας.

Ντίζελ-ηλεκτρικό τρένο



Σχήμα 3.7: Σχηματικό διάγραμμα της μηχανής ντίζελ ηλεκτρικό

Σε μια ντίζελ ηλεκτρική μηχανή έλξης (Σχήμα 3.7), ο πετρελαιοκινητήρας κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια, η παραγωγή των οποίων παρέχει ισχύ στους κινητήρες έλξης. Δεν υπάρχει καμία μηχανική σύνδεση μεταξύ του κινητήρα και τους τροχούς. Τα σημαντικά μέρη της ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης είναι ο κινητήρας Diesel (επίσης γνωστή ως πρωτεργάτης), η κύρια γεννήτρια, κινητήρες έλξης και ένα σύστημα ελέγχου που αποτελείται από τον ελεγκτή του κινητήρα καθώς και των ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών εξαρτήματα, που χρησιμοποιούνται στις υπόλοιπες διεργασίες (αντίστροφας –ανορθωτής κ.α.)

Αρχικά, οι κινητήρες έλξης και η γεννήτρια ήταν μηχανές συνεχούς ρεύματος. Μετά την ανάπτυξη της υψηλής χωρητικότητας ανορθωτών πυριτίου στη δεκαετία του 1960, η γεννήτρια DC αντικαταστάθηκε από έναν εναλλάκτη, χρησιμοποιώντας μια γέφυρα διόδων για να μετατρέψει την παραγωγή της σε DC. Η πρόοδος αυτή βελτίωσε σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία της μηχανής και μείωσε το κόστος συντήρησης της γεννήτριας. Επιπλέον επαλείφθηκε το ενδεχόμενο για ένα ιδιαίτερα καταστροφικό είδος εκδήλωσης που αναφέρεται ως ανάφλεξη, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε άμεση βλάβη της γεννήτριας και, σε ορισμένες περιπτώσεις, την εκδήλωση πυρκαγιάς.

Πιο πρόσφατα, η ανάπτυξη υψηλής απόδοσης μονάδων variable-frequency/variable-voltage (VVVF), ή "μετατροπείς έλξης," επέτρεψε τη χρήση των πολυφασικών κινητήρων έλξης εναλλασσόμενου ρεύματος. Το αποτέλεσμα είναι μια πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη απόδοση, που απαιτεί σχετικά λίγη συντήρηση και είναι σε καλύτερη θέση να αντιμετωπίσει τις συνθήκες υπερφόρτωσης, που κατέστρεφε συχνά τους παλαιότερου τύπου κινητήρες.

Ηλεκτρο-ντίζελ

Αυτές οι ειδικές μηχανές ξεχωρίζουν από τις προηγούμενες στο γεγονός ότι μπορούν να λειτουργήσουν ως ηλεκτρικές μηχανές ή ως μηχανές ντίζελ κατά αποκλειστικότητα. Οι ανάγκες λειτουργίας οδήγησαν στην ανάπτυξη τέτοιου είδους μεταφορών. Για παράδειγμα το Long Island Rail Road αποτελεί μια τέτοια εφαρμογή, που συνδυάζει την χρήση του ντίζελ κινητήρα σε περιοχές όπου δεν υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο ηλεκτρισμού, ενώ παράλληλα η ηλεκτρική λειτουργία αναπτύσσεται στο εσωτερικό της Νέας Υόρκης, όπου χρήση μηχανών diesel είναι απαγορευμένη. Παράλληλα αντίστοιχη λειτουργία είναι διαδεδομένη στην Μεγάλη Βρετανία, όπου οι σιδηρόδρομοι βασίζονται στην ηλεκτρική λειτουργία, αλλά

παράλληλα ένα μέρος καλύπτεται από κινητήρα Diesel σε εφαρμογές χαμηλού φορτίου.

Πετρέλαιο-υδραυλική κίνηση

Ντίζελ - υδραυλικές μηχανές που χρησιμοποιούν ένα υδραυλικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης για να μεταφέρει την απαιτούμενη ισχύ από τον κινητήρα ντίζελ στους τροχούς αποτελεί μια ακόμη μέθοδος που βρήκε εφαρμογή στους σιδηρόδρομους.

Η υδροκινητική μετάδοση (ονομάζεται επίσης υδροδυναμική μετατροπή) χρησιμοποιεί ένα μετατροπέα ροπής. Ο μετατροπέας ροπής αποτελείται από τρία κύρια μέρη, δύο εκ των οποίων περιστρέφονται και ένα που έχει μια ασφάλεια περιστροφής προς τα πίσω και προσθέτει ροπή εξόδου από την ανακατεύθυνση της ροής του πετρελαίου σε χαμηλές στροφές εξόδου.

Το σύστημα αυτό της κίνησης των σιδηροδρόμων είναι λιγότερο αποτελεσματικό από τον συνδυασμό Diesel-Ηλεκτροκίνησης. Για το λόγο αυτό έχει περιορισμένη χρήση. Στη Γερμανία και τη Φινλανδία, το πετρέλαιο-υδραυλικά συστήματα έχουν επιτύχει εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία σε λειτουργία, με συνέπεια λίγες ακόμη σιδηροδρομικές γραμμές να βασίζονται σε αυτή την τεχνολογία.

3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού επικεντρώνεται στην εμπορική ανάλυση χρήσης των Diesel οχημάτων. Η αναφορά αυτή εστιάζει στις εφαρμογές χρήσης των οχημάτων αυτών στις χερσαίες μεταφορές. Η περιγραφή λαμβάνει χώρα με γνώμονα το μέγεθος των οχημάτων. Τα δίκυκλα οχήματα αποτελούν ένα μικρό κομμάτι τις αγοράς και μόνο πρωτότυπα σχέδια έχουν αναλυθεί. Το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας εστιάζει στα οχήματα όπου χωρίζονται τόσο σε αυτά του ελαφρού φορτίου, όσο και σε αυτά του βαρέως τύπου. Στα ελαφρού τύπου οχήματα, η οικονομική ανάλυση καταδεικνύει την βελτίωση της τεχνολογίας με συνέπεια η τεχνολογία αυτή να είναι πλέον ανταγωνιστική. Η μείωση της κατανάλωσης άλλα και των ρύπων έχει θετική επίδραση στην διεύθυνση των οχημάτων. Στα βαρέως τύπου οχήματα η τεχνολογία ήταν δεδομένη. Με δεδομένη την κυριαρχία των κινητήρων Diesel η μελέτη εστιάζει στον διαχωρισμό των κατηγοριών όπου κατανέμονται τα οχήματα. Στο τελευταίο κομμάτι της ανάλυσης γίνεται αναφορά στην τεχνολογία των σιδηροδρόμων, όπου οι κινητήρες Diesel χρησιμοποιούνται κατά κόρον, αλλά πλέον σε συνδυασμό με την χρήση ηλεκτροκινητήρων. Η ανάλυση αυτή αποτελεί βασικό κομμάτι της εμπορικής μελέτης χρήσης πετρελαιοκινητήρων πριν ακολουθήσει η περιβαλλοντική ανάλυση με αναφορά στους ρύπους.

4.ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΩΝ

4.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL

Παρά τα πολλά του πλεονεκτήματα, ο κινητήρας diesel εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από τις υψηλές εκπομπές ρύπων. Τα καυσαέρια του κινητήρα diesel αποτελούνται από πολλά αέρια, αλλά και σωματιδιακά οργανικά συστατικά, που παράγονται μέσω της διαδικασίας της καύσης του πετρελαίου. Η ακριβής αναλογία των ποσοστών των καυσαερίων εξαρτάται από παραμέτρους λειτουργίας, όπως η ταχύτητα περιστροφής του οχήματος, το βάρος του οχήματος, το φορτίο του κινητήρα, ο τύπος κινητήρα, τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος κ.α..

Η περιγραφή της διαδικασίας της καύσης στους πετρελαιοκινητήρες (Κεφαλαίο 2), έδειξε ότι η κατανομή του καυσίμου σε όλα τα κρίσιμα σημεία του κύκλου είναι ανομοιόμορφη, το οποίο έχει ως συνέπεια τον σχηματισμό των ρύπων. Μάλιστα το φαινόμενο της εμφάνισης των ρύπων είναι πιο έντονο όταν το περιβάλλον όπου λαμβάνει χώρα η καύση επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία και από την αναλογία καυσίμου αέρα και πιο συγκεκριμένα από την ετερογενή συμπεριφορά του μίγματος.

Στη συνέχεια της αναφοράς στις εκπομπές από τους κινητήρες πετρελαίου, που αποτελεί και το βασικό κομμάτι στο δεύτερο τμήμα της παρούσας μελέτης, αναλύονται οι σημαντικότεροι από τους πολλούς ρύπους ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά και στην επίδραση που αυτοί έχουν στους κινητήρες αλλά και στη λειτουργία του οχήματος. Στο επόμενο μέρος αναλύονται τα όρια εκπομπής των ρύπων αυτών, όπως αυτοί ορίζονται τόσο σε εθνικό επίπεδο από εξειδικευμένους φορείς και κυβερνήσεις, όσο και σε διακρατικό επίπεδο, από φορείς της Ευρωπαϊκή Ένωσης ή στο πλαίσιο συνδιασκέψεων για την μείωση των εκπομπών ρύπων σε παγκόσμιο επίπεδο.

4.2 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου προέρχονται από ενώσεις του αζώτου με το οξυγόνο που αποτελούν τα βασικά στοιχεία σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα. Όλες οι ενώσεις από τις ουσίες αυτές δεν θεωρούνται ρύποι. Αυτοί που λαμβάνονται ως ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Οι δυο πρώτες από αυτές αναφέρονται από κοινού ως NO_x, αλλά το NO είναι το κυρίαρχο οξείδιο του αζώτου που παράγεται από κινητήρες εσωτερικής καύσης. Το NO₂ αποτελεί ελάχιστο ποσοστό, ενώ εμφανίζει λίγο μεγαλύτερη συγκέντρωση στα χαμηλά φορτία των κινητήρων Diesel (10-25%). Αίτια

είναι γεγονός ότι το εκπεμπόμενο από τον κινητήρα στην ατμόσφαιρα NO, εξακολουθεί να οξειδώνεται προς σημαντικά ποσοστά NO₂. Οι κινητήρες diesel είναι υπεύθυνοι για το 27% των συνολικών εκπομπών NOx που αποβάλλονται στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Τα οξειδία του αζώτου (NOx) παίζουν σημαντικό ρόλο στους φωτοχημικούς κύκλους αντίδρασης, οδηγώντας έτσι στο σχηματισμό αιθαλομίχλης(φωτοχημικό νέφος). Εξαιτίας της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχουν σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις υπό την αλληλεπίδραση και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή των άκαυστων υδρογονανθράκων στα λεγόμενα φωτοχημικά οξειδωτικά και την παραγωγή όζοντος. Με τη βοήθεια του όζοντος και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, τα οξειδία του αζώτου δημιουργούν κατόπιν ένα κύκλο δευτερογενούς ρύπανσης, η οποία καταλήγει στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους και αέριων τοξικών συστατικών. Τα οξειδία του αζώτου επίσης είναι υπεύθυνα για την μείωση του πολυτίμου, για την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, στρατοσφαιρικού όζοντος, ενώ παράλληλα συμβάλουν στην όξινη βροχή που είναι υπεύθυνη για την διάβρωση του εδάφους.

4.2.1 Σχηματισμός οξειδίων του αζώτου σε κινητήρες Diesel

Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) [Ρακοπουλος,1998] σχηματίζεται σε κινητήρες diesel σε όλο το εύρος της περιοχής υψηλών θερμοκρασιών εντός καιόμενης ή καμένης περιοχής, με την προϋπόθεση φυσικά ότι υπάρχει και η απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου. Στη συνέχεια, στην φάση της αποτονωσης, ορισμένες αντιδράσεις που συμμετέχουν στο σχηματισμό NO παγώνουν με αποτέλεσμα στο καυσάεριο της εξαγωγής να υπάρχουν συγκεντρώσεις NO αρκετά μεγαλύτερες από τις αντιστοιχούσες τιμές της χημικής ισορροπίας στην ίδια θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό αναφέρεται ότι ο σχηματισμός NO καθορίζεται από την χημική κινητική των αντιδράσεων παρά την χημική ισορροπία.

4.2.2 Συνθήκες σχηματισμού NO

Το μεγαλύτερο ποσοστό NO σχηματίζεται κυρίως κατά το δεύτερο στάδιο της καύσεως, δηλαδή αυτό της ανεξέλεγκτης καύσεως οπότε η φλόγα είναι τύπου αναμίξεως με τιμές του λόγου ισοδυναμίας καυσίμου πλησίον της μονάδας, ενώ η θερμοκρασία της προαναμιγμένης καύσεως είναι ιδιαίτερα υψηλή. Λογω της συνεχούς εξαπλώσεως της δέσμης του καυσίμου οι ζώνες της αντιδράσεως έρχονται σε επαφή με τον ψυχρό αέρα που τις περιβάλλει, κατά τη διάρκεια της ελεγχόμενης καύσεως (τρίτο στάδιο της καύσεως), με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας τους και το πάγωμα των αντιδράσεων του NO. Στο σημείο αυτό παγώνει η συγκέντρωση του NO σε αρκετά υψηλές τιμές και λίγο πιο νωρίς σε σύγκριση με τους κινητήρες Otto.

Ο τοπικός χαρακτήρας του NO, εξαιτίας της έντονα ανομοιόμορφης συστάσεως του θαλάμου, επιβεβαιώνεται και από μετρήσεις που έχουν γίνει με την λήψη δειγμάτων από διαφορές θέσεις με βαλβίδες ταχείας δειγματοληψίας. Στο σημείο αυτό γίνεται μια ιδιαίτερη αναφορά στο σχηματισμό του NO και τους κινητήρες Diesel εν

μέσω εγχύσεως. Σε αυτούς τους κινητήρες η έγχυση του καυσίμου και η αρχική έναυση λαμβάνουν χώρα στον προθάλαμο, με αποτέλεσμα ο σχηματισμός του NO να ξεκινά από αυτόν. Εντός του προθαλάμου η σύσταση είναι συνήθως πλούσια ενώ η θερμοκρασία είναι υψηλή. Λόγω του γεγονότος αυτού το NO σχηματίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στον προθάλαμο, ενώ μεταφέρεται αργότερα προς τον κυρίως θάλαμο καύσεως.

4.2.3 Επίδραση των παραμέτρων λειτουργίας των τιμών του NO

Στην παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά στην επίδραση των κυριών παραμέτρων λειτουργίας στη συγκέντρωση του NO και συγκεκριμένα στο φορτίο, στην προπορεία εγχύσεως του καυσίμου, καθώς και το κλάσμα του παραμένου καυσαερίου. Όσον αφορά την επίδραση της ταχύτητας περιστροφής σημειώνεται ότι η κατάσταση είναι συγκεχυμένη και δεν μπορούν να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα.

Επίδραση του φορτίου. Επειδή η ρύθμιση του φορτίου στον κινητήρα Diesel είναι ποιοτική, όταν γίνεται αναφορά σε αυτό εννοείται ουσιαστικά ο λόγος ισοδυναμίας καυσίμου. Με την αύξηση του φορτίου παρατηρείται εν γένη αύξηση της συγκεντρώσεως του NO στο καυσαέριο, λόγω της αυξήσεως της θερμοκρασίας στην ζώνη αντιδράσεως και λόγω της υπάρξεως αρκετών περιοχών με συγκέντρωση αεροκαυσίμου γύρω από την στοιχειομετρία τιμή.

Επίδραση της προπορείας εγχύσεως του καυσίμου. Η επίδραση της προπορείας εγχύσεως στην συγκέντρωση του NO, στην εξαγωγή των κινητήρα Diesel, παρατηρείται σημαντική αύξηση του παραγόμενου NO με την αύξηση της προπορείας εγχύσεως, λόγω της σημαντικής αυξήσεως της πίεσεως και θερμοκρασίας των αερίων στον θάλαμο καύσεως.

Επίδραση του ποσοστού του παραμένου καυσαερίου. Τέλος όσον αφορά στην επίδραση του ποσοστού του παραμένου στον θάλαμο καύσεως καυσαερίου στη συγκέντρωση του NO, αναφέρεται ότι αύξηση του προκαλεί σημαντική μείωση στο NO. Η αίτια αυτή της πτώσεως είναι η ίδια όπως και στην περίπτωση των κινητήρων Otto, δηλαδή αύξηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας του περιβάλλοντος μέσου με την συνεπαγόμενη μείωση της πίεσεως και θερμοκρασίας όντος της ζώνης αντιδράσεως στην διάρκεια του κύκλου. Τα προβλήματα που προκύπτουν όταν χρησιμοποιείται ανακυκλώσιμα καυσαερίου είναι και εδώ τα ίδια, δηλαδή μείωση της συγκεντρώσεως ισχύος του κινητήρα και αύξηση της ειδικής καταναλώσεως καυσίμου.

4.3 ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) παράγεται κυρίως λόγω της καύσης στερεών, αερίων και υγρών καυσίμων οπότε η παράγωγη του προέρχεται από ένα πλήθος εφαρμογών. Εκτιμάται ότι οι κινητήρες diesel είναι υπεύθυνοι περίπου για το 5% των εκπομπών CO λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (προέρχεται κυρίως από τους

βενζινοκινητήρες). Η τοξικότητα του CO οφείλεται στην ικανότητα που έχει, για μείωση της μεταφορικής ικανότητας του αίματος σε οξυγόνο .

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι αποτέλεσμα ατελούς καύσης των υδρογονανθράκων (και του άνθρακα γενικότερα) και σχηματίζεται κυρίως στις περιοχές του θαλάμου καύσης, οι οποίες είναι ιδιαίτερα πλούσιες σε καύσιμο, κατά συνέπεια ο λόγος να είναι αυτός που καθορίζει την περίσσεια σε αέρα του μίγματος και κατ'επέκταση τον ρυθμό σχηματισμού CO. Αν οι θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές, το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να αντιδράσει περαιτέρω με το οξυγόνο σχηματίζοντας CO₂. Επειδή οι κινητήρες diesel λειτουργούν πάντα με περίσσεια αέρα, οι εκπομπές CO είναι γενικά χαμηλές.

4.4 ΑΚΑΥΣΤΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (HC)

Όλοι οι υδρογονάνθρακες [Ρακοπουλος,1998] στην ατμόσφαιρα θεωρούνται πτητικές οργανικές ενώσεις και δεν θεωρούνται ως ρύποι, παρόλο που κάποια συγκεκριμένα συστατικά τους χαρακτηρίζονται ως τοξικά. Οι περισσότεροι υδρογονάνθρακες θεωρούνται σημαντικοί καθώς συμβάλλουν στην τρυπτά του όζοντος άρα και στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους. Σύμφωνα με εκτιμήσεις οι κινητήρες diesel συμβάλλουν μόνο στο 5% των συνολικών εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

4.4.1 Σχηματισμός Άκαυστων Υδρογονανθράκων σε κινητήρες Diesel

Λογά τη περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογονάνθρακες με υψηλό σημείο ζέσεως, σε σχέση με αυτά της βενζίνης, αλλά και λόγω της πυρολύσεως τους εντός της δέσμης του εγχυμένου καυσίμου, η ποικιλία των ακαύστων ή μερικώς οξειγονομένων υδρογονανθράκων είναι αρκετά πιο πολύπλοκη από ότι στους κινητήρες Otto. Οι HC καλύπτουν κατ'αρχήν την περιοχή από μεθάνιο έως και τους βαρύτερους HC που μπορούν να παραμείνουν σε αέρια φάση μέχρι τις θερμοκρασίες των 190° C στην οποία διατηρείται η θερμαινόμενη γραμμή που χρησιμοποιείται για την αναρρόφηση του μετρητικού δείγματος των HC. Οι ακόμα βαρύτεροι υδρογονάνθρακες με σημείο συμπυκνώσεως κάτω των 190° C και άνω των 50° C συμπυκνώνονται και αφαιρούντο από την εξαγωγή, όπου γίνεται και μέτρηση τους. Η θερμοκρασία των 52° C αντιστοιχεί στην θερμοκρασία μέχρι της οποίας γίνεται αραίωση του δείγματος.

Οι HC που ανιχνεύονται στην εξαγωγή προέρχονται από καύσιμο το οποίο διέφυγε κατά την κανονική διαδικασία της καύσεως, είτε διότι το μείγμα καυσίμου-αέρα ήταν πολύ πτωχό για να αυταναφλεχθεί ή να συντηρήσει την καύση, είτε διότι ήταν πολύ πλούσιο. Το καύσιμο αυτό μπορεί αργότερα να αναλωθεί μέσω αντιδράσεων οξειδώσεως στην φάση της απομονώσεως, μετά την ανάμειξη του με επιπλέον αέρια.

Η εκπομπή HC από τους κινητήρες Diesel επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες λειτουργίας, ενώ οι μηχανισμοί που οδηγούν στον σχηματισμό τους ποικίλλουν με αυτές. Οι εκπομπές HC στο κενό φορτίο ή στα πολύ χαμηλά φορτία είναι σημαντικά μεγαλύτερες από το πλήρες φορτίο. Βεβαίως όταν ο κινητήρας

υπερφορτωθεί τότε οι εκπομπές HC αυξάνονται ραγδαία. Ο μηχανισμός που οδηγεί στον σχηματισμό HC στο κενό ή στα μερικά φόρτια είναι αυτός του πτωχού μίγματος, που οδηγεί σε υπεραναμιξημοτητα με αέρα. Αντιθέτως σε υπερβολικά υψηλό φόρτια το πλούσιο μίγμα που σχηματίζεται λόγω υποαναμιξημοτητας με αέρα είναι ο μηχανισμός που οδηγεί στην ατελή καύση του καυσίμου και άρα στον σχηματισμό HC.

Ο τελευταίος μηχανισμός περιλαμβάνει και την περίπτωση της ποσότητας του καυσίμου που παραμένει στον σάκο του ακροφυσσίου του εγχυτήρα όταν αυτός είναι πολύ μεγάλος, η όποια διαφεύγει στην καύση οδηγώντας στην εκπομπή HC. Τέλος σημαντική επίδραση στην εκπομπή HC έχει και η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσεως που μπορεί να οδηγήσει σε σβέση της φλόγας ή σε ακραίες περιπτώσεις ακόμα και σε αστοχία εναυσεως.

4.5 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ-ΑΙΘΑΛΗ

Η μεγάλη συγκέντρωση αιθάλης, που σχηματίζεται από την καύση, είναι το γνωστό φαινόμενο που παρατηρείται κυρίως στα παλαιά ταξί και γίνεται αντιληπτό ως μαύρος καπνός στην εξαγωγή. Ο όρος «αιθάλη» δίνεται για τα σωματίδια άνθρακα που σχηματίζονται κατά την καύση, και ενώ η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε υψηλή θερμοκρασία.

Η αιθάλη όταν εξετάζεται σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχει τη μορφή αλυσίδας στερεών συσσωματώσεων, που αποτελούνται από συλλογές μικρότερων πρωτογενών σωματιδίων. Αυτά είναι σφαιρικά ή σχεδόν σφαιρικά (πρωτεύοντα σωματίδια αιθάλης) συσσωρευμένα σε συναθροίσεις (συγκροτήματα ή αλυσίδες) καλούμενα σωματίδια, τα οποία εκπέμπονται από κινητήρες diesel, έχουν μέγεθος που ποικίλλει από 10 ως 80 nm και περιέχουν μικρή ποσότητα υδρογόνου.

Ένα πρωτεύον σωματίδιο περιέχει περίπου 100 άτομα άνθρακα. Τα άτομα του άνθρακα των πρωτευόντων σωματιδίων αιθάλης τοποθετούνται σε εξαγωνικές επιφάνειες που ονομάζονται «πλακίδια» (platelets). Τα πλακίδια αυτά διευθετούνται σε επίπεδα σχηματίζοντας κρυσταλίτες καθένας εκ των οποίων περιέχει 2-5 πλακίδια.

Από τα συμπτώματα στον ανθρώπινο οργανισμό, οι εκπομπές Αιθάλης σχετίζονται με σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα και θεωρούνται ύποπτες για καρκινογενέσεις. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η κατανομή μεγέθους τους, διότι σωματίδια μικρότερα της τάξης των 2,5 μm, δηλαδή το 90% της συνολικής μάζας των σωματιδίων της εξαγωγής, είναι αναπνεύσιμα και καταλήγουν απευθείας στους πνεύμονες. Μέταλλα που περιέχονται στον άνθρακα που χρησιμοποιούνται στο καύσιμο, κυρίως μόλυβδος (Pb) και νικέλιο (Ni), υπό την μορφή σκόνης ή σύνθετων μορίων έχουν την χειρότερη φήμη από άποψης τοξικότητας. Σήμερα γίνονται έρευνες για τη σχέση αυτών των εκπομπών με την εμφάνιση μορφών καρκίνου στον πληθυσμό κυρίως περιοχών όπου τα καυσαέρια από την χρήση diesel είναι αυξημένα.

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με τη σωματιδιακή ύλη είναι η σοβαρή απορρόφηση και διασπορά της ηλιακής ακτινοβολίας που υφίσταται από αυτήν. Το θέμα έχει άμεση σχέση με την διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και επομένως είναι μείζονος σημασίας. Μια τέτοια διασπορά και απορρόφηση της ηλιακής

ακτινοβολίας τείνει να ελαττώσει τη θερμοκρασία του πλανήτη σε αντίθεση με το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

4.5.1 Σχηματισμός σωματιδίων Αιθάλης

Τα στερεά σωματίδια αιθάλης που εκπέμπονται από κινητήρες diesel αποτελούνται κυρίως από άνθρακα. Σε θερμοκρασίες πάνω από 1300 K, τα συστατικά του καυσίμου στον πυρήνα της δέσμης, όπου το μίγμα είναι εξαιρετικά πλούσιο και χαρακτηρίζεται από χαμηλή περιεκτικότητα σε ατμοσφαιρικό αέρα, μπορούν να πυρολυθούν και να σχηματίσουν σωματίδια άνθρακα (εκεί εμφανίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιθάλης). Πυρόλυση καλείται η χημική διαδικασία της διάσπασης των βαρύτερων υδρογονανθράκων σε άλλους μικρότερου βάρους και πιο δραστικούς. Αυτά τα πρώτα σωματίδια είναι πολύ μικρά διότι ο ρυθμός σχηματισμού τους είναι πολύ μεγάλος. Αργότερα υπόκεινται σε επιφανειακή επέκταση, σύμπτυξη και συνάθροιση λόγω αλυσιδωτών χημικών ενώσεων που λαμβάνουν χώρα μέχρι τη μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων.

Έτσι, οι συγκεντρώσεις αιθάλης αυξάνουν ραγδαία με την έναρξη της καύσης και μειώνονται έντονα μετά το πέρας της εγχύσεως του καυσίμου, οπότε και ο πυρήνας αναμιχθεί με αέρα με φτωχότερες αναλογίες. Το μεγαλύτερο ποσοστό του στοιχειακού άνθρακα που σχηματίζεται (80% ως 98%) οξειδώνεται κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων της καύσης. Ο εναπομένον στοιχειακός άνθρακας συσσωματώνεται σε μια σύνθετη αλυσίδα σωματιδίων αιθάλης και εξέρχεται από τον κινητήρα, ως ένα συστατικό των εκπομπών στερεών σωματιδίων. Η εκπεμπόμενη αιθάλη υπόκειται στη συνέχεια σε μια επιπλέον διαδικασία αυξήσεως της μάζας της, μετά τη ψύξη και την ανάμιξη των καυσαερίων με τον αέρα περιβάλλοντος.

Από την παραπάνω περιγραφή, διαφαίνεται ότι ο σχηματισμός της αιθάλης κατά τη διάρκεια της καύσης και στη συνέχεια η εκπομπή της από τον κινητήρα με τη μορφή στερεών σωματιδίων εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- ∅ τη θερμοκρασία της καύσης,
- ∅ το χρόνο λειτουργίας με έντονα πλούσια μίγματα καυσίμου,
- ∅ τη διαθεσιμότητα των οξειδωτικών μέσων στη εξέλιξη της καύσης.

Επομένως, ο έλεγχος του σχηματισμού των σωματιδίων αιθάλης στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης, επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους, που επηρεάζουν αυτές τις μεταβλητές, όπως είναι το φορτίο (επιβολή άνω ορίου φορτίου λόγω αιθάλης), η προπορεία εγχύσεως, η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η πίεση και ο ρυθμός έγχυσης καυσίμου και η συστολή του αέρα, εξισορροπώντας παράλληλα τις επιδράσεις που προκύπτουν στις εκπομπές NOx και στην κατανάλωση καυσίμου.

4.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) παράγεται κυρίως από την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο. Η χρήση καυσίμων σε κινητήρες οχημάτων και παραγωγής ισχύος

εκτιμάται ότι είναι η πηγή λιγότερου από το 3% των συνολικών εκπομπών SO₂. Τα τελευταία χρονιά έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την αποθέρωση των καύσιμων των κινητήρων diesel με συνέπεια η συγκέντρωση των εκπομπών να είναι ολοένα και μειούμενη. Στην ατμόσφαιρα το SO₂ αντιδρά για να σχηματίσει SO₃ το οποίο εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη (αεροζόλ) θειικού οξέος. Είναι προφανής η διαβρωτική ικανότητα του θειικού οξέος στα υλικά και στις ανθρώπινες κατασκευές. Έχει επίσης τοξικές ιδιότητες που εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής της ομίχλης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες υφίστανται επίσης τη συνδυασμένη καταστροφή από το SO₂ και το θειικό οξύ. Ατσάλινες κατασκευές, καλώδια, υφάσματα, ασβεστόλιθος, οικοδομικές πέτρες, τσιμέντο και μπογιά, καταστρέφονται βαθμιαία από τους ρύπους. Η καταστροφή είναι ανεπανόρθωτη στα αναντικατάστατα αρχαία έργα τέχνης, όπως αγάλματα, μνημεία, ναούς, τα οποία έχουν επιβιώσει για εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια. Ο μέσος όρος ζωής του θείου (υπό μορφή διαφόρων ενώσεων) στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται 3-7 μέρες. Καθιζάνει τελικά στη Γη υπό μορφή θειικού οξέος και θειικών αλάτων.

4.7 ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

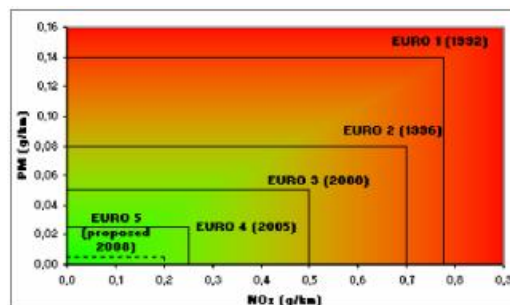
Η αναφορά στους ρύπους όπως έγινε στα προηγούμενα κεφαλαία και η επίδραση στον ανθρωπινή υγεία και δραστηριότητα καταδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω περιορισμό των βλαβερών παραγώγων της διαδικασίας της καύσης. Για το λόγο αυτό πολλοί φορείς έχουν αρχίσει να επιβάλλουν όρια στο ποσοστό εκπομπής των βλαβερών αυτών ουσιών. Τα όρια εκπομπής ρύπων από κινητήρες diesel οχημάτων βαρέως τύπου εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στην Καλιφόρνια το 1973 και στις υπόλοιπες περιοχές των Η.Π.Α το 1974. Ορίζονται ως ένα σύνολο από απαιτήσεις, οι οποίες καθορίζουν τα αποδεκτά όρια των εκπεμπόμενων ρύπων των νέων οχημάτων.

Η μελέτη εστιάζει κυρίως στην πολιτική που ακολουθείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η συμπεριφορά σε κάθε ρύπο διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με την φύση της ουσίας, ενώ παράλληλα έχουν διαμορφωθεί οδηγία πρότυπα εξέτασης, τους λεγόμενους "Κύκλους Πόλης που έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Οχήματα που δεν τηρούν τις προδιαγραφές δεν μπορούν να ταξινομηθούν στα κράτη μέλη της Ε.Ε., ενώ τα νέα πρότυπα δεν ισχύουν για οχήματα που βρίσκονται ήδη στη κυκλοφορία. Η εναρμόνιση ενός κινητήρα με το προβλεπόμενο όριο πριν το έτος 2000 γινόταν χρησιμοποιώντας τον κύκλο δοκιμών των 13 σημείων μόνιμης λειτουργίας που ονομαζόταν ECER-49. Ξεκινώντας από το 2000, αυτός ο κύκλος δοκιμών αντικαταστάθηκε από δυο νέους κύκλους: έναν ευρωπαϊκό κύκλο για κινητήρες παραγωγής ισχύος (European Stationary Cycle (ESC) και ένα αντίστοιχο κύκλο μεταβατικής λειτουργίας (European Transient Cycle (ETC).

4.7.1 Επιβατικά και ελαφρά φορτηγά με κινητήρες Diesel

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών για τα καινούργια επιβατικά και ελαφρά φορτηγά με κινητήρες Diesel καθορίζονται από την Οδηγία 70/220/EEC, η οποία έχει τροποποιηθεί αρκετές φορές. Στο Σχήμα 4.1, όπου φαίνεται η εξέλιξη των ευρωπαϊκών προδιαγραφών είναι φανερή η προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στα diesel αυτοκίνητα [Γάνου,2009].

Τα NOx και τα σωματίδια αποτελούν τους βασικούς ρύπους των Diesel σχημάτων. Όμως όρια έχουν τεθεί για κάθε κατηγορία οχήματος και κάθε τύπο ρύπου αναλυτικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Στα ελαφρού τύπου οχήματα (N1 Class) λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος αυτού. Αυτός ο διαχωρισμός είναι απαραίτητος για την ορθή κατηγοριοποίηση των οχημάτων.



Category †	Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel							
N1,Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	0.14
	Euro 2, IDI	1998.01	1.00	-	0.70	-	0.08
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.00	-	0.90	-	0.10
	Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
	Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
	Euro 5	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^e
	Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^e
N1,Class II ≤1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	0.19
	Euro 2, IDI	1998.01	1.25	-	1.0	-	0.12
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.25	-	1.3	-	0.14
	Euro 3	2001.01	0.80	-	0.72	0.65	0.07
	Euro 4	2006.01	0.63	-	0.39	0.33	0.04
	Euro 5	2010.09 ^c	0.63	-	0.295	0.235	0.005 ^e
	Euro 6	2015.09	0.63	-	0.195	0.105	0.005 ^e
N1,Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	0.25
	Euro 2, IDI	1998.01	1.5	-	1.20	-	0.17
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.5	-	1.60	-	0.20
	Euro 3	2001.01	0.95	-	0.86	0.78	0.10
	Euro 4	2006.01	0.74	-	0.46	0.39	0.06
	Euro 5	2010.09 ^c	0.74	-	0.350	0.280	0.005 ^e
	Euro 6	2015.09	0.74	-	0.215	0.125	0.005 ^e

Σχήμα 4.1: Όρια εκπομπών ρύπων για ελαφρού τύπου οχήματα [47]

4.7.2 Οχήματα βαρέως τύπου

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών για τα καινούργια βαρέως τύπου οχήματα με κινητήρες Diesel. Αρχικά υιοθετήθηκαν από την Οδηγία 88/77/EEC, η οποία τροποποιήθηκε 3 φορές. Το 2005 οι προδιαγραφές αναθεωρήθηκαν και εδραιώθηκαν με την Οδηγία 05/55/EEC . (Σχήμα 4.2)

Tier*	Date	Test	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992, <85kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, >85kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	1996.10	ECE R-49	4.0	1.1	7.0	0.25	
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	1999.10, EEVs only	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10	ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13*	0.8
Euro IV	2005.10	ECE R-49	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5

* for engines of less than 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min⁻¹

Σχήμα 4.2: Όρια εκπομπών ρύπων για βαρέως τύπου οχήματα

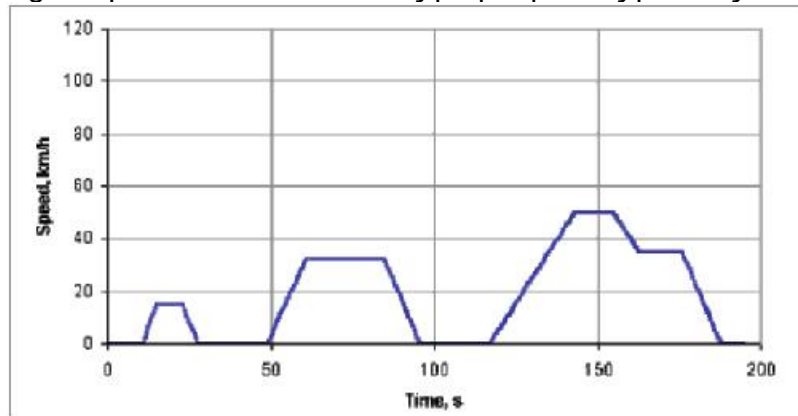
Παρατηρείται η ίδια τάση, δηλαδή η μείωση των ορίων ρύπων καθώς μεταβαίνουμε σε πιο πρόσφατη κατηγορία μέτρων. Ειδικά για τα οχήματα βαρέως τύπου οι κατηγορίες Euro IV, V είναι πολύ αυστηρές και αποτελούν πρόκληση για τους κατασκευαστές Diesel οχημάτων.

4.8 ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΙ “ΚΥΚΛΟΙ ΠΟΛΗΣ”

4.8.1 «Κύκλος Πόλης» ECE+EUDC (NEDC)

Ο «κύκλος πόλης» ECE+EUDC εκτελείται σε μία ομάδα οχημάτων και χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των εκπνεόμενων ρύπων από ελαφρά οχήματα-επιβατικά (light duty vehicles) στην Ευρώπη [Οδηγία 90/C81/01 της ΕΟΚ]. Ο κύκλος περιλαμβάνει τέσσερα ECE τμήματα, επαναλαμβανόμενα χωρίς διακοπή, που ακολουθούνται από ένα EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Πριν από τη δοκιμή, το όχημα επιτρέπεται να παραμείνει για τουλάχιστον 6 ώρες σε μια θερμοκρασία δοκιμής 20-30°C. Έπειτα πραγματοποιείται η εκκίνησή του και επιτρέπεται να μείνει στο «ρελαντί» για 40 δευτερόλεπτα. Από το έτος 2000, αυτή η περίοδος κατά την οποία το όχημα είναι στο «ρελαντί» καταργείται, δηλαδή, ο κινητήρας εκκινείται «κρύος» και η δειγματοληψία των εκπομπών αρχίζει αμέσως. Αυτή η τροποποιημένη διαδικασία ψυχρής εκκίνησης αναφέρεται επίσης ως NEDC (New European Driving Cycle).

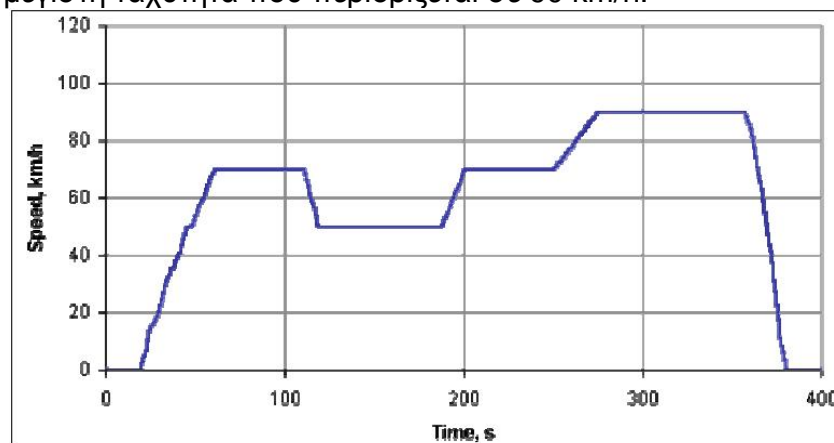
Οι εκπομπές λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου σύμφωνα με τη μέθοδο «Σταθερών Όγκων» (Constant Volume Sampling), αναλύονται, και στη συνέχεια εκφράζονται σε g/km για κάθε έναν από τους μετρούμενους ρύπους.



Σχήμα 4.3: «Κύκλος Πόλης» ECE για χαμηλής ισχύος οχήματα

Ο ECE (Σχήμα 4.3) είναι ένας αστικός οδηγητικός κύκλος, επίσης γνωστός ως UDC (Urban Driving Cycle). Επινοήθηκε για να αντιπροσωπεύσει τις συνθήκες οδήγησης σε πόλεις όπως το Παρίσι και η Ρώμη. Χαρακτηρίζεται από τη χαμηλή ταχύτητα οχημάτων, το χαμηλό φορτίο του κινητήρα, και τη χαμηλή θερμοκρασία των καυσαερίων.

Το τμήμα EUDC(Σχήμα 4.4) (Extra Urban Driving Cycle) έχει προστεθεί μετά από τον τέταρτο ECE κύκλο για να χαρακτηρίσει τον πιο “νευρικό” και με μεγάλη ταχύτητα τρόπο οδήγησης. Η μέγιστη ταχύτητα του κύκλου EUDC είναι 120 km/h. Επίσης έχει καθοριστεί ένας εναλλακτικός κύκλος EUDC για τα χαμηλής ισχύος οχήματα, με μέγιστη ταχύτητα που περιορίζεται σε 90 km/h.



Σχήμα 4.4: «Κύκλος Πόλης» EUDC για χαμηλής ισχύος οχήματα [47]

Το σχήμα 4.5 που ακολουθεί, περιλαμβάνει μια περίληψη των παραμέτρων για τους «κύκλους πόλης» ECE και EUDC.

Χαρακτηριστικά	Μονάδα	ECE 15	EUDC
Απόσταση	km	4×1,013=4,052	6,955
Διάρκεια	s	4×195=780	400
Μέση ταχύτητα	km/h	18,7 (με ρελαντί)	62,6
Μέγιστη ταχύτητα	km/h	50	120

Σχήμα 4.5: Χαρακτηριστικά κύκλου ελαφρού τύπου σχημάτων

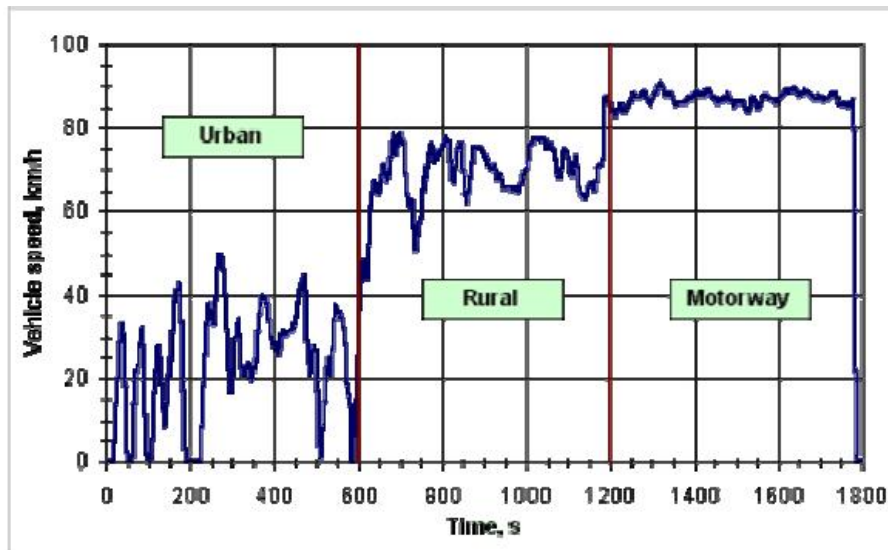
4.8.2 «Κύκλος Πόλης» ETC (European Transient Cycle)

Ο «κύκλος πόλης» ETC (επίσης γνωστός ως FIGE, Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen) έχει εισαχθεί, μαζί με τον ESC (European Stationary Cycle), για την πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων από βαρέως τύπου κινητήρες Diesel στην Ευρώπη ενώ η ισχύ του άρχισε το έτος 2000 (Οδηγία 1999/96/EC της 13ης Δεκεμβρίου 1999). Οι κύκλοι ESC και ETC αντικατέστησαν την παλαιότερη δοκιμή R-49.

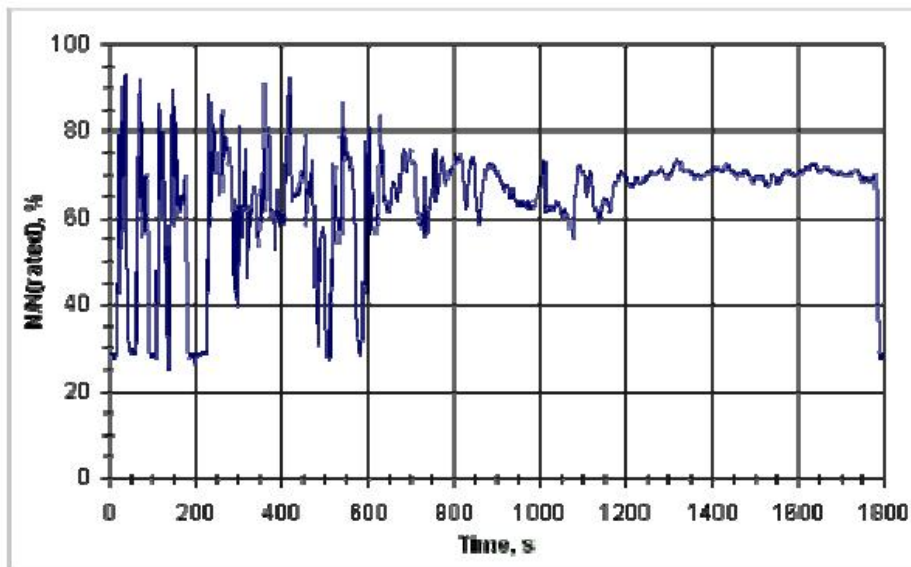
Ο κύκλος ETC έχει αναπτυχθεί από το ίδρυμα FIGE που εδρεύει στο Άαχεν της Γερμανίας, και βασίστηκε σε πραγματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε βαρέως τύπου οχήματα κατά τη διάρκεια της κυκλοφορίας τους (FIGE έκθεση 104 05 316, Ιανουάριος 1994). Ο τελικός κύκλος ETC που εφαρμόστηκε είναι μια μικρότερη και ελαφρώς τροποποιημένη έκδοση της αρχικής πρότασης FIGE. Η διάρκεια ολόκληρου του κύκλου είναι 1800s. Η διάρκεια κάθε τμήματος είναι 600s.

- ∅ Το πρώτο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση μέσα στη πόλη (Urban) που χαρακτηρίζεται από συχνές εκκινήσεις και στάσεις και από μια μέγιστη ταχύτητα 50 km/h.
- ∅ Το δεύτερο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε επαρχιακό δίκτυο (Rural) αρχίζοντας από ένα απότομο τμήμα επιτάχυνσης. Η μέση ταχύτητα είναι περίπου 72 km/h
- ∅ Το τρίτο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας (Motorway) με μέση ταχύτητα περίπου 88 km/h.

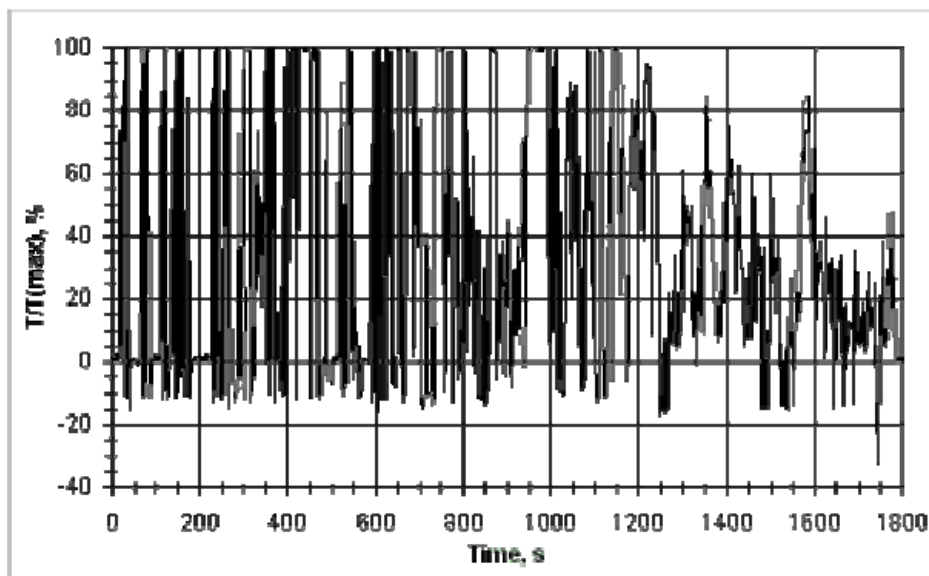
Με σκοπό την πιστοποίηση των κινητήρων, ο κύκλος ETC εκτελείται σε μία πέδη κινητήρων. Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος συναρτήσει του χρόνου. Οι καμπύλες της ανηγμένης ταχύτητας και ροπής του κινητήρα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.7 και το Σχήμα 4.8 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.6: «Κύκλος Πόλης» ETC – Ταχύτητα οχήματος



Σχήμα 4.7: «Κύκλος Πόλης» ETC – Ανηγμένη ταχύτητα κινητήρα



Σχήμα 4.8: «Κύκλος Πόλης» ETC – Ροπή κινητήρα

Η σημασία της μελέτης αυτής έγκειται σε ένα βασικό ζήτημα στους συγχρόνους κινητήρες Diesel, αυτό των εκπομπών ρύπων. Το πλήθος αυτών είναι σημαντικό με συνέπεια η προσπάθεια αντιμετώπισης του με όρια που έχουν τεθεί τόσο ως ποσοτικά μεγέθη (πρότυπα Euro) όσο και με μεταβατική δραστηριότητα (Κύκλοι πόλης). Στο επόμενο κεφαλαίο αναφέρονται οι μέθοδοι από την πλευρά των κατασκευαστών ώστε να μειώνονται οι εκπομπές των ρύπων και παράλληλα τα οχήματα να είναι καθόλα εναρμονισμένα με τα αυστηρά όρια διαφόρων φορέων.

5.ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο προηγούμενο κεφαλαίο έγινε εκτενής αναφορά στην επίδραση των διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας, κινητήρων Diesel, στην εκπομπή των ρυπογόνων ουσιών. Από την σχετική ανάλυση προέκυψαν μέθοδοι οι οποίες είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην μείωση της εκπομπής των ρυπογόνων ουσιών στην πηγή τους. Περαιτέρω μείωση της συγκεντρώσεως ρύπων στο καυσαέριο των κινητήρων είναι δυνατόν να προκύψει μονό με επεξεργασία των καυσαερίων σε συσκευές εκτός του θαλάμου καύσεως. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την μείωση των λεγόμενων ελεγχόμενων ρύπων, δηλαδή των NO_x, CO, HC και σωματιδίων, και διακρίνονται στα εξής βασικά είδη:

- Καταλυτικοί μετατροπείς (οξειδωτικοί για HC, CO και αναγωγικοί για NO_x)
- Θερμικοί αντιδραστήρες (οξειδωση HC και CO)
- Παγίδες (φίλτρα) αιθάλης στέρεων σωματιδίων
- Επανακυκλοφορία των καυσαερίων

Σημειώνεται εδώ ότι οι εκπομπές, προς την ατμόσφαιρα, των αερίων διαρροής, καθώς και του εξαμιζόμενου καυσίμου δια των εξαεριστών από την δεξαμενή του καυσίμου και την δεξαμενή πλωτήρα του εξαεριωτή μετά το σβήσιμο της μηχανής, αποτελούν επίσης πηγές ακαύστων HC. Όμως στην πλειοψηφία των σύγχρονων κινητήρων αυτές, οι μη προερχόμενες, από την σωλήνωση εξαγωγής πηγές ρύπων, ελέγχονται αποτελεσματικώς, αφενός δια επιστροφής των αερίων διαρροής από τον στροφαλοθάλαμο προς την σωλήνωση εισαγωγής και αφετέρου δια οδηγίσεως των ατμών καυσίμου από την κυρίως δεξαμενή και την δεξαμενή του εξαεριωτή, σε ένα «δοχείο άνθρακα» (carbon canister) προς απορρόφηση.

Οι μονές ικανοποιητικές μέθοδοι για την μείωση του NO στα καυσαέρια εξαγωγής περιλαμβάνουν καταλυτικές διεργασίες, με προτιμώμενη μέθοδο την καταλυτική ανάγωση του NO με τα CO, HC της εξαγωγής προς παράγωγη N₂, η οποία βεβαίως μπορεί να εφαρμοστεί κυρίως στους κινητήρες Otto, διότι οι κινητήρες Diesel παράγουν πολύ μικρές ποσότητες CO και παράγουν σχετικά μειωμένες τιμές HC. Για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί επανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR) η οποία μειώνει την εκπομπή του NO μέσω της μείωσης των θερμοκρασιών στο θάλαμο καύσεως.

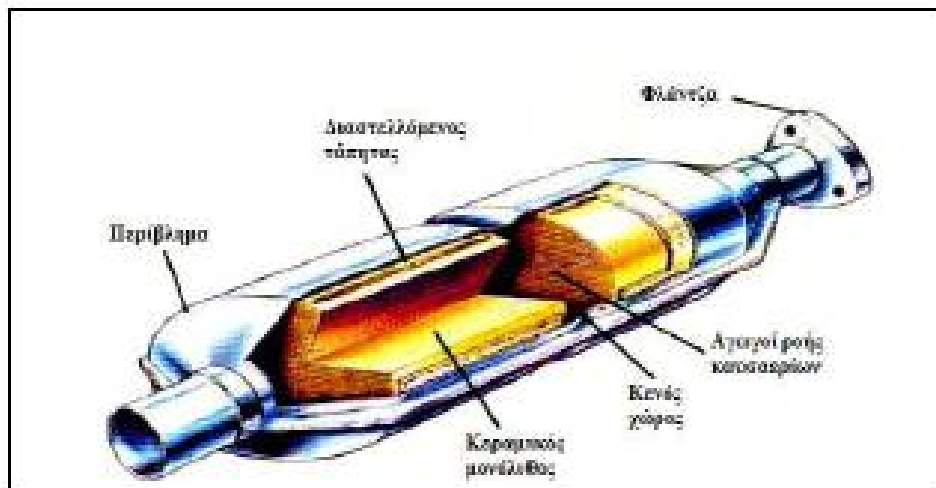
Στους κινητήρες Diesel είναι δυνατόν να επιτευχτεί μείωση των τιμών της αιθάλης στην εξαγωγή με την χρήση παγίδων αιθάλης. Λόγω του πολύ μικρού

μεγέθους των σωματιδίων της αιθάλης, απαιτείται βεβαίως η χρήση ειδικών λεπτών φίλτρων για την παγίδευση τους. Έτσι αποτελεί πολύ σημαντικό εξελικτικό πρόβλημα τους η συσσώρευση των σωματιδίων στην παγίδα που συνεπάγεται μείωση της επιφάνειας ροής των καυσαερίων και άρα αύξηση της πίεσεως αντιθλιψευς λειτουργίας του κινητήρα, με συνέπεια την μείωση της ισχύος και του βαθμού αποδόσεως του.

5.2 ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ

Το πρώτο μέτρο που δοκιμάστηκε [Μανίκας,2000] για μείωση των καυσαερίων εκτός θαλάμου καύσεων ήταν οι καταλύτες όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή. Το μετρό αυτό αν και είναι το πλέον κατάλληλο για κινητήρες Otto, δεν αποτελεί την βέλτιστη λύση για τους κινητήρες Diesel που εξετάζονται.

Ο καταλύτης (Σχήμα 5.1) είναι μια συσκευή που τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων με στόχο τη μετατροπή των εκπεμπόμενων ρυπαντών σε αβλαβή για την ατμόσφαιρα καυσαέρια.



Σχήμα 5.1: Τυπικό σχήμα καταλύτη

Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται με χημικές αντιδράσεις (π.χ. οξείδωση και αναγωγή), που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του καταλύτη. Στις αντιδράσεις αυτές:

§ Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) οξειδώνεται σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

§ Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) οξειδώνονται σε υδρατμούς (H₂O).

§ Τα οξείδια του αζώτου NO_x ανάγονται σε ατμοσφαιρικό άζωτο (N₂).

Στην περίπτωση των κινητήρων Diesel μονό η τρίτη περίπτωση είναι η ενδιαφέρουσα, αφού όπως αναλύθηκε και στο Κεφαλαίο 4, οι εκπομπές NO είναι οι κυρίαρχες κατά την διαδικασία της καύσης μίγματος πετρελαίου.

Ο καταλύτης είναι ένα στοιχείο που σε συνθήκες μεγάλης θερμοκρασίας (πάνω από 250° C) με την παρουσία του βοηθάει στην πραγματοποίηση μιας αντίδρασης, χωρίς ο ίδιος να λαμβάνει μέρος σε αυτή. Η τοποθέτηση του καταλύτη γίνεται στη σωλήνωση εξαγωγής των καυσαερίων, κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής και πριν το σιγαστήρα. Στο εσωτερικό του καταλυτικού μετατροπέα συναντάμε τα εξής ευγενή μέταλλα: λευκόχρυσο (πλατίνα, Pt), παλλάδιο (Pd), ρόδιο (Rh). Αυτά λαμβάνονται ως τα καταλυτικά υλικά.

Η ομάδα του λευκόχρυσου (Platinum Group Elements, PGE, όπως χαρακτηριζόταν αναφέρεται στη χημεία), περιλαμβάνει δυο υποομάδες:

A) Η πρώτη αναφέρεται ως τριάδα ελαφρών μετάλλων και αποτελείται από:

- ✓ το ρουθίνιο (Ru),
- ✓ το ρόδιο (Rh),
- ✓ το παλλάδιο (Pd).

B) Η δεύτερη υποομάδα αναφέρεται ως τριάδα των βαρέων μετάλλων και αποτελείται από:

- ✓ το όσμιο (Os),
- ✓ το ιρίδιο (Ir),
- ✓ ο λευκόχρυσος (πλατίνα) (Pt).

Ο καταλυτικός μετατροπέας (Σχήμα 5.2) που χρησιμοποιείται στους πετρελαιοκινητήρες είναι ένας απλός οξειδωτικός καταλύτης με λίγο μεγαλύτερες διαστάσεις από τον αντίστοιχο οξειδωτικό ενός βενζινοκινητήρα.



Σχήμα 5.2: Καταλυτικός μετατροπέας πετρελαιοκινητήρα

Αυτό συμβαίνει διότι ο όγκος εμβολισμού των κινητήρων Diesel είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από αυτών των βενζινοκινητήρων και η παροχή καυσαερίων σημαντικά μεγαλύτερη. Αρχικά τα καυσαέρια του πετρελαιοκινητήρα εισέρχονται στον οξειδωτικό καταλύτη όπου και μετατρέπονται οι HC και το CO σε θερμοκρασία περίπου 200° C. Τα μικροσωματίδια της αιθάλης συλλέγονται από το δεύτερο σώμα που λειτουργεί ως φίλτρο. Με τον τρόπο αυτό έχουμε την καταλυτική αντίδραση σε κινητήρες Diesel.

5.3 ΠΑΓΙΔΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (Αιθάλης)

Για την μείωση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων της αιθάλης [Majewski] στην εξαγωγή των κινητήρων Diesel, χρησιμοποιούνται οι παγίδες σωματιδίων ή αιθάλης όπως φαίνονται στο σχήμα, αρχικά παγιδεύουν τα σωματίδια των καυσαερίων και στην συνέχεια τα οξειδώνουν.



Σχήμα 5.3: Παγίδα αιθάλης

Η τεχνολογία των παγίδων αιθάλης στους κινητήρες Diesel παρουσιάζει αρκετά προβλήματα στην εφαρμογή της, κυριότερα των οποίων είναι:

- Ø Το φίλτρο ακόμη και καθαρό αυξάνει την πίεση αντιθλίψεως του κινητήρα.
- Ø Η ανωτέρω πίεση αντιθλίψεως αυξάνει συνεχώς με την χρήση του φίλτρου, καθώς αυτό συλλέγει περισσότερα σωματίδια.
- Ø Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, τα παγιδευμένα σωματίδια αιθάλης δεν μπορούν να αναφλεγούν και οξειδωθούν.
- Ø Όταν ξεκινήσει η ανάφλεξη των σωματιδίων, η διεργασία καταπαύσεως των πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά, για να αποφευχθεί η υπερβολική υπερθέρμανση της παγίδας που μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη ή και καταστροφή της.

Με βάση το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους, οι παγίδες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- § Κεραμικοί μονόλιθοι.
- § Πλέγμα συρμάτων επικαλυμμένων με οξείδιο του αργιλίου.
- § Κεραμικός αφρός.

§ Ψάθα κεραμικών ινών.

§ Περιέλιξη ειδικού σχοινοῦ σε πορώδη σωλήνα.

Κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες έχει την δική της ικανότητα παγιδεύσεως σωματιδίων και προβολή πτώσεως πίεσεως. Σημαντική διεργασία για την λειτουργία της παγίδας αποτελεί η λεγόμενη αναγέννηση της παγίδας η οποία συνίσταται στη κατάπαυση των παγιδευμένων σε αυτή σωματιδίων. Η τελευταία μπορεί να επιτευχθεί με την ανύψωση της θερμοκρασίας στο σημείο αναφλέξεως της αιθάλης, για όσο διάστημα παρέχονται τα πλούσια σε αέρα καυσαέρια, τα οποία καίγοντας την αιθάλη συντηρούν την καύση και συγχρόνως απάγουν την απελευθερωμένη θερμότητα.

Τα σωματίδια αιθάλης αναφλέγονται σε θερμοκρασία της τάξεως των 500 -600° C η οποία όμως είναι ανώτερη από τις κανονικές συναντημένες θερμοκρασίες εξόδου καυσαερίων κινητήρων Diesel. Έτσι, για να λάθει το πρόβλημα, θα πρέπει κατά την διάρκεια της αναγεννήσεως, είτε να γίνει εξωτερική θέρμανση των καυσαερίων που ρέουν δια της παγίδας, είτε να επιτευχθεί ανάφλεξη σε αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας προς τούτο ενεργό καταλυτικό υλικό. Το καταλυτικό υλικό μπορεί είτε να εμποτιστεί στην πορώδη κεραμική επίστρωση του υλικού υποστηρίξεως της παγίδας, είτε να προστεθεί μέσα στο ίδιο το καύσιμο Diesel, επιφέροντας μείωση στη θερμοκρασία αναφλέξεως των σωματιδίων σε χαμηλά επίπεδα.

Η πτώση πίεσης στην καθαρή παγίδα ενδεικτικά είναι 0,02 atm στις 1000 rpm αυξάνοντας στις 0,15 atm στις 4000 rpm. Αυτή η πτώση πίεσεως αυξάνεται σημαντικός κατά την φόρτιση της παγίδας, λόγω παγιδεύσεως σωματιδίων αιθάλης, μειώνοντας περαιτέρω την παραγόμενη ισχύ, για την επαναφορά της οποίας απαιτείται επιπλέον παροχή καυσίμου στον κινητήρα. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού έχουμε αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου άλλα και αυξημένη θερμοκρασία καυσαερίων, που έχει ως αποτέλεσμα την έννευση της αιθάλης και την συνεπαγόμενη οξειδωση της. με κατάλληλη σχεδίαση και τοποθέτηση της παγίδας η διαδικασία αναγεννήσεως της γίνεται μονή της και μπορεί σε μεγάλη έκταση να είναι αυτορυθμιζόμενη. Σε μια καλώς σχεδιασμένη παγίδα η μείωση της αιθάλης μπορεί να ανέλθει στα επίπεδα του 70% κατά το στάδιο που δεν αρχίζει να εμφανίζει προβλήματα.

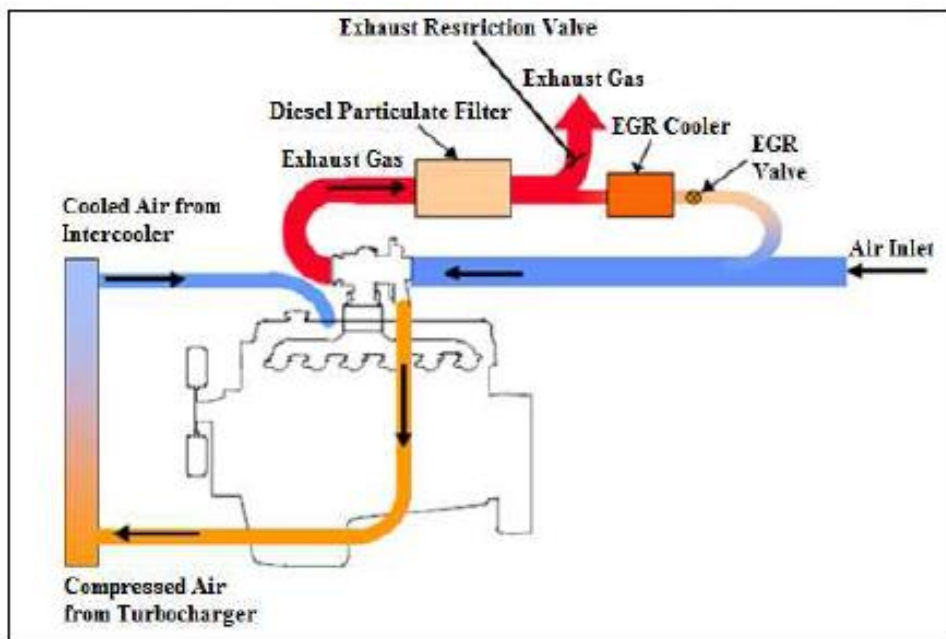
5.4 ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (Exhaust gas recirculation, EGR)

Η ανακυκλοφορία καυσαερίων πρωτοεφαρμόστηκε την δεκαετία του 1970 στις Η.Π.Α. σε βενζινοκίνητα οχήματα [Agrawal et al,2003]. Στην Ευρώπη, η ανακυκλοφορία καυσαερίων χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα νέα αυτοκίνητα και μικρά φορτηγά με κινητήρα Diesel μετά την επιβολή του προτύπου εκπομπών ρύπων Euro IV το 1996. Η τεχνική ανακυκλοφορίας των καυσαερίων χρησιμοποιείται για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου (NOx) στα καυσαέρια των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Τα οξείδια του αζώτου, ως γνωστόν, δημιουργούνται σε μεγάλη ποσότητα στον θάλαμο καύσης, όταν αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες (εκθετική εξάρτηση από τη θερμοκρασία). Σε αυτή την περίπτωση, ο τριοδικός καταλύτης δεν μπορεί να τα ανάγει, με αποτέλεσμα να εκπέμπονται στο περιβάλλον.

Η ανακυκλοφορία καυσαερίων αυξάνει σε μικρό ποσοστό την ειδική κατανάλωση καυσίμου και για το λόγο αυτό οι αυτοκινητοβιομηχανίες εμφανίζονται απρόθυμες να εγκαταστήσουν συστήματα επανακυκλοφορίας σε βαρίου τύπου οχήματα γιατί οι ιδιοκτήτες ενδιαφέρονται περισσότερο για την κατανάλωση. Παρόλα αυτά και προς συμμόρφωση με το πρότυπο ρύπων Euro IV του 2005, σε ορισμένα βαρέα οχήματα έχουν αρχίσει να εγκαθίστανται συστήματα επανακυκλοφορίας καυσαερίων.

Η εισαγωγή του EGR [Ραπποτάσιος,2009] στον θάλαμο καύσης ενός κινητήρα είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δύο μέθοδοι χρήσης καυσαερίων, ο εσωτερικός και ο εξωτερικός. Ο εσωτερικός (internal EGR) δεν αποτελεί ουσιαστικά ανακυκλοφορία του καυσαερίου, αλλά αύξηση της ποσότητας του παραμένουτος μετά την καύση, καυσαερίου (residual gas) μέσα στον κύλινδρο, το οποίο τελικώς καταλαμβάνει συγκεκριμένο χώρο στο θάλαμο καύσης. Ουσιαστικά, χρησιμοποιείται μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων, ή άλλες μέθοδοι για να προκληθεί πλημμυλής απόπλυση του κυλίνδρου. Η μέθοδος όμως αυτή δεν εμπεριέχει ψύξη των καυσαερίων και παρουσιάζει προβλήματα θερμικής φόρτισης και ελάττωσης του βαθμού πλήρωσης του κινητήρα.

Ως εκ τούτου, η πιο συνηθισμένη τεχνική είναι αυτή της εξωτερικής ανακυκλοφορίας καυσαερίου (Σχήμα 5.4). Με αυτό τον τρόπο, το καυσαέριο διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων από την εξαγωγή στην εισαγωγή και εφαρμόζεται με σύστημα i) χαμηλής πίεσης (low pressure) ή ii) υψηλής πίεσης (high pressure).



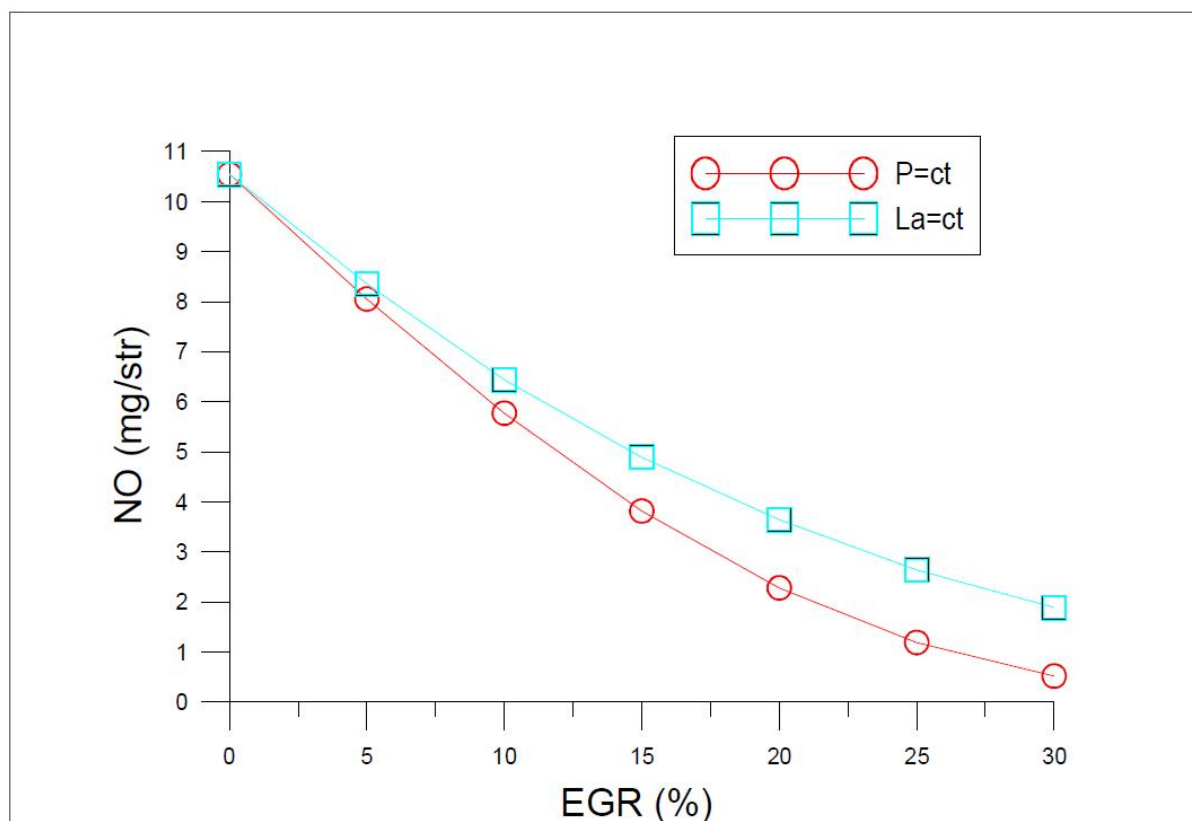
Σχήμα 5.4: EGR τεχνική εξωτερικής ανακυκλοφορίας καυσαερίου[52]

5.4.1 Επίδραση του EGR στις εκπομπές ρύπων και τη λειτουργία του κινητήρα Diesel

Οι μηχανισμοί που επηρεάζουν τη λειτουργία, και τις εκπομπές ρύπων του κινητήρα λόγω του EGR [Baert,1999] είναι:

- § **Θερμικοί μηχανισμοί:** Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα καυσαέρια που ανακυκλοφορούν, αποτελούνται μεταξύ άλλων και από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρατμό (H_2O), οι συγκεντρώσεις των οποίων αυξάνονται με την αύξηση του ποσοστού ανακυκλοφορίας. Τα δύο αυτά συστατικά του EGR έχουν υψηλότερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα και λόγω της υψηλότερης θερμοχωρητικότητας που αποκτά το μείγμα, απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την προθέρμανση του και ως εκ τούτου μειώνονται οι θερμοκρασίες.
- § **Οι μηχανισμοί αραίωσης:** Ο αυξημένος χρόνος ανάμειξης και η μεγαλύτερη διάρκεια καύσης που προκαλούνται από την αραίωση του μείγματος, λόγω μικρότερης διαθεσιμότητας σε οξυγόνο. Η καύση πραγματοποιείται στις περιοχές, όπου ο λόγος ισοδυναμίας καυσίμου-αέρα Φ είναι κοντά στις στοιχειομετρικές αναλογίες ($\Phi=1$). Με τη χρήση EGR, η τοπική συγκέντρωση O_2 στον κύλινδρο μειώνεται και ως συνέπεια μία δεδομένη παροχή καυσίμου θα πρέπει να διασκορπιστεί περισσότερο, μέχρι να επιτευχθεί η ανάμειξη του με το κατάλληλο ποσοστό O_2 . Για τη δεδομένη παροχή καυσίμου του κινητήρα, αυτή η μεγαλύτερη περιοχή του στοιχειομετρικού μίγματος περιέχει όχι μόνο το στοιχειομετρικό μείγμα, αλλά και τις συγκεντρώσεις CO_2 και H_2O των ανακυκλοφορούντων καυσαερίων. Συνεπώς ο αναγκαίος μεγαλύτερος διασκορπισμός του καυσίμου, οδηγεί επίσης σε αύξηση της καθυστέρησης ανάφλεξης και μείωση του ρυθμού καύσης. Βέβαια, τελικώς δεν παρουσιάζονται εμφανείς διαφορές στην καθυστέρηση ανάφλεξης, λόγω της ταυτόχρονης μείωσης της από την μείωση του λόγου ισοδυναμίας αέρα.
- § **Χημικοί μηχανισμοί:** Μείωση της θερμοκρασίας που προωθεί την χημική δραστηριότητα κατά τις φάσεις σχηματισμού και διάσπασης, λόγω του αυξημένου διαχωρισμού και των αντιδράσεων των σύνθετων μορίων του διοξειδίου του άνθρακα και του υδρατμού.

Στο παρακάτω διάγραμμα επισημαίνεται η επίδραση της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων στην μείωση των εκπομπών NO για διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας. Η μελέτη αφορά τόσο την περίπτωση της σταθερής πίεσης υπερπλήρωσης όσο και το σταθερό λόγο ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου



Σχήμα 5.5: Συγκέντρωση του NO συναρτήσει του ποσοστού ανακυκλοφορούμενου καυσαερίου EGR σε κινητήρα Diesel.

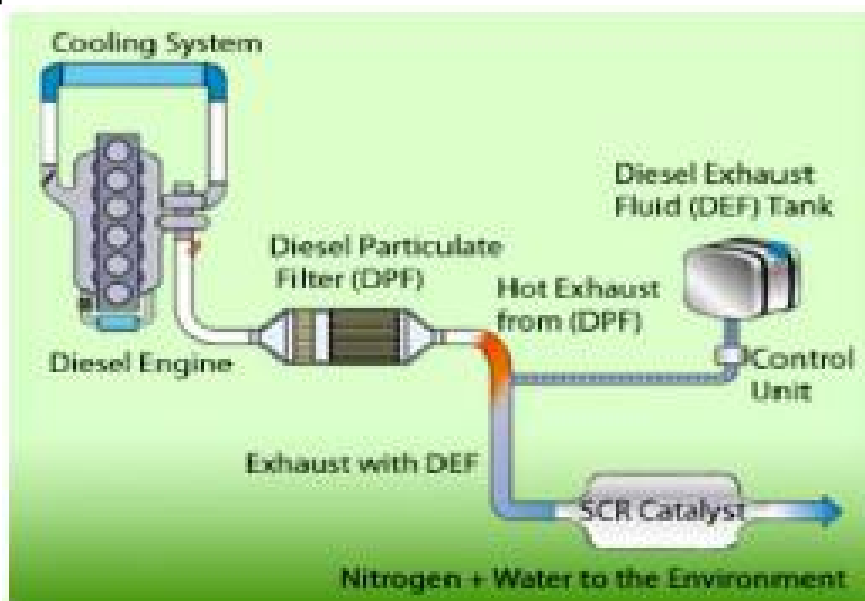
5.5 ΕΚΛΕΚΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΚΑΤΑΛΥΣΗ (Selective catalyst reduction, SCR)

Μια αρκετά αποτελεσματική μέθοδος περιστολής των NO_x είναι η μέθοδος SCR [Majewski,2005], η οποία κερδίζει έδαφος στις μέρες μας και χρησιμοποιείται σε κινητήρες Diesel. Αν και η μέθοδος αυτή στην αυτοκίνηση είναι σχετικά νέα, εφαρμόζεται εδώ και δεκαετίες στην βιομηχανία προς μείωση των εκπομπών NO_x σε βιομηχανικές μονάδες.

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος στην βιομηχανία είναι η εκλεκτική καταλυτική αναγωγή με αναγωγικό μέσο αμμωνία (NH₃). Ο λόγος είναι ότι η μέθοδος αυτή, συγκρινόμενη με άλλες τεχνικές, είναι η πλέον οικονομική και αποτελεσματική (αφαιρεί περισσότερο από το 80% των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου). Επίσης, λειτουργεί σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (180–450° C). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε κυρίως στην Ιαπωνία, όπου τα όρια εκπομπής των NO_x είναι παραδοσιακά πιο χαμηλά.

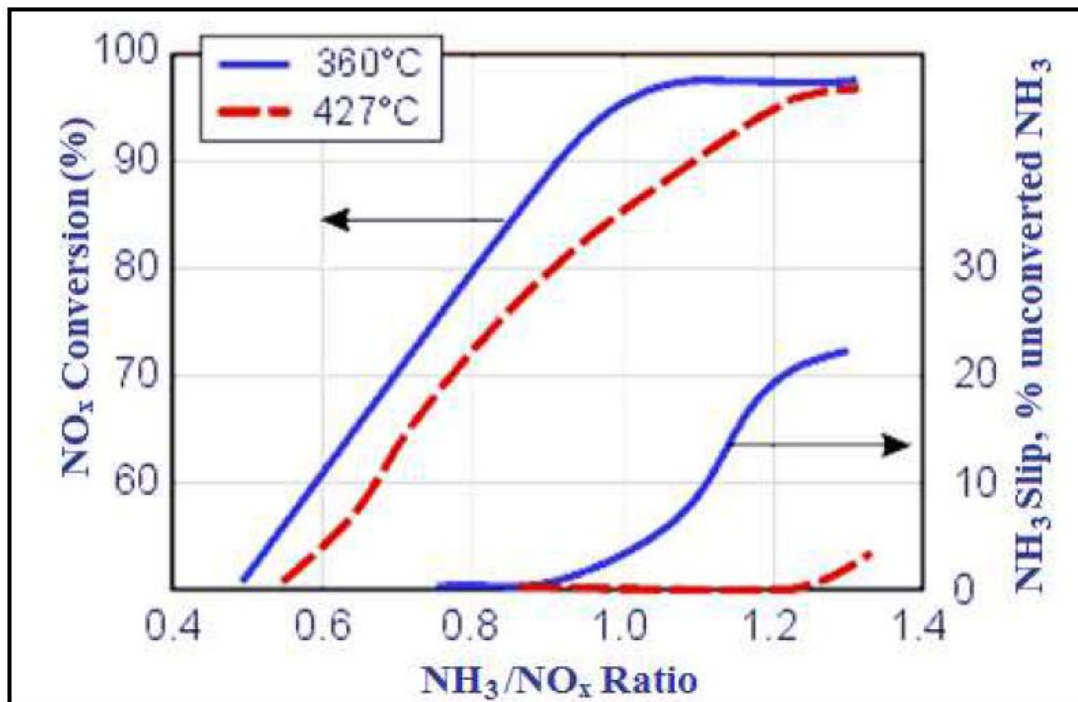
Σαν αναγωγικά μέσα έχουν εξεταστεί η αμμωνία, ουρία, CO, υδρογόνο (H₂), (μεθάνιο) CH₄ και υδρογονάνθρακες (HC), αλλά μόνο η αμμωνία είναι εκλεκτική, καθώς τα υπόλοιπα αναγωγικά μέσα αντιδρούν με το οξυγόνο που είναι παρόν στα καυσαέρια.

Στη παρούσα ενότητα θα εξεταστούν τα συστήματα SCR (Σχήμα 5.6) με αναγωγικό μέσο την αμμωνία που είναι οι πλέον εφαρμοσμένες μέθοδοι στους πετρελαιοκινητήρες βαρέων οχημάτων και όχι μόνο. Κατά την μέθοδο αυτή γίνεται χρήση ενός ειδικού καταλυτικού μετατροπέα, ο οποίος επεξεργάζεται τα καυσαέρια του κινητήρα Diesel και μειώνει τις εκπομπές NOx, σε αντίθεση με την ανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR) η οποία στόχο έχει την ελάττωση του σχηματισμού των NOx εντός του κυλίνδρου. Στην εκλεκτική καταλυτική αναγωγή, πριν την είσοδο των καυσαερίων του πετρελαιοκινητήρα στον καταλύτη SCR, εγχύεται αμμωνία συνήθως σε μορφή διαλύματος (ουρία), με αποτέλεσμα η αμμωνία να αντιδρά με το μονοξειδίο και το διοξείδιο του αζώτου (NO και NO₂) οπότε και παράγεται αβλαβές άζωτο (N₂) και υδρατμός (H₂O). Η μέθοδος αυτή έχει εξαπλωθεί ευρέως από το 2006 προς συμμόρφωση των βαρέων οχημάτων με τα αυστηρά όρια εκπομπών NOx των ευρωπαϊκών προτύπων Euro IV και V.



Σχήμα 5.6: Απεικόνιση λειτουργίας συστήματος SCR σε κινητήρα Diesel σε συνδυασμό με φίλτρο αιθάλης (DPF).

Η σχέση μεταξύ του βαθμού απομάκρυνσης του μονοξειδίου του αζώτου και του λόγου των συγκεντρώσεων NH₃/NOx (Σχήμα 5.7) στην τροφοδοσία έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές σε διάφορους καταλύτες, και στις περισσότερες περιπτώσεις η σχέση βρέθηκε να είναι γραμμική, με βέλτιστη μετατροπή για λόγο NH₃/NOx ίσο με τη μονάδα. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1 είναι αντιπροσωπευτικά για μεγάλο αριθμό καταλυτών. Όπως φαίνεται, η μετατροπή του NO αυξάνεται γραμμικά με τον λόγο NH₃/NO σε θερμοκρασιακή περιοχή 300-400° C, ενώ για λόγους μεγαλύτερους της μονάδας η μετατροπή του NO παραμένει σταθερή στη μέγιστη τιμή της. [Fable,2002]



Σχήμα 5.7: Λόγος NH₃/NO_x κατά την διαδικασία της SCR

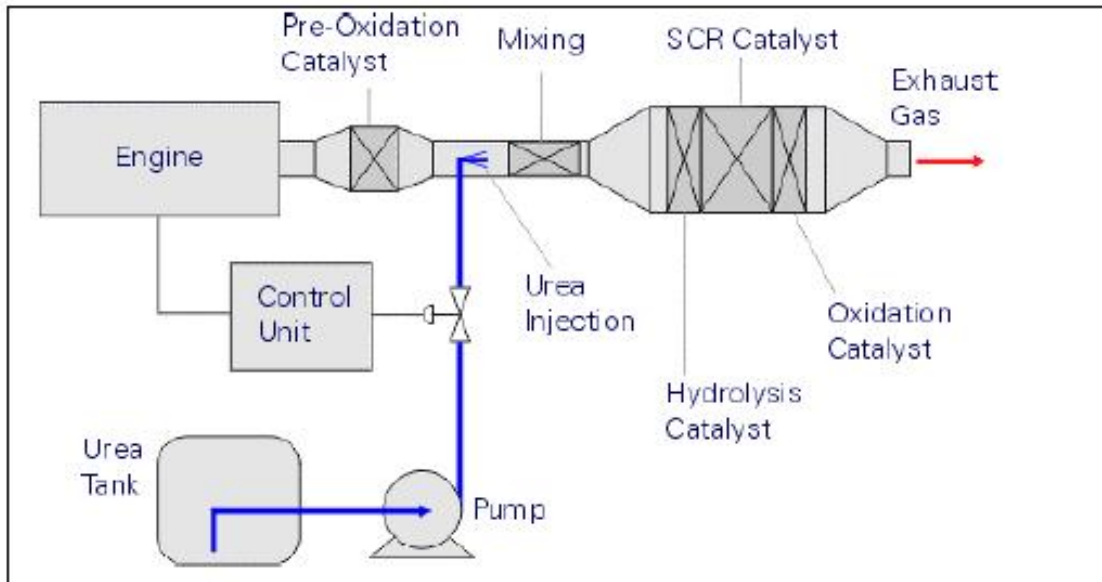
Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η υψηλή απόδοση ως προς την αναγωγή των NO_x σε N₂ που μπορεί να φτάσει και το 90%, η δυνατότητα εφαρμογής της και σε καυσαέρια που περιέχουν σωματίδια, καθώς και το ότι οι συνήθεις χρησιμοποιούμενοι καταλύτες, του τύπου βαναδίου/τιτανίου δεν απενεργοποιούνται από το SO₂ και H₂O που περιέχεται στην τροφοδοσία. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου μέχρι 5% σε σύγκριση με εναλλακτικές τεχνολογίες που βελτιστοποιούν τη λειτουργία του κινητήρα με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης. Επιπρόσθετα υπάρχει ευκολία στη συντήρηση γιατί δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη φίλτρου σωματιδίων αιθάλης όπως στην μέθοδο της ανακυκλοφορίας καυσαερίου. Βέβαια, προς επίτευξη αποδοτικότερης αντιρρύπανσης, συνήθως χρησιμοποιείται και παγίδα αιθάλη.

Ωστόσο, έχει και πολλά μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος εγκατάστασης, το υψηλό κόστος της αμμωνίας και των καταλυτών, καθώς και η τοξικότητα της αμμωνίας που διαφεύγει στο περιβάλλον και προκαλεί επιπλέον προβλήματα.

5.6 Adblue ΜΕΘΟΔΟΣ SCR

Το AdBlue [Trautwein,2003] ((NH₂)₂CO + H₂O) είναι το βασικό συστατικό της τεχνολογίας που “καταστέλλει” τα NO_x και το χρησιμοποιούν διάφοροι κατασκευαστές (Mercedes-Benz BlueTEC, Mazda SCR). Η ονομασία AdBlue (Σχήμα 5.8) είναι

κατοχυρωμένο λογότυπο που ανήκει στην V.D.A (Verband der Automobilindustrie, Γερμανική Ένωση Αυτοκινητοβιομηχανιών). Πρόκειται για ένα πρόσθετο αμμωνιαχο διάλυμα που αποθηκεύεται σε υγρή μορφή σε μία μικρή δεξαμενή ,στα επιβατικά συνήθως κάτω από το χώρο αποθήκευσης.



Σχήμα 5.8: Λειτουργία Adblue

Το AdBlue αποτελείται από 32.5% ουρία, αραιωμένη σε απιονισμένο νερό, ώστε να μειώνει τα επικίνδυνα αέρια της εξαγωγής, και εγχέεται μέσα στο σωλήνα εξαγωγής των καυσαερίων (λίγο μετά το φίλτρο των σωματιδίων και τον οξειδωτικό καταλύτη). Στους 170° C η ουρία μετατρέπεται σε αμμωνία (NH₃) η οποία συγκεντρώνεται στο καταλύτη και λειτουργεί καταλυτικά σημειώνοντας ικανοποιητική μείωση των οξειδίων του αζώτου (NO_x).

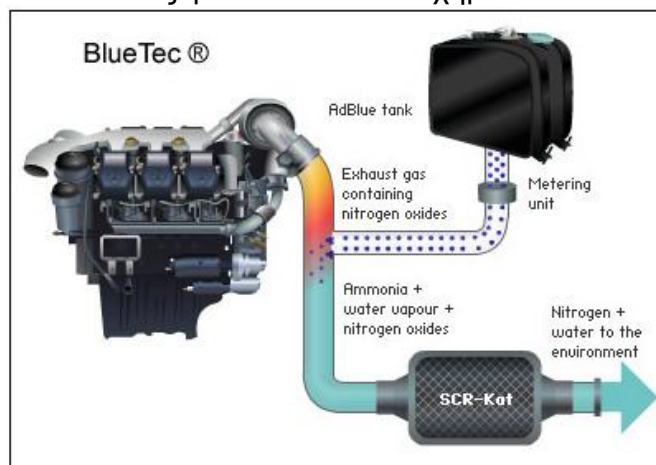
Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) του κινητήρα ελέγχει την έγχυση του AdBlue ώστε να υπάρχει πάντοτε επαρκής ποσότητα αμμωνίας στον καταλύτη. Το AdBlue δεν είναι τοξικό, είναι ελαφρώς αλκαλικό διάλυμα με Ph 9, δεν είναι εύφλεκτο ή εκρηκτικό αλλά είναι οξειδωτικό. Εάν κάποια ποσότητα εκχυθεί έξω από το δοχείο δημιουργείται αρχικά ολισθηρότητα και κατοπιν κρυσταλλοποιείται. Έτσι θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά οποιαδήποτε επαφή του με υλικά άλλα εκτός από ανοξείδωτο – πλαστικό πολυπροπυλένιο βιτόν ή τιτάνιο. Το Adblue δεν πρέπει να εκτίθεται σε θερμοκρασία κατω από -11° C (δημιουργείται κρυσταλοποίηση) και πάνω από 30° C (δημιουργείται σταδιακή αλλοίωση του μορίου). Η ψύξη και απόψυξη δεν επηρεάζει το διάλυμα.

Ανάλογα με τον τύπο του οχήματος είναι και η δεξαμενή αποθήκευσης (ρεζερβουάρ) του AdBlue. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως η δεξαμενη αποθήκευσης σε μία Mercedes- Benz R 320 BlueTEC πληρώνεται με 28 λίτρα ενώ στην GL 320 BlueTEC απαιτούνται 0.1 λίτρα ανά 100 km ώστε η αναπλήρωση του AdBlue να συμπίπτει με τις προγραμματισμένες συντηρήσεις του οχήματος.

5.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Bluetec

Στο προηγούμενο μέρος αναπτύχθηκε η μεθοδολογία αντιρρυπανσης ξεχωριστά. Στο παρόν μελετάται η συνδυασμένη λειτουργία των παραπάνω μέσα από μια εμπορική εφαρμογή, ευρύτατα διαδεδομένη, κυρίως στα οχήματα βαρέως τύπου.

BlueTec είναι η εμπορική ονομασία της Daimler AG για κινητήρες που είναι εξοπλισμένοι με την προηγμένη τεχνολογία μείωσης των εκπομπών NOx για τον έλεγχο των εκπομπών των οχημάτων σε οχήματα με κινητήρες ντίζελ. Η τεχνολογία οχημάτων BlueTec περιλαμβάνει μια επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR), σύστημα που χρησιμοποιεί τα καυσαέρια Diesel, και ένα σύστημα απορροφητών NOx, η αυτοκινητοβιομηχανία τα καλεϊ DeNOx, η οποία χρησιμοποιεί ένα οξειδωτικό καταλύτη και φίλτρο σωματιδίων diesel όπως φαίνεται και στο σχήμα.



Σχήμα 5.9: Σύστημα Bluetec

Το σύστημα BlueTec δημιουργήθηκε επειδή οι ιδιότητες του κύκλου Diesel, που δίνουν κινητήρες diesel υψηλής απόδοσης καυσίμου, οδηγούν σε σχετικά υψηλότερα επίπεδα εκπομπών ορισμένων ρύπων σε σύγκριση με μηχανές Otto κύκλο. Ενώ τα σωματίδια μπορεί να ελεγχτούν με υψηλότερες πιέσεις έγχυσης και φίλτρων σωματιδίων, η μεγάλη πρόκληση είναι ο περιορισμός των εκπομπών NOx.

Το σύστημα λειτουργεί με μια σειρά από βήματα:

- Ένας καταλύτης οξείδωσης ντίζελ μειώνει τις ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογονανθράκων (HC) που απελευθερώνεται από την εξάτμιση.
- Ένας DeNOx καταλυτικός μετατροπέας ξεκινά μια προκαταρκτική απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου.
- Ένα φίλτρο σωματιδίων (παγίδα) παγιδεύει τα σωματίδια αιθάλης, και πραγματοποιείται η καύση τους από το φίλτρο όταν γεμίσει.
- Εάν τα παραπάνω δεν επαρκούν για να καλύψουν τις εκπομπές τους ισχύοντες κανονισμούς, μία Selective Catalytic Reduction (SCR), καταλυτική μετατροπή θα μετατρέψει τα υπόλοιπα οξείδια του αζώτου σε άζωτο και νερό.

Όλα τα παραπάνω μετρά συνθέτουν την τεχνολογία BlueTec. Η Daimler εισήγαγε την τεχνολογία BlueTec στη Mercedes E-Class (με τη χρήση του συστήματος εξουδετέρωσης των NOx) και GL-Class (με χρήση SCR).

Οι μέθοδοι για την μείωση των ρύπων στους Diesel κινητήρες αποτελεί πρωτεύουσα προτεραιότητα για τις αυτοκινητοβιομηχανίες ,και για το λόγο αυτό η ανάπτυξη πολλών και διαφορετικών τεχνικών αποτελεί βασικό αντικείμενο μελέτης της σύγχρονης τεχνολογίας.

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία έχει σαν βασικό αντικείμενο την μελέτη γύρω από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και πως αυτά έχουν καταφέρει να διεισδύσουν στις χερσαίες μεταφορές. Η τεχνολογία αναπτύσσεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες και για το λόγο αυτό το πλήθος των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται τέτοιοι κινητήρες είναι αυξημένο. Πράγματι, με την βελτίωση της απόδοσης αυτών, όποτε και ο συνολικός όγκος έχει περιοριστεί, αλλά πολύ περισσότερο τα μέτρα για την μείωση των εκπομπών έχουν οδηγήσει στην διαδεδομένη εφαρμογή των κινητήρων αυτών στην σύγχρονη εποχή.

Στο πρώτο μέρος της μελέτης αυτής εισάγεται η τεχνολογία των κινητήρων Diesel. Η ανάπτυξη αυτή γίνεται με βήματα σε όλες τις μορφές διάκρισης αυτών. Έτσι γίνεται αναφορά σε 2-χρονους και 4-χρονους κινητήρες, όπου αναλύονται οι διαφορετικές φάσεις κατά την εξέλιξη της διαδικασίας. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερή αναφορά στην εκτέλεση της καύσης που είναι η βασική διαδικασία για την ρύθμιση της ισχύος. Υπάρχουν δυο βασικές τεχνικές που ακολουθούνται, η καύση σε ενιαίο θάλαμο με άμεση έγχυση του καυσίμου και η καύση σε διμερή θάλαμο. Η λειτουργία Turbo (υπερπλήρωση) είναι άμεσα συνυφασμένη με τις σύγχρονες εφαρμογές και για το λόγο αυτό αναλύεται ξεχωριστά, ενώ παράλληλα υπερτονίζονται τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στην αύξηση της ισχύος με την εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων. Τέλος οι επικουρικές διαδικασίες της ψύξης και λίπανσης του κινητήρα συντελούν στην εύρυθμη λειτουργία αυτού.

Έκτος όμως από το τεχνικό μέρος της εργασίας, σημαντικό ρόλο παίζει και το εμπορικό τμήμα με την διαφορετική χρήση του κινητήρα Diesel στις χερσαίες μεταφορές. Έτσι, αναλύεται η χρήση αυτού σε δίκυκλα (περιορισμένες στρατιωτικές εφαρμογές) και στην συνέχεια ακολουθεί η οικονομική μελέτη στα ελαφρού τύπου οχήματα. Αυτά είναι τα επιβατικά οχήματα, όπου πλέον αποτελεί ανταγωνιστική αγορά η παρουσία του κινητήρα αυτού. Η μελέτη αυτή γίνεται ώστε να διαφανεί αυτή ακριβώς η ανταγωνιστική παρουσία του κινητήρα. Η μελέτη αυτή γίνεται τόσο από την μεριά του κατασκευαστή όσο και αυτή του καταναλωτή και καταδεικνύει το αυτό, ότι πλέον και τα χαρακτηριστικά ισχύος όσο και οι εκπομπές των ρύπων καθιστούν τους πετρελαιοκινητήρες κατάλληλες λύσεις για την οδηγία λειτουργία. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση του βαρέως τύπου οχημάτων με την κατηγοριοποίηση αυτών ανάλογα με τις εμπορικές εφαρμογές, ενώ στο τέλος αναλύεται η χρήση στους σιδηροδρόμους, όπου πλέον όμως τείνει να αντικατασταθεί από τον ηλεκτρισμό.

Το δεύτερο αντικείμενο της μελέτης που διεξήχθη ήταν η διερεύνηση της χρήσης τεχνικών μείωσης των ρύπων. Οι ρύποι αποτελούν το βασικό πρόβλημα από την χρήση των καυσίμων στην σύγχρονη εποχή. Η συστηματική τους χρήση τα

προηγουμένα χρόνια είχε σαν συνέπεια την πρόκληση έντονης περιβαλλοντικής μόλυνσης. Για το λόγο αυτό τα σύγχρονα κράτη έχουν θεσπίσει μέτρα με κύριο στόχο τον περιορισμό των ρύπων αυτών.

Ο τομέας των μεταφορών είναι ο κατεξοχήν τομέας άμεσης χρήσης καύσιμων . Στο παρόν, όπου μελετάται η λειτουργία των πετρελαιοκίνητων, αρχικά αναλύονται οι εκπομπές όπως προκύπτουν από αυτούς. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικό ποσοστό στις εκπομπές των ρύπων αποτελούν τα οξειδία του αζώτου. Αντίθετα οι εκπομπές σε οξειδία του άνθρακα και θείου είναι περιορισμένες. Σε αντίθεση όμως με τους βενζινοκινητήρες, ένα σημαντικό ποσοστό των ρύπων καλύπτεται από τα σωματίδια της αιθάλης καθώς και τους HC που είναι εξίσου βλαβερά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Για τον περιορισμό των ρύπων αυτών καθώς και για την πλήρωση των κριτήριων των διακρατικών θεσμών μια σειρά από μέτρα έχουν ληφθέν. Τα μέτρα αυτά στην Ευρωπαϊκή Ένωση λαμβάνονται με την ονομασία Euro (στις μέρες μας λαμβάνεται το πρότυπο Euro 5) και το όποιο διαχωρίζεται σε οχήματα ελαφρού τύπου ή οχήματα βαρέως τύπου.

Επιπλέον ο έλεγχος της καύσης για τα οχήματα αυτά λαμβάνεται με την υποβολή των λεγομένων κύκλων πόλης. Αυτά είναι πρότυπα οδήγησης όπου προσομοιώνεται η λειτουργία των οχημάτων τόσο σε σταθερές συνθήκες οδήγησης όσο και σε μεταβαλλόμενες. Με τον τρόπο αυτό μελετάται η εκπομπή ρύπων σε περιβάλλοντα όχι εργαστηριακά αλλά βασισμένα στην πραγματική λειτουργία.

Όλες αυτές οι βλαβερές εκπομπές ρύπων σε συνδυασμό με τα αυστηρά μέτρα που έχουν τεθεί από τους διάφορους φορείς έχουν οδηγήσει στην ανάγκη για την επιβολή πρόσθετων μέτρων .Η τεχνολογία της μείωσης των ρύπων έχει αναπτυχθεί έντονα τα τελευταία χρόνια και αυτά αναλύονται στη παρούσα μελέτη. Η καταλύτη διεργασία για την μείωση των παράγωγων του αζώτου είναι μια βασική διεργασία. Λήγω της περιορισμένης παρουσίας CO και SO η τεχνική αυτή δεν είναι η πιο αποτελεσματική. Για το λόγο αυτό στην χρήση των πετρελαιοκινητήρων λαμβάνεται υπόψη η ανακυκλοφορία των καυσαερίων. Με τον τρόπο αυτό, ο αέρας των καυσαερίων επανακυκλοφορεί στο εσωτερικό του κινητήρα και η καύση οδηγεί τόσο σε βελτίωση της απόδοσης αυτού όσο και στην μείωση των ρύπων. Ο συνδυασμός αυτού με την χρήση παγίδων αιθάλης, όπου εμποδίζουν την εκπομπή των ακαύστων HC και των σωματιδίων, βελτιώνει την περιβαλλοντική συμπεριφορά των Diesel. Επιπλέον χρησιμοποιείται η τεχνική της εκλεκτικής κατάλυσης όπου παρουσία χημικών ενώσεων αμμωνίας ή ουρίας επιτυγχάνεται αντίδραση και τελικά μείωση των οξειδίων του αζώτου. Η χρήση συνθετών ουσιών όπως είναι η τεχνολογία Adblue οδηγεί σε ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Στο πλαίσιο αυτό τα τελευταία χρόνια έχουν κυριαρχήσει ολοκληρωμένες λύσεις μείωσης των εκπομπών. Μια από αυτές είναι η Bluetec, όπου συνδυάζονται τεχνικές μαζί για καλύτερα αποτελέσματα στην διαδικασία.

Όλη αυτή η μελέτη αποτελεί μια πλήρη ανάλυση της λειτουργίας των πετρελαιοκινητήρων. Η πολύπλευρη εξέταση περιλαμβάνει την περιγραφή τόσο του τεχνικού μέρους των κινητήρων αυτών, όσο και του εμπορικού και περιβαλλοντικού μέρους. Μάλιστα διαφαίνεται από την μελέτη αυτή ότι η μείωση των εκπομπών ρύπων σε συνδυασμό με την βελτίωση της απόδοσης καθιστούν τους κινητήρες αυτούς κατάλληλους για πολλαπλές εφαρμογές.

6.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ

Η μελέτη αυτή αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στην τεχνολογία των πετρελαιοκινητήρων, όμως η σύνθεση της τεχνολογίας αυτής απαιτεί περαιτέρω εξέταση. Για το λόγο αυτό η ανάλυση που προηγήθηκε λαμβάνεται σαν πρώτο βήμα για ένα πλήθος μελλοντικών εφαρμογών.

Το θέμα των αναπτυσσόμενων τριβών, κατά τη λειτουργία των κινητήρων, είναι ιδιαίτερης σημασίας στις μέρες μας. Η διαρκώς αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις καθιστούν αναγκαία την βελτίωση της μηχανικής απόδοσης τους. Η κατανόηση του μηχανισμού της τριβής και ο υπολογισμός της συμβολής των διαφόρων στοιχείων της μηχανής σε αυτήν, είναι απαραίτητα εφόδια για την βελτίωση της μηχανικής απόδοσης. Προς αυτήν την κατεύθυνση είναι σημαντική η συμβολή των μοντέλων τριβής. Τέτοιου είδους μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με θερμοδυναμική προγράμματα, σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, παρέχοντας μία πλήρη προσομοίωση της λειτουργίας των κινητήρων. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των μηχανών.

Έκτος από την βελτίωση της τεχνολογίας κατά τη διαδικασία της καύσης σημαντικό ρόλο παίζουν και οι βελτιώσεις στα περιφερειακά στοιχεία των μηχανών. Τέτοια λαμβάνονται τα συστήματα της λίπανσης και ψύξης των διαφόρων μερών, ενώ παράλληλα πρέπει να επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στον τομέα της υπερπλήρωσης. Ειδικά για την εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων πολλά βήματα πρέπει να εξεταστούν.

Οι κυριότερες τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ενέργειας του απορριπτόμενου καυσαερίου από κινητήρες Diesel, που χρήζουν ιδιαίτερης μελέτης, είναι οι ακόλουθες:

- Η σύνθετη στροβιλουπερπλήρωση με την προσθήκη στροβίλου ισχύος μετά το στρόβιλο του υπερπληρωτή, προκειμένου να μετατραπεί τμήμα της ενέργειας του καυσαερίου μέσω της εκτόνωσης του σε μηχανική ενέργεια (Mechanical Turbocharging).
- Εγκατάσταση ηλεκτρικής γεννήτριας μικρών διαστάσεων και υψηλών ταχυτήτων (ταχογεννήτρια) στον άξονα του υπερπληρωτή (Electrical Turbocharging).
- Απευθείας μετατροπή μέρους της θερμότητας του αποβαλλόμενου καυσαερίου σε ηλεκτρική ισχύ με τη χρήση θερμοηλεκτρικής γεννήτριας.
- Σύστημα κύκλου Rankine με εργαζόμενο μέσο οργανική ή ανόργανη χημική ουσία ή μίγμα ουσιών.

Η μείωση των ρύπων είναι ακόμη ένας στόχος μιας μελλοντικής προσέγγισης. Τεχνολογίες όπως είναι η Bluetech έχουν ενσωματωθεί στα diesel οχήματα πολύ πρόσφατα με συνέπεια την ανάγκη για προσομοίωση της λειτουργίας αυτών. Για το λόγο επιβάλλεται ο συνδυασμός από τις υπάρχουσες λύσεις, ώστε να διαφανεί αν αυτές είναι αντικρουόμενες ή συνεπικουρούμενες.

Όλα αυτά τα ζητήματα χρήζουν ιδιαίτερης εξέτασης και για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν στο παρόν κείμενο. Η προσέγγιση γύρω από τα ζητήματα αυτά αποτελεί βάση για μελλοντική εξέταση των δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγερίδης Γεώργιος- Καραμπίλας Πέτρος- Ρώσσης Κυριάκος ,*Μηχανές Εσωτερικής Καύσης I* ,Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ,1990.
2. Γ.Φ Δανιήλ , *Κινητήριες Μηχανές II*, Σχολή Ναυτικών δοκίμων,1995.
3. Καραπάνος Χαράλαμπος –Κοτσιλιέρης Ανάργυρος-Κουντουράς Λίνος, *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης II* ,Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ,1990.
4. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, *“Καθαρά Καύσιμα & Οχήματα”* , 2005.
5. Λαζάρου Ψ.-Κλιάνη-Ιωάννη Κ.Νικολάου-Ιωάννη Α.Σιδέρη ,*Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως* ,1992.
6. Θωμάς Μανίκας, Πολύδωρος Σταυρόπουλος, *“Καταλύτες αυτοκινήτων”*, Εκδόσεις “Ιων”,2001.
7. Τ. Παπαευαγγέλου , *«Καύσιμα και λιπαντικά»*, 4η Έκδοση, Εκδόσεις «Ίδρυμα Ευγενίδου», Εκπαιδευτικό Κείμενο Α.Δ.Σ.Ε.Π.,1998.
8. Νικόλαος Πάνου, Μεταπτυχιακή εργασία, *“Προδιαγραφές εκπομπών καυσαερίων και μεταβατικοί κύκλοι πόλης οχημάτων”*, Ε.Μ.Π , 2009.
9. Κων. Δ. Ρακόπουλος, *«Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ»*, Εκδόσεις Φούντα, Αθήνα ,1998.
10. Κων. Δ.. Ρακόπουλος *«Αρχές Βιομηχανικών Αεριοστροβίλων»*. Εκδόσεις Φούντα, Αθήνα 1998.
11. Κ. Δ. Ρακόπουλος, *«Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης»*, Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα1994.
12. Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής , *«Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση ΜΕΚ»*, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2006.
13. Κων. Δ. Ρακόπουλος, Δημ. Θ. Χουντάλας *«Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ»*. Εκδόσεις Φούντα, Αθήνα 1998.

14. Ραπτοτάσιος Σπυρίδων, Διπλωματική Εργασία, “Μελέτη της συνδυασμένης χρήσης ανακυκλοφορίας καυσαερίου και εμπλουτισμού του αέρα εισαγωγής σε οξυγόνο, σε κινητήρα Diesel άμεσης έγχυσης”, Ε.Μ.Π.,2009.
15. Χαράλαμπος Μ. Σιδέρης Διπλωματική Εργασία: «Προσομοίωση της λειτουργικής συμπεριφοράς δίχρονου κινητήρα ντίζελ ηλεκτροπαραγωγής “Sulzer 7 TAF 48”», Ε.Μ.Π. Αθήνα 2003.
16. Ι.Α. Τεγόπουλος “Ηλεκτρικές Μηχανές, Μέρος Β΄, Μόνιμη Κατάσταση” Συμμετρία, 1991.
17. Μ. Φούντη, “Θεωρία Καύσης και Συστήματα Καύσης”. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2005.
18. Δημ. Θ. Χουντάλας, Τεχνική Αναφορά: Μελέτη για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων μείωσης εκπομπών ΝΟ από τους κινητήρες ντίζελ της ΔΕΠ-εφαρμογή στον ΑΗΣ Αθρινολλάκου, Αθήνα 2005.
19. P.Andrei, “Real World Heavy-Duty Vehicle Emissions Modeling”, Master’s thesis, West Virginia University, 2001.
20. Aninash Kumar Agrawal, Shrawan Kumar Singh, Shailendra Shina and Mritunjay Kumar Shukla, , “Effect of EGR on the exhaust gas temperature and exhaust opacity in compression ignition engines”, Department of Mechanical Engineering, and Environmental Engineering and Management, Indian Institute of Technology,2003.
21. Baert R S G, Beckman D E, Veen A, , “Efficient EGR technology for future HD diesel engine emission targets”.,SAE 1999-01-0837,1999.
22. Borman G. and Nishiwaki K., «Internal-combustion engine heat transfer, Progress in Energy and Combustion Science», Vol. 13, pp. 1-46,1987.
23. Churella, Albert J. *From Steam to Diesel: Managerial Customs and Organizational Capabilities in the Twentieth-Century American Locomotive Industry*. Princeton, 1998.
24. Doherty, J M, *Diesel Locomotive Practice*, Odhams Press,1962.
25. Scott Fable, Fanta Kamakaté, Shyam Venkatesh, “Selective Catalytic Reduction Urea Infrastructure Study”,2002.
26. Ferguson C.R., Kirkpatrick A.T. , «Internal combustion engines: applied thermosciences», 2nd edition, New York, Wiley,.2001.

27. Vincent Gingery, David J Gingery ,*Building the Diesel Cycle Engine*, Publishing, 1996.
28. Marlyn Hadley, *Model Machines/Replica Wankel Models*, Model Machine Co., 1999.
29. Heywood J.B. , «Internal combustion engine fundamentals», New York, McGraw-Hill,1988.
30. Hellman, K.H. and R.M. Heavenrich, *Light-Duty Automotive Technology and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2003*, , Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency. EPA420-R-03-006,2003.
31. Kliesch, J. and T. Langer, *Deliberating Diesel: Environmental, Technical, and Social Factors Affecting Diesel Passenger Vehicle Prospects in the United States*, ACEEE, 2003.
32. Lilly LRC., «*Diesel engine reference book*», London, Butterworths,1984.
33. W. Addy Majewski, , “*Diesel Particulate Filters*”, Dieselnet.net,2001.
34. W. Addy Majewski, “*Selective Catalytic Reduction*”, Dieselnet.net,2005.
35. S. J. McGuigan, *Diesel Military Motorcycle*, Cranfield University (DCMT),2001
36. J. G. A. Meyer ,*Modern Locomotive Construction*, reprinted by Lindsay Publications Inc., 1994.
37. R.Ramamurthy, “*Heavy duty Emissions Inventory and Prediction*”, Master’s thesis, West Virginia University, 1999.
38. M.Ross, “*A Model of Fuel Economy and Driving Patterns*”, SAE 930328, 1993.
39. M.Ross, “*Fuel Efficiency and the Physics of Automobiles*”, Contemporary Physics, 1997.
40. Schipper, L., C. Marie-Lilliu, and L. Fulton, *Diesels in Europe: Analysis of Characteristics, Usage Patterns*, Journal of Transport Economics and Policy, 2002.
41. Sulzberger, Carl. “*Electric Vehicles In The Early Years Of The Automobile*” IEEE Power & Energy Magazine. May-June 2004, Vol. 2, Issue 3. Pgs. 66-71.
42. Taylor C. F., «*The internal combustion engine in theory and practice*», Vol. 2, (MIT Press, Cambridge, MA),1985.

43. Trautwein, Wolf-Peter *AdBlue as a Reducing Agent for the Decrease of NO_x Emissions from Diesel Engines of Commercial Vehicles*,2003.
44. Verboven, F., *Quality-based price discrimination and tax incidence: evidence from gasoline and diesel cars*. Rand Journal of Economics, 2002.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

45. Idaho National Laboratory. "The *History of Electric Cars: The Early Years (1890-1930)*" March 31, 2005.
46. *Royal Military Engineers Build Military Diesel Motorcycle For U.S. Marines*, Diesel Fuel News, 2001.
47. Diesel Military Motorcycle, *Hayes Diversified Technologies*, retrieved 2009-02-28.
48. Commission of the EU , *Taxation of passengers cars in the European Union*, Brussels, Belgium,2002.
49. ACEA ,*The European Automobile Manufacturers commit to substantial CO2 emission reductions from new Passenger Cars*. 1998.
50. Commission of the EU, *Implementing the Community Strategy to Reduce CO2 Emissions from Cars: Fourth annual report on the effectiveness of the strategy* ,2003.
51. Commission of the EU , *Demand for Diesels: The European Experience*. July 2001.
52. Commission of the EU ,*Monitoring of ACEA's Commitment on CO2 Emission Reduction from Passenger Cars (2002)*, in *Joint Report of the European Automobile Manufacturers Association and the Commission Services*. Brussels, Belgium, 2003.
53. Commission of the EU, *Monitoring of ACEA's Commitment on CO2 Emission Reduction from Passenger Cars (2001)*,Brussels, Belgium,2002.
54. *UK: Diesel car sales set new European record in 2003*, 2004, Just-Auto.com.
55. Times , "*Railroads To Try Diesel Locomotive*", 1998.
56. *The Evolution from Diesel to BLUETEC in Depth*,Benz,2007.