



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΨΥΞΗ - ΛΙΠΑΝΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ Μ.Ε.Κ.



ΚΟΝΤΑΡΑΤΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ε.Γ. ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007

Πρόλογος

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κύριο Ευάγγελο Γιακουμή για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την καθοδήγηση και γενικά για όλη την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Κ. Ρακόπουλο και τον αναπληρωτή καθηγητή κύριο Δ. Χουντάλα, οι οποίοι συνδιδάσκουν τα μαθήματα που αφορούν τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Η διδασκαλία τους μου κίνησε το ενδιαφέρον για την περαιτέρω ενασχόλησή μου με τη μελέτη των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου προσέφεραν καθόλη τη διάρκεια των σπουδών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°	5
ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΦΩΝ Μ.Ε.Κ.....	5
1.1 Εισαγωγή.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°	8
ΨΥΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	8
2.1 Μεταφορά θερμότητας.....	8
2.1.1 Μεταφορά θερμότητας εντός κυλίνδρου.....	9
2.2 Ψύξη εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.....	9
2.2.1 Κινητήρες Otto.....	11
2.2.2 Κινητήρες Diesel.....	20
2.3 Υδρόψυκτα συστήματα ψύξης.....	23
2.3.1 Συμβατικά συστήματα ψύξης.....	23
2.3.2 Απόδοση ψυκτικών μέσων.....	27
2.4 Ψύξη με αέρα.....	34
2.4.1 Εφαρμογές ψύξης με αέρα.....	34
2.4.2 Σχεδιασμός αερόψυκτου κυλίνδρου.....	37
2.4.2.1 Πτερύγια ψύξης.....	38
2.5 Σύγκριση ψύξης με αέρα και ψύξης με νερό.....	39
2.6 Ψύξη βαλβίδων.....	40
2.6.1 Επίδραση του μεγέθους των βαλβίδων στην ψύξη.....	42
2.7 Προηγμένα υδρόψυκτα συστήματα.....	42
2.7.1 Ψύξη ακριβείας.....	43
2.7.2 Διπλά κυκλώματα ψύξης.....	44
2.7.3 Ελεγχόμενη ψύξη θερμοκρασιών μερών κινητήρα (CCTC).....	46
2.7.4 Εξατμιστική ψύξη.....	47
2.7.5 Σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR.....	50
2.7.5.1 Ψυγείο EGR.....	51
2.8 Γενικές αρχές σχεδιασμού συστημάτων ψύξης.....	52
2.8.1 Υγρά συστήματα ψύξης.....	52
2.8.2 Αέρια συστήματα ψύξης.....	53
2.9 Ψυγεία.....	54
2.9.1 Ψυγείο με κυψέλες τύπου μεμβράνης.....	54
2.9.2 Ψυγείο με κυψέλες σωληνοειδούς τύπου.....	55
2.9.3 Ψυγείο με χωριστές σωληνώσεις.....	56
2.9.4 Ψυγείο με χωριστή άνω δεξαμενή.....	57
2.10 Ανεμιστήρες.....	58
2.10.1 Οδηγοί ανεμιστήρα ιξώδους.....	59
2.11 Θερμοστάτες.....	61
2.11.1 Τύπου “φουσερού”	63
2.11.2 Τύπου κέρινου σφαιριδίου.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°	67
ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	67
3.1 Βασικές αρχές.....	67
3.2 Σχεδιασμός των ψυγείων του αέρα υπερπλήρωσης.....	76
3.3 Ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης και επιδόσεις του κινητήρα.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	85
ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL.....	85
4.1 Silicon Nitride, Si ₃ N ₄	90

4.1.1 Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες.....	92
4.2 Partially Stabilized Zirconia (PSZ).....	92
4.2.1 Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες.....	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	95
ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	95
5.1 Εισαγωγή.....	95
5.2 Λιπαίνουσα τριβή.....	96
5.3 Λίπανση.....	100
5.4 Συστήματα λίπανσης.....	101
5.5 Λίπανση και φθορά βαλβίδων.....	107
5.6 Αντλίες ελαίου.....	107
5.6.1 Αντλία οδόντωσης.....	108
5.6.2 Πτερυγωτή αντλία.....	110
5.6.3 Αντλία εκκέντρου.....	112
5.7 Ανακουφιστική βαλβίδα.....	112
5.8 Φίλτρα ελαίου.....	113
5.8.1 Παρακαμπτήριο φίλτρο.....	114
5.8.2 Φίλτρο πλήρους ροής.....	114
5.8.3 Φίλτρο φυγόκεντρου τύπου.....	116
5.9 Ψυγεία ελαίου.....	117
5.9.1 Τύπος ψύξης με αέρα.....	117
5.9.2 Τύπος ψύξης με ψυκτικό μέσο.....	118
5.10 Σύστημα ξηρού κάρτερ.....	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°	123
ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ Μ.Ε.Κ.....	123
6.1 Εισαγωγή στα είδη λιπαντικών.....	123
6.1.1 Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός λιπαντικού.....	123
6.1.2 Παραγωγή και επεξεργασία ορυκτελαίων.....	124
6.1.2.1 Κατεργασίες με διαλύτες.....	124
6.1.2.2 Αποχρωματισμός.....	125
6.1.2.3 Χημικά πρόσθετα.....	126
6.1.3 Συνθετικά λιπαντικά.....	128
6.2 Γενικά για τα λιπαντικά των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.....	130
6.2.1 Απαιτήσεις λιπαντικών.....	133
6.2.2 Κατάταξη λιπαντικών ως προς το ιξώδες.....	138
6.3 Λιπαντικά κινητήρων Otto.....	141
6.3.1 Δίχρονοι βενζινοκινητήρες.....	141
6.3.2 Τετράχρονοι βενζινοκινητήρες.....	142
6.4 Λιπαντικά κινητήρων Diesel.....	145
6.4.1 Προδιαγραφές λιπαντελαίων κινητήρων Diesel.....	146
6.4.2 Νεότερες εξελίξεις στη λίπανση των πετρελαιοκινητήρων.....	147
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	151

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ Μ.Ε.Κ.

1.1 Εισαγωγή.

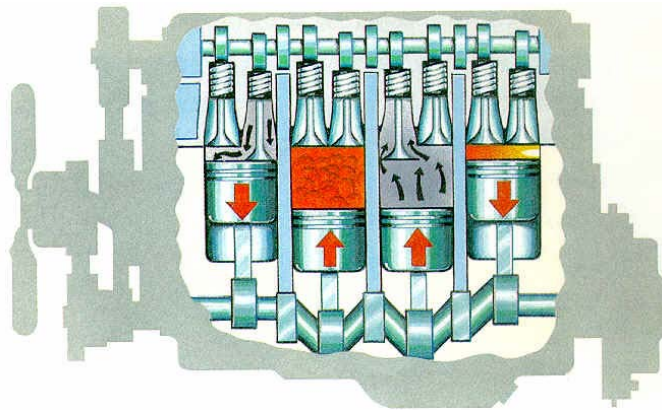
Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.) αποτελούν την κύρια κατηγορία θερμικών μηχανών. Με τις θερμικές μηχανές επιδιώκεται η παραγωγή μηχανικού έργου, αξιοποιώντας την αποταμιευμένη στα καύσιμα χημική ενέργεια, με εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά το φαινόμενο της καύσης. Ονομάστηκαν 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.

Στις Μ.Ε.Κ. ανήκουν οι εμβολοφόροι κινητήρες, οι αεριοστρόβιλοι, οι στροβιλοαντιδραστήρες, οι στατοί θερμοαντιδραστήρες και οι πυραυλοκινητήρες.

Οι εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. αποτελούν την πιο κοινή μορφή κινητηρίου μηχανής λόγω της απλής τους κατασκευής και της μεγάλης συγκέντρωσης ισχύος τους. Βρίσκουν

εφαρμογή στις μεταφορές (αυτοκίνητα, πλοία, τρένα, αεροπλάνα χαμηλής ταχύτητας, ελικόπτερα) και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

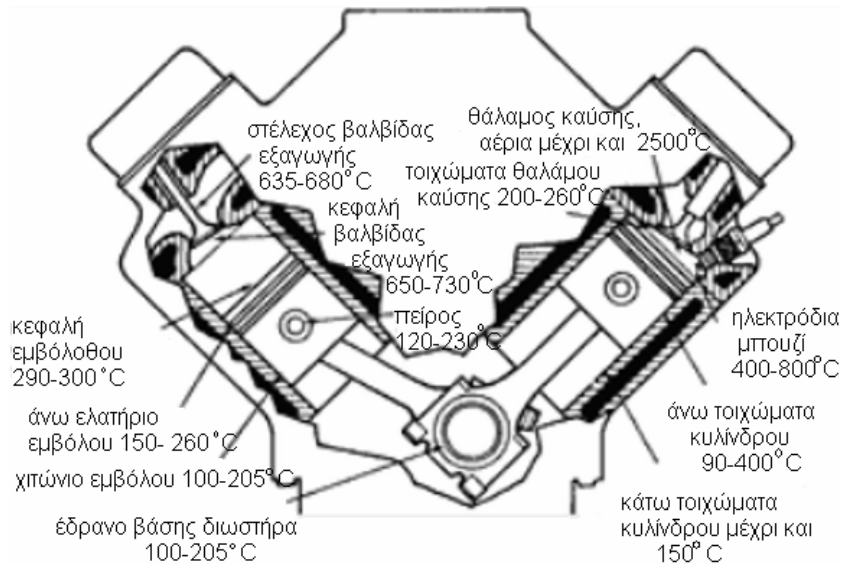
Οι βασικές φάσεις λειτουργίας μιας Μ.Ε.Κ. είναι η συμπίεση του εργαζόμενου μέσου (αέρας ή αέρας και καύσιμο) που αναρροφάται από τη μηχανή, η καύση, που διαρκεί περίπου 40° - 60° στροφής της στροφαλοφόρου ατράκτου γύρω από το άνω νεκρό σημείο, όπου παραλαμβάνουμε θερμική ενέργεια από την καύση του καυσίμου, η αποτόνωση κατά την οποία παραλαμβάνουμε το κινητήριο έργο και τέλος η φάση εναλλαγής των αερίων όπου γίνεται η έκπλυση του κυλίνδρου και η εκ νέου πλήρωσή του με εργαζόμενο μέσο ώστε να πραγματοποιηθεί ένας νέος κύκλος λειτουργίας.



Σχήμα 1.1: Φάσεις λειτουργίας εμβολοφόρου Μ.Ε.Κ.

Σε αυτή την διπλωματική Εργασία αναλύεται διεξοδικώς η ψύξη και η λίπανση των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., προϋποθέσεις πολύ σημαντικές για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία των κινητήρων. Πιο συγκεκριμένα:

Στο 2^ο Κεφάλαιο αναλύεται η ψύξη των εμβολοφόρων κινητήρων και παρουσιάζονται τα δύο είδη κινητήρων (αερόψυκτοι, υδρόψυκτοι). Επίσης αναφέρονται οι διαφορές μεταξύ συστημάτων ψύξης σε κινητήρες Diesel και Otto, καθώς επίσης και μεταξύ δίχρονων και τετράχρονων κινητήρων. Επιπλέον γίνεται αναφορά και σε ορισμένα προηγμένα υδρόψυκτα συστήματα ψύξης για την καλύτερη λειτουργία του κινητήρα. Τέλος παρουσιάζονται τα διάφορα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούν οι σύγχρονοι εμβολοφόροι κινητήρες.



Σχήμα 1.2: Χαρακτηριστικές τιμές θερμοκρασιών εντός κυλίνδρου κινητήρα εσωτερικής καύσης

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύεται η ψύξη εμβολοφόρων κινητήρων με στροβιλο-υπερπληρωτή. Σκοπός της ενδιάμεσης ψύξης (intercooling) είναι η ανύψωση της πίεσης του αέρα εισαγωγής με την ελάχιστη δυνατή αύξηση της θερμοκρασίας και ο τρόπος που πραγματοποιείται η αντίφαση αυτή αναλύεται στο Κεφάλαιο αυτό. Επίσης γίνεται εκτενής αναφορά και στα ψυγεία του αέρα υπερπλήρωσης.

Στο 4^ο Κεφάλαιο περιγράφονται οι αδιαβατικοί κινητήρες Diesel, οι οποίοι είναι μονωμένοι κινητήρες και για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιούν σύστημα ψύξης. Επιπλέον αναλύονται τα δυο πιο συνηθισμένα κεραμικά υλικά (Silicon Nitride, PSZ) που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες αυτούς.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αναλύεται η λίπανση κινητήρων εσωτερικής καύσης και η σημαντικότητα της σωστής λίπανσης για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα. Παρουσιάζονται σχηματικά διάφορα συστήματα λίπανσης για την κατανόηση της ροής του λιπαντικού ελαίου εντός του κινητήρα. Τέλος περιγράφεται το σύστημα λίπανσης ξηρού κάρτερ.

Στο 6^ο Κεφάλαιο συνεχίζεται η αναφορά στη λίπανση των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. και γίνεται σχολαστική ανάλυση των λιπαντικών ελαίων που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες και των γενικών χαρακτηριστικών που πρέπει να καλύπτουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΨΥΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

2.1 Μεταφορά θερμότητας

Υπάρχουν δύο πτυχές στη μεταφορά θερμότητας μέσα στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Αρχικά υπάρχει μεταφορά θερμότητας από το θάλαμο καύσης προς τα τοιχώματα και αφετέρου υπάρχει μεταφορά θερμότητας από τα τοιχώματα προς το ψυκτικό μέσο. Αυτή την πτυχή θα αναλύσουμε παρακάτω.

Καταρχήν, οι απαιτήσεις ψύξης εξετάζονται σε σφαιρική βάση, σε σχέση με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μηχανής, δηλ. του φορτίου και της ταχύτητας, και του τύπου των συστημάτων ψύξης, δηλαδή υδρόψυκτα ή ελαιόψυκτα. Επίσης περιλαμβάνεται εδώ μια ανάλυση της ροής θερμότητας στους κινητήρες Diesel με χαμηλές απώλειες θερμότητας (αποκαλούμενους «αδιαβατικούς» κινητήρες) με χρήση κεραμικών επιστρωμάτων ως μονωτές. Τέτοιοι κινητήρες θα συζητηθούν σε επόμενο Κεφάλαιο.

Επίσης, θα γίνει μια ανάλυση της απόδοσης των κινητήρων κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης, αλλά και σύγκριση μεταξύ αερόψυκτων και υδρόψυκτων κινητήρων.

Τέλος παρουσιάζονται κάποιες γενικές αρχές σχεδιασμού συστημάτων ψύξης και ψύξης βαλβίδων.

2.1.1 Μεταφορά θερμότητας εντός κυλίνδρου

Υπάρχουν δυο προσεγγίσεις στη μέτρηση της μεταφοράς θερμότητας εντός του κυλίνδρου. Η πρώτη είναι όταν μετράται ένα ζεύγος θερμοκρασιών αρκετά μακριά από τα καυσαέρια ώστε οι τιμές να θεωρούνται σταθερές. Η εξίσωση ροής θερμότητας μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί για να συναγάγει τη ροή θερμότητας. Η δεύτερη προσέγγιση είναι να μετρηθεί η στιγμιαία μεταβολή στην θερμοκρασία επιφάνειας, και μια δεύτερη θερμοκρασία αναφοράς, και έπειτα να λυθούν οι μη μόνιμες εξισώσεις ροής θερμότητας. Αυτό είναι προφανώς δυσκολότερο (πειραματικά και αναλυτικά), αλλά αποκαλύπτει τη στιγμιαία ροή θερμότητας αλλά και τη μέση ροή θερμότητας.

Τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται συνήθως για τις μετρήσεις θερμοκρασιών επειδή είναι ανθεκτικά και συγκριτικά φθηνά. Το μειονέκτημά τους είναι το “χαμηλό” σήμα τους, που είναι περίπου 40 mV/K, πράγμα το οποίο συνεπάγεται χρήση ενισχυτή σήματος.

2.2 Ψύξη εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.

Υπάρχουν τρεις λόγοι για την ψύξη των κινητήρων:

- a) Για να προάγει μια υψηλή ογκομετρική ικανότητα
- b) Για να εξασφαλίσει κατάλληλη καύση
- c) Για να εξασφαλίσει την καλή λειτουργία του κινητήρα και την αξιοπιστία του

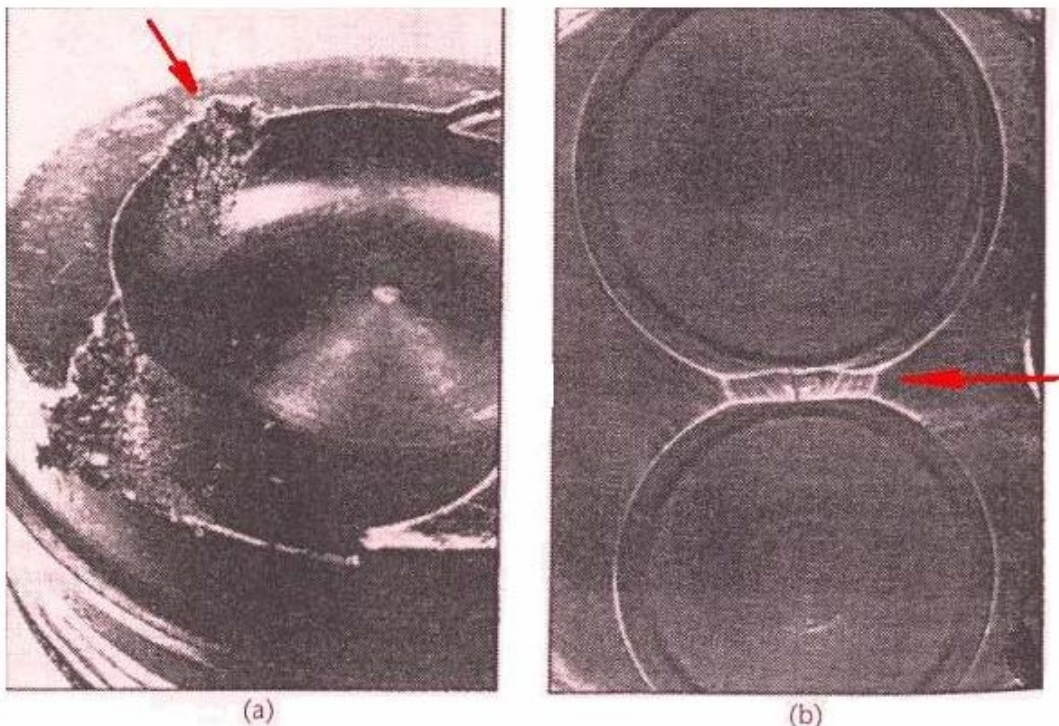
Όσο πιο “κρύες” είναι οι επιφάνειες του θαλάμου καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του αέρα που μπορεί να παγιδευτεί στον κύλινδρο, άρα και η μάζα του καυσίμου που μπορεί να καεί (δηλαδή ο ογκομετρικός β.α., ή βαθμός πλήρωσης). Γενικά, όσο υψηλότερος ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης, τόσο υψηλότερη η ισχύς του κινητήρα.

Στην περίπτωση των κινητήρων Otto, την ψύξη του θαλάμου καύσης εμποδίζει η αυτανάφλεξη του μίγματος αέρα / καυσίμου. Οι κινητήρες Otto έχουν ένα ουσιαστικά ομοιογενές μίγμα καυσίμου / αέρα, αλλά η αυτανάφλεξη μπορεί να οδηγήσει σε

γρήγορη αύξηση πίεσης, ή στην αποκαλούμενη έκρηξη (detonation) που παράγει ένα χαρακτηριστικό μεταλλικό ήχο (knocking). Αυτή η διαδικασία καταστρέφει το θερμικό οριακό στρώμα και μπορεί να οδηγήσει στην υπερθέρμανση τμημάτων και επακολούθως σε ζημιά του κυλίνδρου.

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. Το Σχήμα 2.1 δείχνει ότι “έκρηξη” μπορεί να εμφανιστεί και στους κινητήρες Diesel, εάν η απότομη καύση μετά την περίοδο καθυστέρησης ανάφλεξης είναι πάρα πολύ απότομη (παράγοντας επίσης και υψηλό θόρυβο καύσης).



Σχήμα 2.1: Παραδείγματα θερμικής καταπόνησης :(a)καταστροφή από έκρηξη στην άκρη εμβόλου κινητήρα Diesel, (b)ράγισμα στο τμήμα μεταξύ βαλβίδων (valvebridge)

2. Η μέγιστη θερμοκρασία στους αυλάκες 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, αλλά και πλήρωση των αυλάκων ελατηρίων εμβόλου με προϊόντα από το αποσυντεθημένο έλαιο.

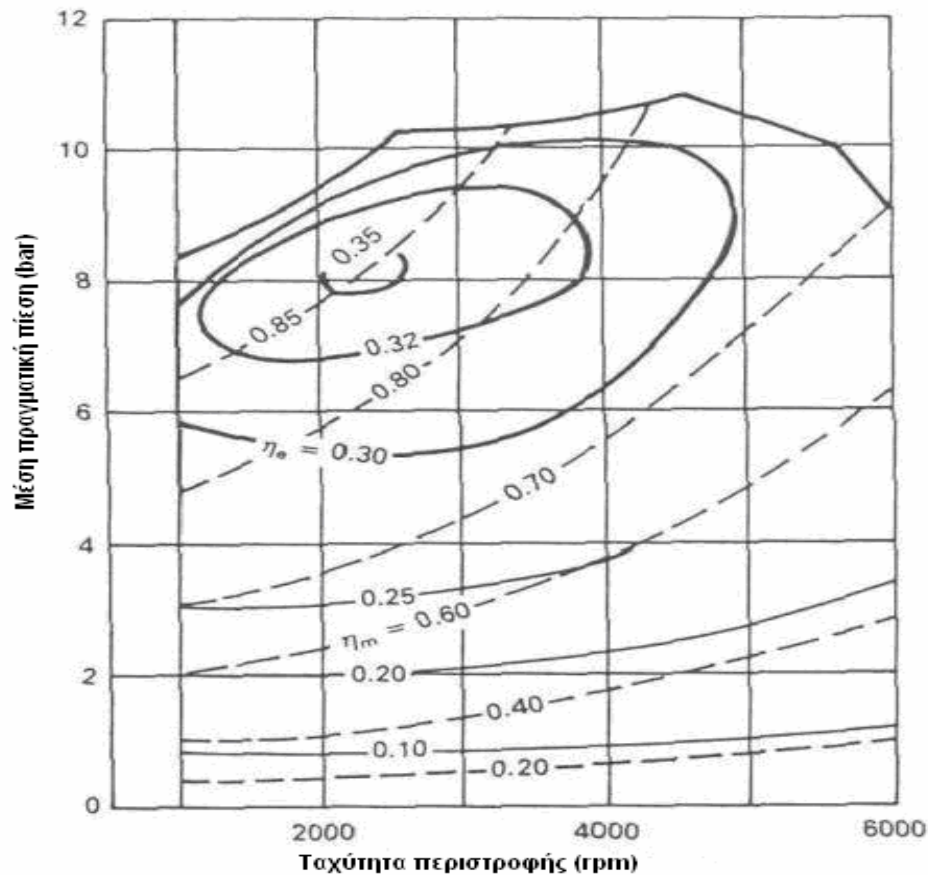
3. Τέλος η βλάβη μπορεί να προέλθει από θερμική φόρτιση.

2.2.1 Κινητήρες Otto

Η θερμοκρασία που απορρίπτεται στο ψυκτικό μέσο στους κινητήρες Otto είναι μια συνάρτηση της ταχύτητας, του φορτίου, του χρονισμού ανάφλεξης και της αναλογίας αέρα / καυσίμου.

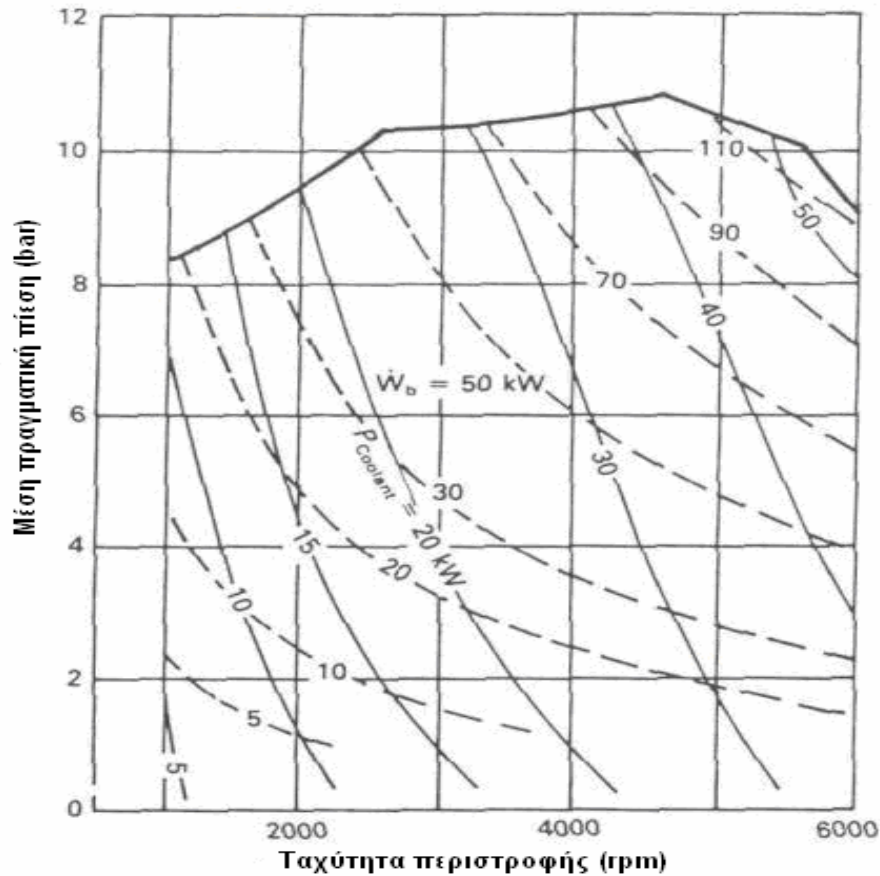
Στη συνέχεια παρουσιάζονται μια σειρά γραφικών παραστάσεων για τις διάφορες ενεργειακές ροές (καύσιμο, πραγματική ισχύς, ψυκτικό μέσο, λιπαντικό, καυσαέριο εξόδου) ως συνάρτηση της μέσης πραγματικής πίεσης (P_e) και της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, για κινητήρα Otto όγκου εμβολισμού 2.5 λίτρων.

Παρουσιάζονται επίσης γραφικές παραστάσεις της πραγματικής απόδοσης, της μηχανικής απόδοσης και της ενδεικνύμενης απόδοσης.



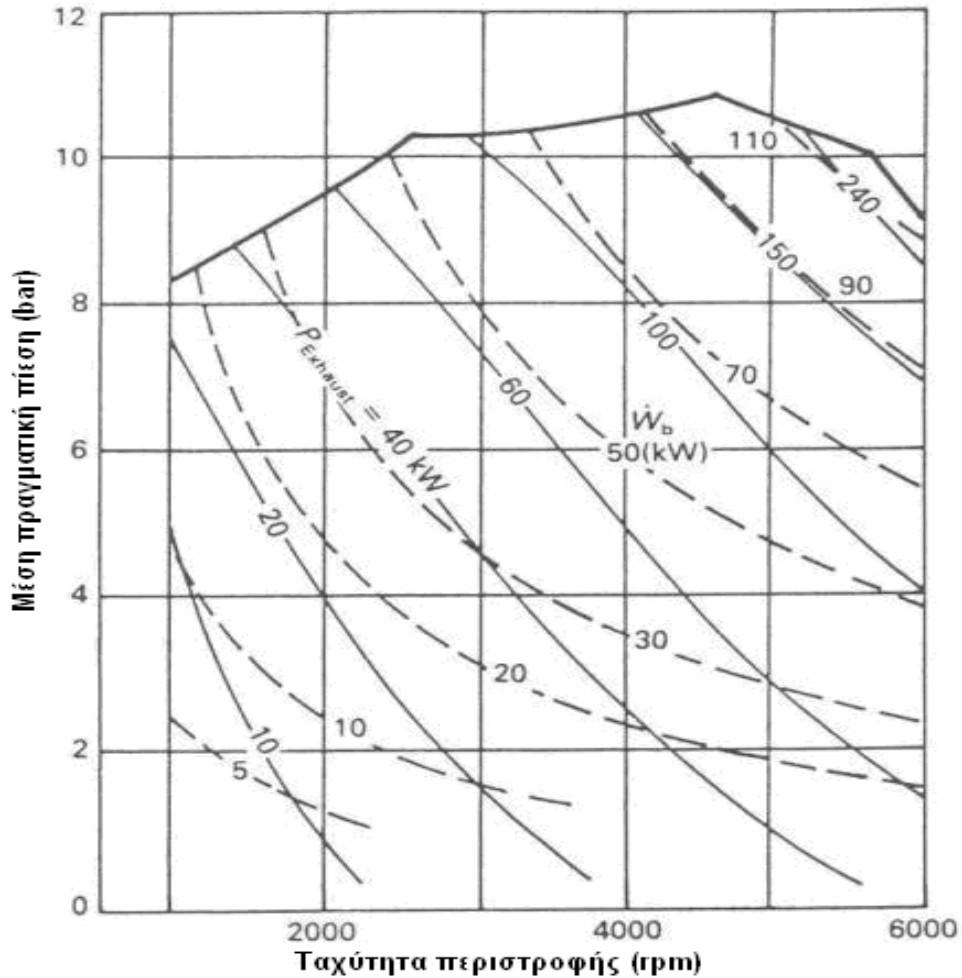
Σχήμα 2.2: Οι Καμπύλες πραγματικού β. απόδοσης η_e και μηχανικού β.α. η_m , για τετρακύλινδρο κινητήρα Diesel όγκου εμβολισμού 2,5 λίτρων.

Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει τον πραγματικό βαθμό απόδοσης και τον μηχανικό βαθμό απόδοσης συναρτήσει του φορτίου και της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Ο κινητήρας λειτουργεί σε στοιχειομετρική αναλογία στο μερικό φορτίο, ενώ με πλήρως ανοικτή ρυθμιστική δικλίδα το μίγμα έχει εμπλουτιστεί για να δώσει τη μέγιστη ισχύ. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης επηρεάζεται άμεσα από το φορτίο (με μηδενικό μηχανικό βαθμό απόδοσης εξ ορισμού χωρίς φορτίο). Το Σχήμα 2.2 επίσης δείχνει ότι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης στο πλήρες φορτίο μειώνεται από περίπου 90% στις 1000 rpm σε 70% στις 6000 rpm (στις 6000 rpm οι απώλειες τριβής αντιπροσωπεύουν περίπου 34 KW). Οι "τριβές" εκφυλίζουν μέρος του ωφέλιμου έργου ως θερμότητα, η οποία εμφανίζεται στο ψυκτικό μέσο και μερικώς στο λιπαντικό. Η απώλεια θερμότητας που καταγράφεται στο λιπαντικό είναι σχεδόν απόλυτη συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής με περίπου 5 KW να χάνονται στις 3000 rpm και 15 KW στις 6000 rpm.



Σχήμα 2.3: Οι καμπύλες πραγματικής ισχύος και οι ισοϋψείς καμπύλες θερμικής ροής στο ψυκτικό μέσο για τον ίδιο κινητήρα, όπως στο Σχήμα 2.2.

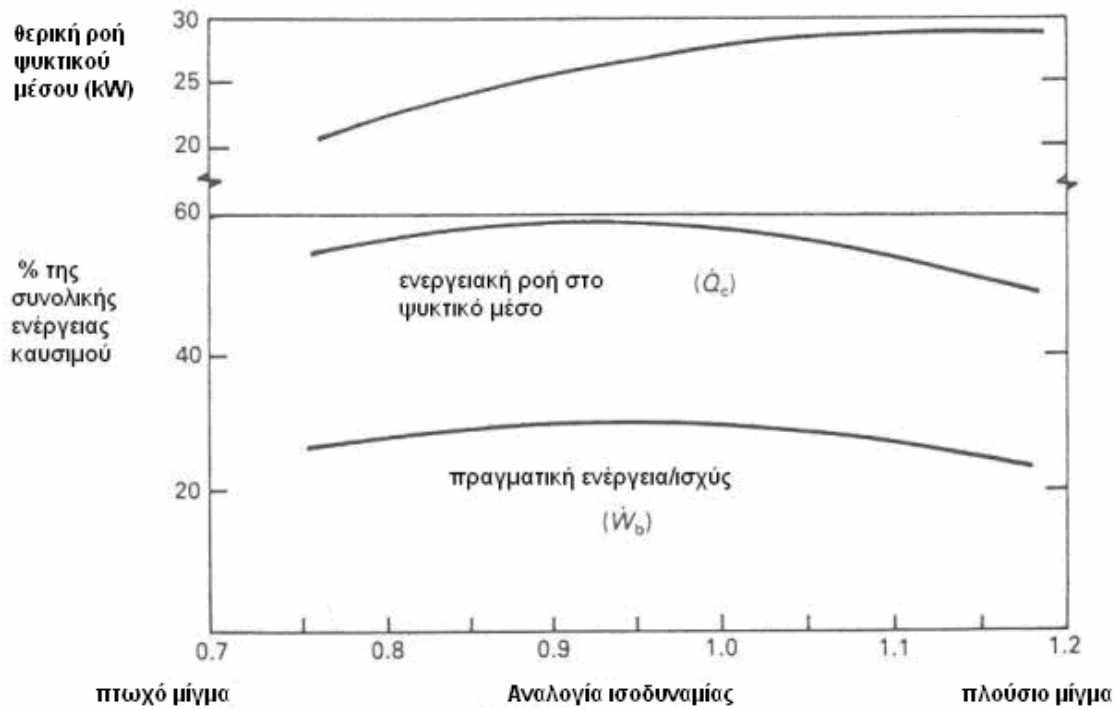
Το Σχήμα 2.3 παρουσιάζει τις ισοϋψείς καμπύλες της ενεργειακής ροής στο ψυκτικό μέσο ως συνάρτηση του φορτίου και της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Σε μέση πραγματική πίεση περίπου 1 bar, η ενεργειακή ροή στο ψυκτικό μέσο είναι περίπου διπλάσια της παραγόμενης πραγματικής ισχύος, ενώ σε μέση πραγματική πίεση 3 bar, η ενεργειακή ροή στο ψυκτικό μέσο είναι συγκρίσιμη με την παραγόμενη πραγματική ισχύ. Σε φορτία μεταξύ 8-10 bar μέσης πραγματικής πίεσης, η ενεργειακή ροή στο ψυκτικό μέσο είναι περίπου η μισή της παραγόμενης πραγματικής ισχύος. Παρ' όλα αυτά, μεγαλύτερης σπουδαιότητας για το σύστημα ψύξης του κινητήρα είναι οι απόλυτες τιμές της θερμικής απόρριψης, και το Σχήμα 2.3 δείχνει ότι η απορριπτόμενη θερμότητα στο ψυκτικό μέσο εξαρτάται περισσότερο από την ταχύτητα περιστροφής από το φορτίο.



Σχήμα 2.4: Καμπύλες πραγματικής ισχύος και ισουψείς καμπύλες θερμικής ενέργειας καυσαερίων.

Το Σχήμα 2.4 είναι αντίστοιχο του Σχήματος 2.3, δίνοντας ισουψείς καμπύλες της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων που υπερτίθενται στις καμπύλες πραγματικής ισχύος. Σχεδόν χωρίς εξαίρεση, η ενεργειακή ροή καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από την παραγόμενη πραγματική ισχύ. Εντούτοις, η ενέργεια των καυσαερίων περιλαμβάνει εν μέρει τη χημική ενέργεια των μερικών προϊόντων καύσης. Στο πλήρες φορτίο, η χημική ενέργεια είναι συγκρίσιμη με τη θερμική ενέργεια καυσαερίων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να εκφραστεί η ενεργειακή ροή στο ψυκτικό μέσο ως συνάρτηση της λόγου ισοδυναμίας καυσίμου / αέρα και αυτοί εμφανίζονται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Σύγκριση ροής ενέργειας στο ψυκτικό μέσο και πραγματικής ισχύος για κινητήρα Otto σε λειτουργία στις 1500 rpm με πλήρως ανοικτή ρυθμιστική δικλίδα και μεταβαλλόμενο λόγο ισοδυναμίας καυσίμου/αέρα και χρονισμού ανάφλεξης.

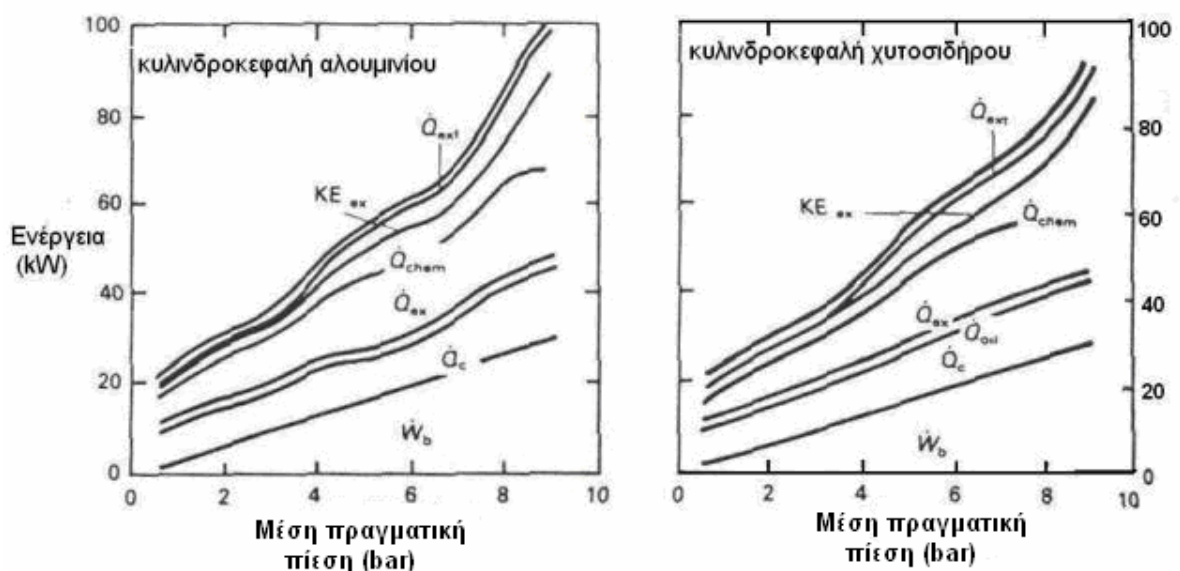
Αρχικά, από άποψη συνολικής παρεχόμενης ενέργειας καυσίμου, η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο είναι σχεδόν σταθερή στο 28% της παρεχόμενης ενέργειας, με μια ελαφριά πτώση για πλούσιο μίγμα στο 25% (λόγος ισοδυναμίας καυσίμου / αέρα 1,2).

Από την προηγούμενη ανάλυση μπορεί να διαπιστωθεί ότι η θερμική ροή στο ψυκτικό μέσο είναι μια αντανάκλαση του τρόπου με τον οποίο η πραγματική ισχύς του κινητήρα αποκρίνεται στην αλλαγή του λόγου ισοδυναμίας καυσίμου/αέρα. Η εξήγηση είναι ότι και η παραγωγή έργου και η απορριφθείσα θερμότητα είναι συνάρτηση της μέγιστης θερμοκρασίας καύσης, η οποία εξαρτάται άμεσα από το λόγο ισοδυναμίας καυσίμου / αέρα (Φ).

Η προπορεία ανάφλεξης οδηγεί σε μια αύξηση της απόλυτης τιμής της απορριπτόμενης θερμότητας στο ψυκτικό μέσο, εάν η ρυθμιστική δικλίδα, η ταχύτητα περιστροφής και η αναλογία αέρα / καυσίμου είναι σταθερά. Ενωρίτερη ανάφλεξη προκαλεί υψηλότερες θερμοκρασίες και στο καμμένο και στο άκαυστο αέριο, και αυτό οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα απορριπτόμενης θερμότητας από το θάλαμο καύσης προς το ψυκτικό μέσο.

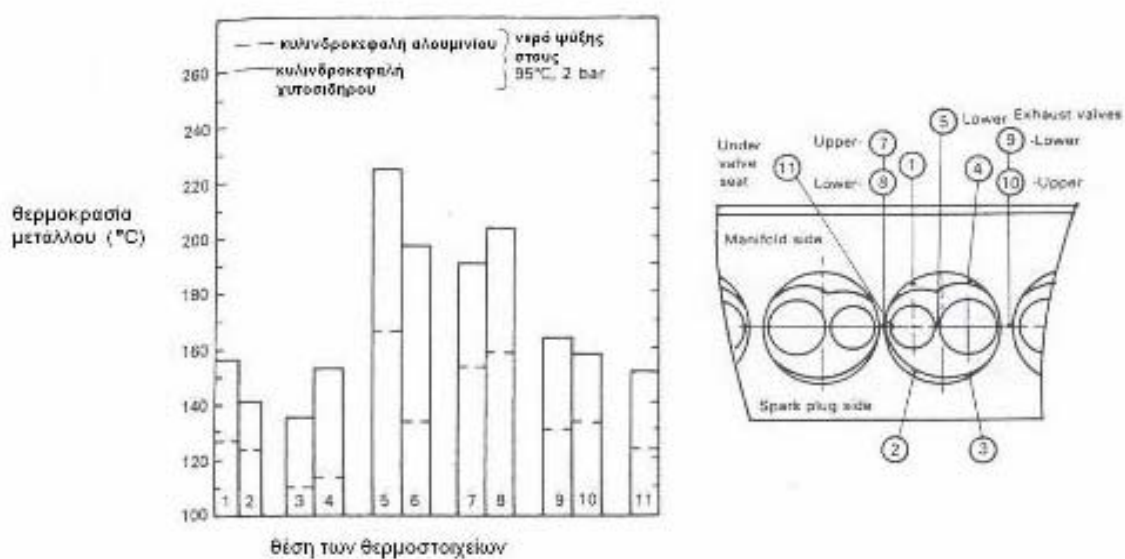
Η αύξηση του βαθμού συμπίεσης επίσης αυξάνει τις θερμοκρασίες αερίου εντός του κυλίνδρου, αλλά αυτό δεν οδηγεί απαραίτητως σε μια αύξηση της ροής θερμότητας στο ψυκτικό μέσο. Ο υψηλότερος βαθμός συμπίεσης αυξάνει το παραγόμενο έργο, και έτσι η θερμοκρασία καυσαερίων ελαττώνεται. Συνεπώς, η θερμότητα που απορρίπτεται στη βαλβίδα εξαγωγής και στον αυλό εξαγωγής ενδέχεται να μειωθεί, και αυτό μπορεί να αντισταθμίσει οποιαδήποτε αύξηση στη ροή θερμότητας από το θάλαμο καύσης. Καθώς ο βαθμός συμπίεσης συνεχίζει να αυξάνεται, τα οφέλη στο παραγόμενο έργο μειώνονται ενώ ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο του θαλάμου καύσης χειροτερεύει. Έτσι θα υπάρξει ένας βαθμός συμπίεσης επάνω από τον οποίο η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο αυξάνεται.

Το υλικό κατασκευής του κινητήρα και κυρίως της κυλινδροκεφαλής, μπορεί να επηρεάσει επίσης την απόδοση του κινητήρα. Έγιναν δοκιμές που περιέλαβαν συγκρίσεις ενεργειακού ισοζυγίου με κυλινδροκεφαλές χυτοσιδήρου και κραμάτων αλουμινίου όμοιων κινητήρων. Μερικά αποτελέσματα για μια ταχύτητα περιστροφής 2000 rpm παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6 που δείχνει την πραγματική ισχύ (W_b), τη ροή ενέργειας στο ψυκτικό μέσο (Q_c), στο λάδι (Q_{oil}) και στα καυσαέρια (Q_{ex}), τη χημική ενεργειακή ροή στα καυσαέρια (Q_{chem}) και την κινητική ή δυναμική ενεργειακή ροή στα καυσαέρια (KE_{ex}) και την άδηλη μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία και από συναγωγή (Q_{ext}). Από το συγκεκριμένο Σχήμα μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι οι ενεργειακές ροές είναι παρόμοιες σε ένα ευρύ φάσμα φορτίων.



Σχήμα 2.6: Σύγκριση μεταξύ κυλινδροκεφαλών αλουμινίου και χυτοσιδήρου, που δείχνουν την επιρροή του φορτίου στο ισοζύγιο ενέργειας σε κινητήρα Otto όγκου εμβολισμού 2 λίτρων με ταχύτητα περιστροφής 2000 rpm.

Εν τούτοις, στο πλήρες φορτίο ο κύλινδρος με κεφαλή αλουμινίου είναι λιγότερο ευαίσθητος στην αυτανάφλεξη, έτσι ώστε η προπορεία ανάφλεξης δεν περιορίζεται από την παρουσία κρουστικής καύσης. Η εξήγηση γι' αυτό δίνεται από το Σχήμα 2.7, στο οποίο παρουσιάζονται επίσης άμεσες συγκρίσεις μεταξύ κυλινδροκεφαλών χυτοσιδήρου και κεφαλών κραμάτων αλουμινίου. Το Σχήμα 2.7 δείχνει ότι για την λειτουργία σε πλήρες φορτίο σε σταθερή ταχύτητα 2000 rpm, η κυλινδροκεφαλή από κράματα αλουμινίου είχε θερμοκρασίες μετάλλου που ήταν 17-60 °C χαμηλότερες από την κυλινδροκεφαλή χυτοσιδήρου. Αυτό συμβαίνει διότι τα κράματα αλουμινίου έχουν θερμική αγωγιμότητα τριπλάσια αυτής του χυτοσιδήρου και έτσι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας μειώνουν την πιθανότητα εμφάνισης κρουστικής καύσης (knock).



Σχήμα 2.7: Ελάχιστες θερμοκρασίες μετάλλου στις κυλινδροκεφαλές αλουμινίου και χυτοσιδήρου σε λειτουργία πλήρους φορτίου στις 2000rpm.

Παρ' όλα αυτά η γενική ενεργειακή ροή δεν επηρεάζεται σημαντικά, δεδομένου ότι η υψηλότερη θερμική αντίσταση είναι στο θερμικό οριακό στρώμα του θαλάμου καύσης.

ΑΕΡΟΨΥΚΤΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΟΤΤΟ:

Η ψύξη με αέρα χρησιμοποιείται συνήθως στους κινητήρες χαμηλής απόδοσης, όπου η απλότητα ελλείπει ενός πρόσθετου μέσου ψύξης, είναι ένα πλεονέκτημα. Οι μικροί δίχρονοι κινητήρες είναι συχνά αερόψυκτοι. Οι αερόψυκτοι κινητήρες τείνουν να είναι θορυβότεροι για διάφορους λόγους:

- i) τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης μπορούν να "ακτινοβολήσουν" τον ήχο
- ii) η δομή του κινητήρα τείνει να είναι λιγότερο άκαμπτη καθώς τα "περάσματα" του υγρού ψυκτικού μέσου οδηγούν στην κατασκευή τύπου κιβωτίου
- iii) ο ανεμιστήρας παράγει σημαντική ροή αέρα

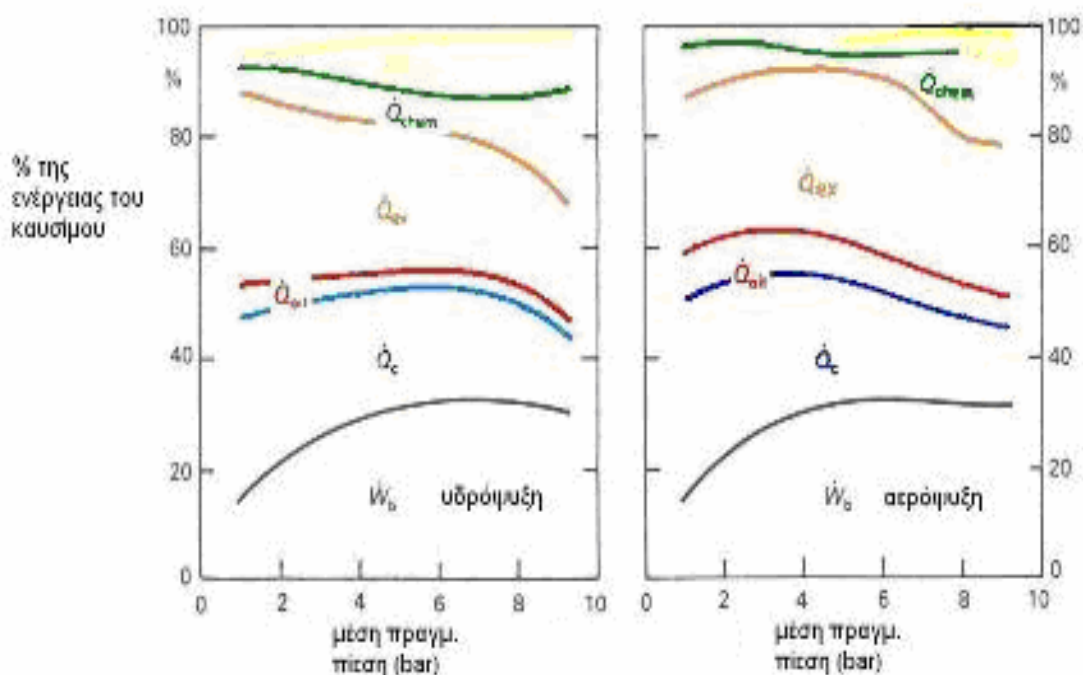


Σχήμα 2.8: Αερόψυκτος κινητήρας Otto

Η ανεπάρκεια των απλών ανεμιστήρων επίσης σημαίνει ότι οι απαιτήσεις ψύξης των αερόψυκτων μηχανών είναι μεγαλύτερες από εκείνες των υδρόψυκτων μηχανών. Όταν οι κινητήρες Otto ήταν η κοινή μορφή προώθησης αεροσκαφών, ήταν αποδεκτό ότι οι αερόψυκτοι κινητήρες είχαν μια ελαφρώς χαμηλότερη ισχύ και απόδοση. Εντούτοις, το όφελος βάρους που συνδέθηκε με έναν αερόψυκτο κινητήρα σήμαινε ότι για τα ταξίδια διάρκειας μέχρι 5 ή 6 ωρών, το γενικό βάρος «μηχανή συν τα καύσιμα» ενός αερόψυκτου ήταν χαμηλότερο από το βάρος ενός υδρόψυκτου κινητήρα και των καυσίμων του. Μια άμεση σύγκριση μεταξύ των υδρόψυκτων και αερόψυκτων κινητήρων γίνεται στο Σχήμα 2.9, το οποίο παρουσιάζει ενεργειακό ισοζύγιο σε

σταθερή ταχύτητα περιστροφής 2000 rpm, στο οποίο αξιολογήθηκαν οι ακόλουθες ενεργειακές ροές:

- η πραγματική ισχύς (W_b)
 - η ροή ενέργειας στο ψυκτικό μέσο (Q_c)
 - η ροή ενέργειας στο λάδι (Q_{oil})
 - η ροή ενέργειας στα καυσαέρια (Q_{ex})
 - η χημική ενεργειακή ροή στην εξαγωγή (Q_{chem})
 - η κινητική ή δυναμική ενεργειακή ροή στην εξαγωγή (KE_{ex})
- και η άδηλη μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία και συναγωγή (Q_{ext}).



Σχήμα 2.9: Σύγκριση μεταξύ αερόψυκτων και υδρόψυκτων κινητήρων που δείχνει την επιρροή του φορτίου στο ισοζύγιο ενέργειας σε κινητήρα Otto όγκου εμβολισμού 2 λίτρων με σταθερή ταχύτητα περιστροφής 2000 rpm.

Και ο αερόψυκτος και ο υδρόψυκτος κινητήρας έχουν μια μέγιστη πραγματική απόδοση 32% στο εύρος 6-7 bar μέσης πραγματικής πίεσης. Στον αερόψυκτο κινητήρα παρατηρούμε μια μεγαλύτερη ενεργειακή ροή στο λιπαντικό ενώ και η ενεργειακή ροή στο ψυκτικό μέσο είναι μεγαλύτερη. Το Σχήμα 2.9 επίσης δείχνει πως η χημική ενέργεια στα καυσαέρια αυξάνεται γρήγορα πάνω από τα 7 bar μέσης πραγματικής πίεσης. Σε αυτή τη φάση είναι πιθανό η ρυθμιστική δικλίδα του κινητήρα να είναι πλήρως ανοικτή, και η ισχύς αυξάνεται με τον εμπλουτισμό του μίγματος. Για

τον υδρόψυκτο κινητήρα που λειτουργεί κοντά στο πλήρες φορτίο με μέση πραγματική πίεση 8-9 bar, το κλάσμα του ποσοστού απωλειών προς το ψυκτικό μέσο, και σε απόλυτη βάση η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο είναι σχεδόν σταθερά. Αυτό θα αντιστοιχούσε στο να γίνει κάθετη η καμπύλη δύναμης ψυκτικού μέσου στο πλήρες φορτίο από το Σχήμα 2.3. Κατά συνέπεια για μια συγκεκριμένη μηχανική ισχύ στο πλήρες φορτίο, ο κινητήρας μεγαλύτερου κυβισμού που λειτουργεί με ένα πτωχό μίγμα θα απέρριπτε περισσότερη θερμότητα στο ψυκτικό μέσο από έναν μικρότερο κινητήρα που λειτουργεί με πλούσιο μίγμα. Σε επόμενο Κεφάλαιο παρουσιάζονται και άλλες εφαρμογές ψύξης με αέρα καθώς επίσης και μια περαιτέρω σύγκριση μεταξύ υδρόψυκτων και αερόψυκτων συστημάτων ψύξης.

2.2.2 Κινητήρες Diesel

Η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο είναι υψηλότερη στους κινητήρες έμμεσης έγχυσης (IDI) απ' ό,τι στους κινητήρες άμεσης έγχυσης (DI), δεδομένου ότι υπάρχει υψηλότερος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο "λαιμό" (δίοδος που συνδέει τον κύριο θάλαμο με τον προθάλαμο), και αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας από το εσωτερικό των κυλίνδρων. 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. Από αποτελέσματα από ένα μονοκύλινδρο κινητήρα άμεσης έγχυσης με όγκο εμβολισμού 1,78 λίτρα προτάθηκε η παρακάτω αναλογία:

$$Q_C \sim (m_f)^{0,64} \quad (2.1)$$

- Q_C είναι η ροή ενέργειας στο ψυκτικό μέσο
- m_f είναι η παροχή καυσίμου

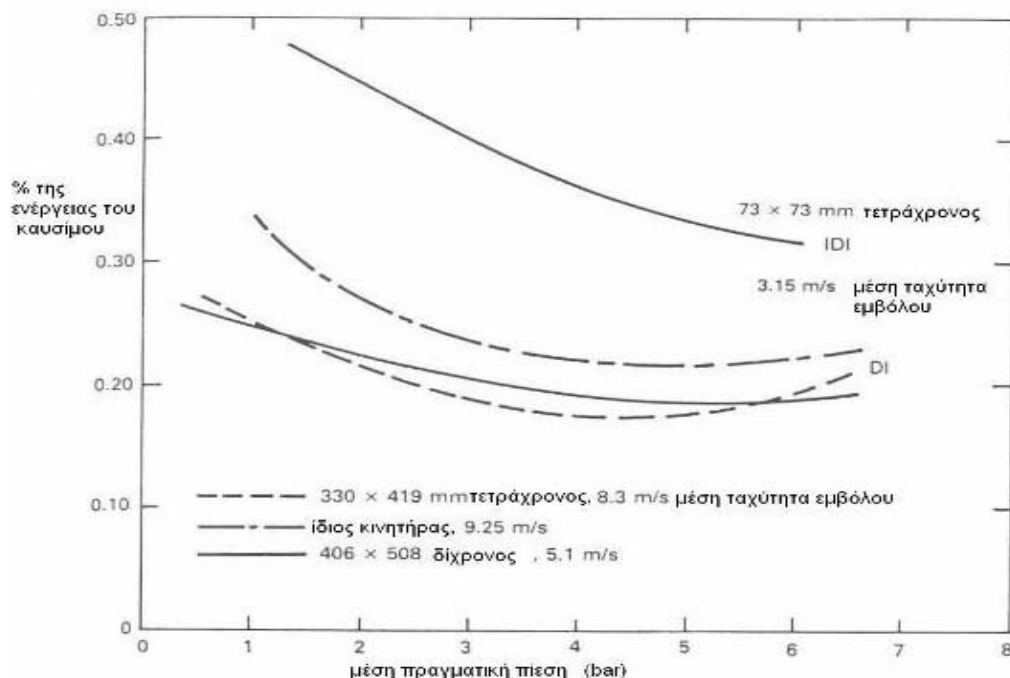
Εντούτοις, μέσα στα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη αυτής της συσχέτισης, υπάρχουν πρόσθετες εξαρτήσεις όπως:

- η σταθερά της αναλογικότητας (στη σχέση 2.1) 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.

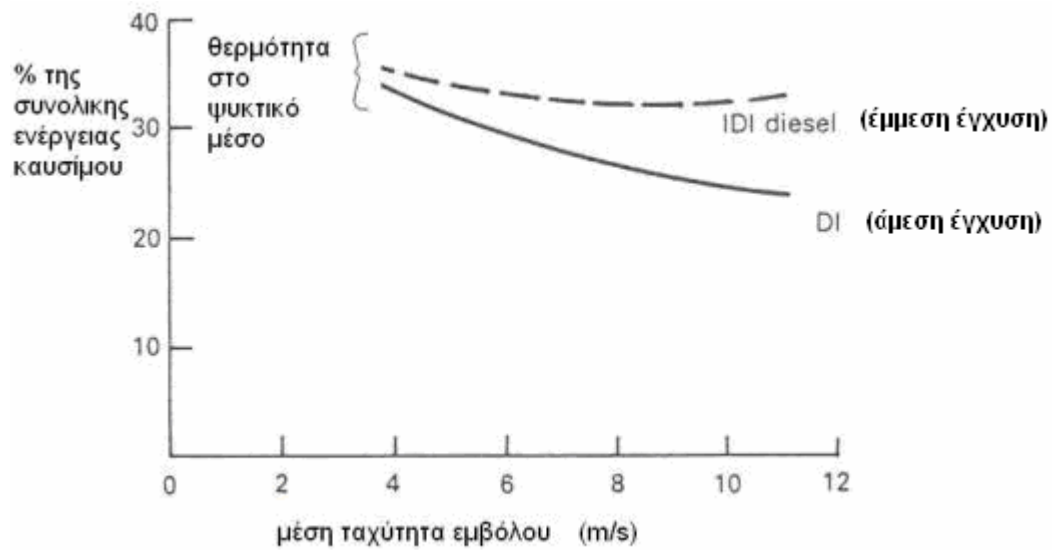
Επίσης, παρουσιάστηκαν αποτελέσματα σε κινητήρα άμεσης έγχυσης με όγκο εμβολισμού 1,945 λίτρα, τα οποία προτείνουν μια γραμμική εξάρτηση του φορτίου με περίπου 14% της ενέργειας καυσίμου που εισάγει το ψυκτικό μέσο.

Στο επόμενο Σχήμα παρουσιάζονται στοιχεία της θερμότητας ροής στο ψυκτικό μέσο από μεγάλους δίχρονους και τετράχρονους κινητήρες (Σχήμα 2.10). Η ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο παρουσιάζεται ως συνάρτηση του φορτίου του κινητήρα και είναι μεταξύ 17 και 32% της ενέργειας καυσίμου, και αυτό είναι σύμφωνο με τη σχέση 2.1.



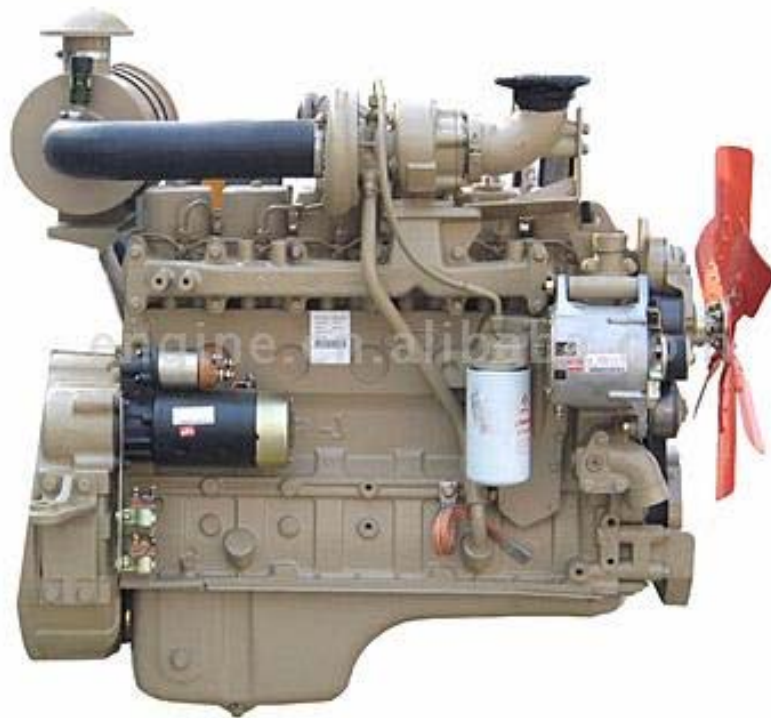
Σχήμα 2.10: Ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο συναρτήσει του φορτίου για κινητήρες Diesel άμεσης και έμμεσης εγχύσεως.

Επίσης στη συνέχεια (Σχήμα 2.11) παρουσιάζονται κάποια στοιχεία που συγκρίνουν την απορριπτόμενη θερμότητα στο ψυκτικό μέσο για τους κινητήρες άμεσης και έμμεσης έγχυσης, ως συνάρτηση της μέσης ταχύτητας του εμβόλου (σ_E).



Σχήμα 2.11: Ροή θερμότητας συναρτήσει της μέσης ταχύτητας του εμβόλου στο πλήρες φορτίο για κινητήρες Diesel άμεσης και έμμεσης εγχύσεως.

Ένα μικρό μόνο ποσοστό κινητήρων Diesel είναι αερόψυκτοι (Σχήμα 2.12).

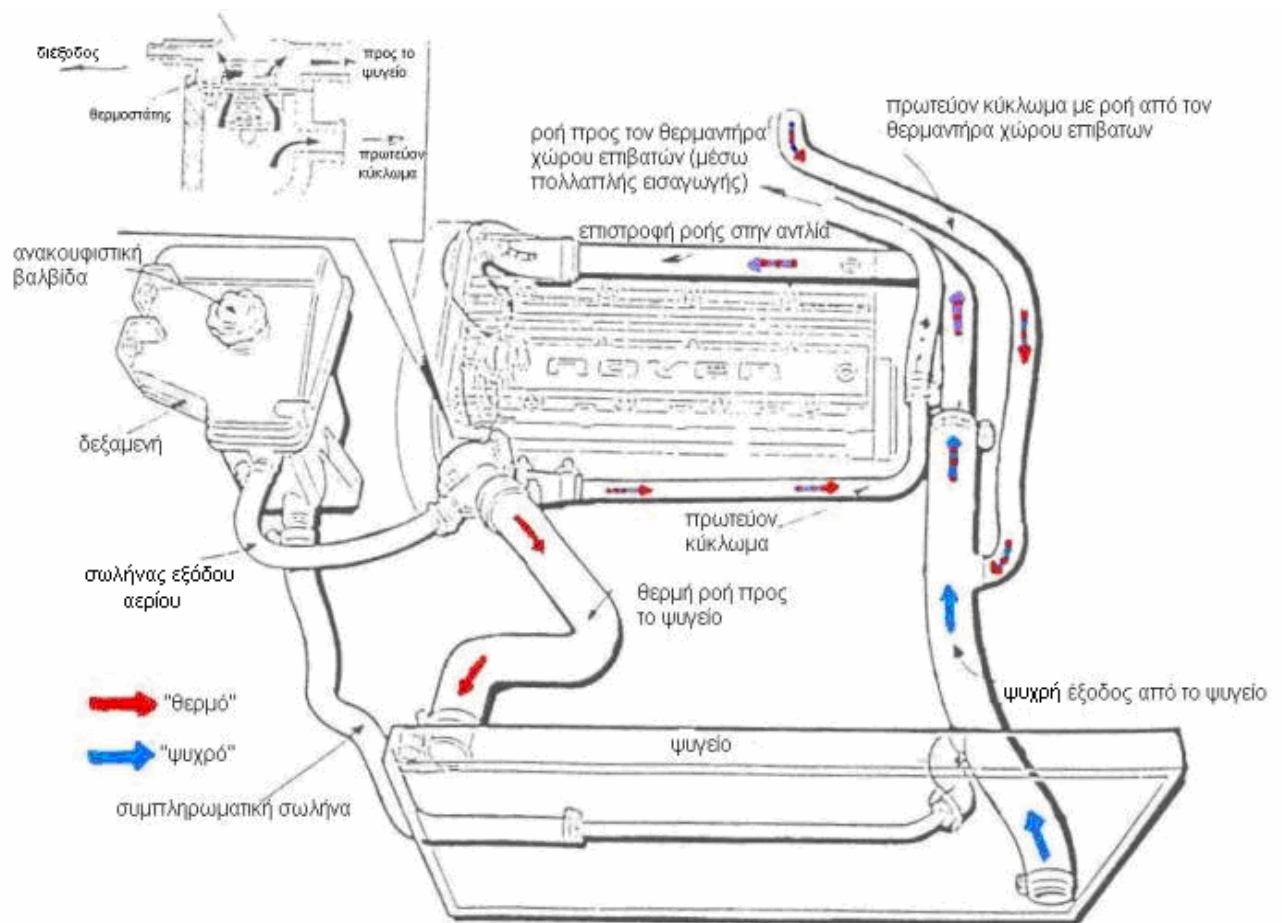


Σχήμα 2.12: Αερόψυκτος κινητήρας Diesel

2.3 Υδροψυκτα συστήματα ψύξης

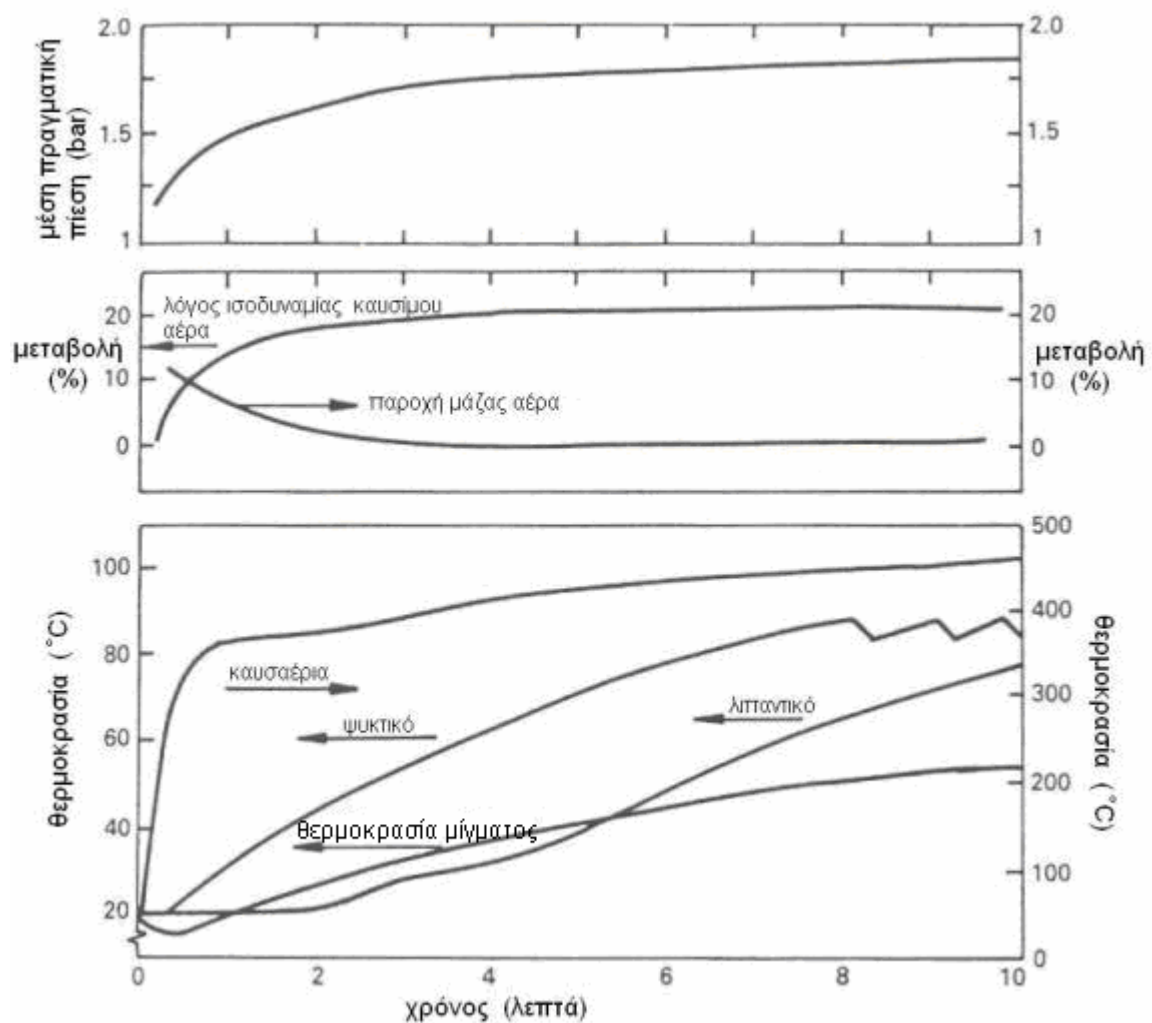
2.3.1 Συμβατικά συστήματα ψύξης

Το ψυκτικό κύκλωμα από μια χαρακτηριστική εφαρμογή σε αυτοκίνητο παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.13. Αρχικά δεν χρησιμοποιείται αντλία ψυκτικού, αντ' αυτού η φυσική μεταφορά οδηγούσε στο φαινόμενο του "θερμοσίφωνα". Αρχικά (στον κρύο κινητήρα) ο θερμοστάτης είναι κλειστός και η αντλία κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο μέσα στο πρωτεύον κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει τα "εσωτερικά περάσματα" εντός του κινητήρα. Το εσωτερικό σύστημα θέρμανσης του χώρου επιβατών είναι μέρος του πρωτεύοντος ψυκτικού κυκλώματος, μαζί με την πολλαπλή εισαγωγής (όταν θερμαίνεται το ψυκτικό μέσο), έτσι ώστε αυτά τα στοιχεία να φθάνουν στην κατάλληλη θερμοκρασία όσο το δυνατόν γρηγορότερα.



Σχήμα 2.13: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ψύξης

Μερικά χαρακτηριστικά αποτελέσματα που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης κινητήρων παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.14. Αυτά τα αποτελέσματα εξήχθησαν από έναν κινητήρα Otto όγκου εμβολισμού 2 λίτρων, ο οποίος συνδέθηκε με δυναμόμετρο και λειτούργησε σε σταθερό άνοιγμα ρυθμιστικής δικλίδας και ταχύτητα περιστροφής. Δεν υπήρξε κανένα εσωτερικό σύστημα θερμαντήρα χώρου επιβατών, αλλά ένας ελαιοψυκτήρας που εγκαταστάθηκε στο πρωτεύον ψυκτικό κύκλωμα. Αυτό έχει στην πραγματικότητα μια ευεργετική επίδραση καθώς αναγκάζει το έλαιο του κινητήρα να θερμανθεί γρηγορότερα.



Σχήμα 2.14: Απόδοση κινητήρα Otto όγκου εμβολισμού 2 λίτρων κατά την διάρκεια της εκκίνησης με ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm και σταθερό άνοιγμα ρυθμιστικής δικλίδας αντιστοιχούσα σε μέση πραγματική πίεση 2 bar.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία εξαγωγής αυξάνεται πολύ γρήγορα, και αυτό αποδεικνύει ότι θα ήταν μια χρήσιμη ενεργειακή πηγή η οποία θα μπορούσε να

υιοθετηθεί για να επιτευχθεί η προθέρμανση του κινητήρα. Η ροπή (μέση πραγματική πίεση) αυξάνεται αρκετά γρήγορα αμέσως μετά την εκκίνηση, παρ' όλο που ο κινητήρας χρειάστηκε 20 λεπτά για να επιτευχθεί μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχούσα σε μέση πραγματική πίεση 2 bar.

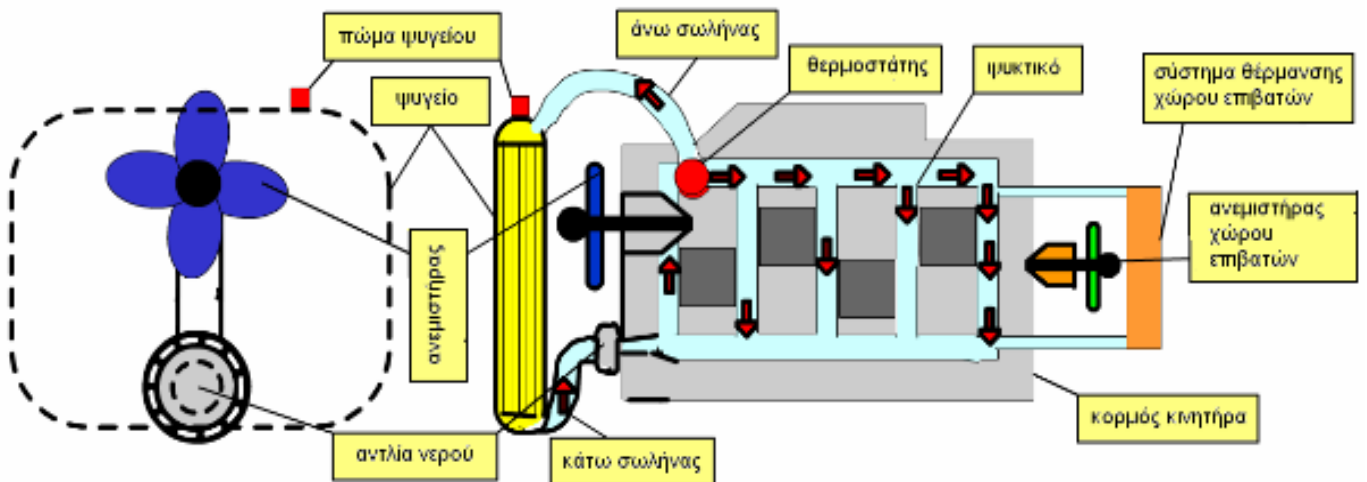
Αυτός ο συγκεκριμένος κινητήρας είχε ένα σύστημα εγχύσεως μονού σημείου με θερμαινόμενη πολλαπλή εισαγωγής: η θερμοκρασία του μίγματος φαίνεται πως ακολουθεί τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, αλλά με μια αρχική πτώση που αποδίδεται στην εξαμιστική ψύξη του καυσίμου. Το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα ρυθμίστηκε για να δίνει ένα σταθερό ποσοστό ροής καυσίμου στον κινητήρα. Μόλις ο κινητήρας φθάσει στη θερμοκρασία λειτουργίας (συνήθως γύρω στους 90° C) ο θερμοστάτης ανοίγει, έτσι ώστε το ψυκτικό μέσο να ρέει μέσω του κύριου κυκλώματος, και να ψύχεται από το ψυγείο. Το Σχήμα 2.14 δείχνει ότι μόλις ο θερμοστάτης ανοίξει, παρουσιάζονται διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου στο πρωτεύον κύκλωμα. Αυτό οφείλεται στο κρύο ψυκτικό μέσο που εισέρχεται από το κύριο κύκλωμα. Αυτές οι διακυμάνσεις θα ήταν μικρότερες εάν ο θερμοστάτης άνοιγε πιο αργά, αλλά τότε θα υπήρχε κίνδυνος υπερθέρμανσης. Ακόμα και όταν ο θερμοστάτης είναι πλήρως ανοικτός, θα υπάρχει ακόμα μια σημαντική ροή μέσω του πρωτεύοντος κυκλώματος.

Το μόνο στοιχείο που υπολείπεται να συζητηθεί από το Σχήμα 2.13 είναι η δεξαμενή, η οποία βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο. Ο σωλήνας διεξόδου επιτρέπει σε οποιοδήποτε αέριο να "αφήσει" το σύστημα ψύξης και να χωριστεί από το ψυκτικό μέσο. Ένα τέτοιο αέριο προέρχεται από την εξαέρωση των διαλυμένων αερίων στο ψυκτικό μέσο και κάτω από κάποιες συνθήκες, μπορεί να υπάρξει διαρροή των αερίων καύσης μέσω της φλάντζας της κυλινδροκεφαλής. Η δεξαμενή έχει μια ανακουφιστική βαλβίδα πίεσης ώστε να περιορίσει την πίεση του συστήματος (συνήθως 1 bar), και υπάρχει επίσης μια έξοδος προς το κύριο κύκλωμα έτσι ώστε το υγρό αναπλήρωσης να μπορεί να εισέλθει στον κινητήρα.

Η αντλία ψυκτικού μέσου βρίσκεται συνήθως σε ένα χαμηλό μέρος του συστήματος ψύξης με χαμηλή θερμοκρασία ροής εισόδου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος δημιουργίας φυσαλίδων. Συχνά η αντλία είναι εν μέρει διαμορφωμένη στον κορμό των κυλίνδρων, καθώς αυτό απλοποιεί το σύστημα και μειώνει το κόστος. Παραδοσιακά η αντλία ψυκτικού μέσου είναι πολύ απλού σχεδιασμού με αντίστοιχα χαμηλή αποδοτικότητα. Ο ρότορας μπορεί να σφραγιστεί από φύλλα μετάλλου ή να προέρχεται από χύτευση. Υποστηρίζεται ότι η αντλία ψυκτικού μέσου μπορεί να γίνει

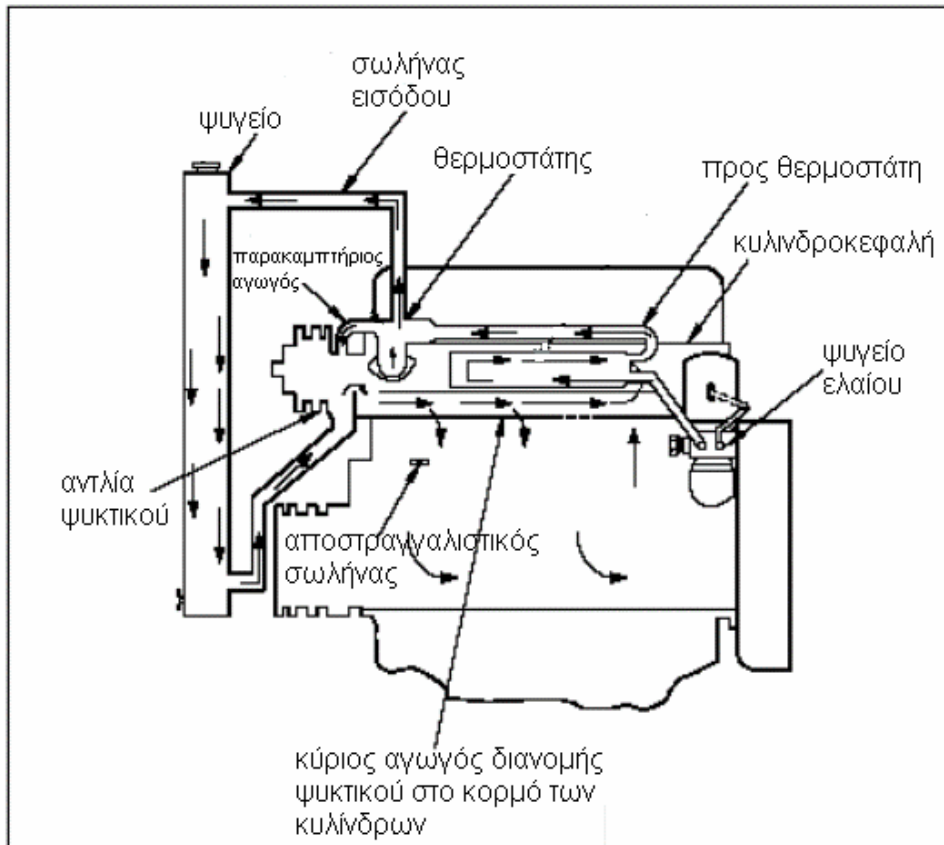
πολύ αποδοτικότερη εάν μπορέσει να οδηγηθεί από έναν ηλεκτροκινητήρα. Αυτό δίνει ανεξάρτητο έλεγχο της ροής ψυκτικού μέσου και η ολική απαιτούμενη ισχύς μπορεί να είναι χαμηλότερη, επιτρέποντας ακόμη και τη χαμηλή απόδοση του ηλεκτροκινητήρα και του εναλλάκτη.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα σχέδιο ροής ψυκτικού μέσου ενός τετρακύλινδρου κινητήρα Otto (Σχήμα 2.15), αλλά και ένα σχέδιο ροής ψυκτικού μέσου για έναν κινητήρα Diesel (Σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.15: Σχηματικό διάγραμμα ροής ψυκτικού μέσου σε κινητήρα Otto.

Σε μερικές περιπτώσεις η εκροή από την αντλία χωρίζεται σε δυο ροές που εισάγονται στις αντίθετες άκρες των κυλίνδρων. Στους συγκεκριμένους δύο κινητήρες η ροή δεν διαιρείται κατά αυτόν τον τρόπο. Για τον κινητήρα Diesel η ροή στο τέλος του κινητήρα περνά αρχικά από τον ελαιοψυκτήρα.



Σχήμα 2.16: Σχηματικό διάγραμμα ροής ψυκτικού μέσου σε κινητήρα Diesel.

Το ποσοστό ροής στα διάφορα μέρη της κυλινδροκεφαλής ελέγχεται συχνά με τις ρυθμίσεις στο μέγεθος των οπών ψυκτικού μέσου πάνω στη φλάντζα της κυλινδροκεφαλής.

Το παραδοσιακό πέρασμα ψυκτικού μέσου στην κυλινδροκεφαλή είναι μια οπή, η οποία καθορίζεται από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης, την εισαγωγή και τους αυλούς εξαγωγής, το άνω deck και άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

2.3.2 Απόδοση ψυκτικών μέσων

Το νερό είναι ένα πολύ αποτελεσματικό μέσο ψύξης με υψηλή ενθαλπία εξάτμισης, υψηλή θερμοχωρητικότητα (c_p) και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Η θερμοκρασία κορεσμού του νερού ($99,6^\circ \text{C}$ σε πίεση 1 bar) είναι επίσης ιδανική. Το σημείο ψύξης στους 0°C είναι λιγότερο κατάλληλο όπως και η τάση προς διάβρωση, ειδικά όταν υπάρχουν διαφορετικά μέταλλα στο σύστημα ψύξης.

Η αφαίρεση θερμότητας από το μέταλλο προς το υγρό ψυκτικό μέσο μπορεί να προέλθει:

- από εξαναγκασμένη μεταφορά

- βρασμό

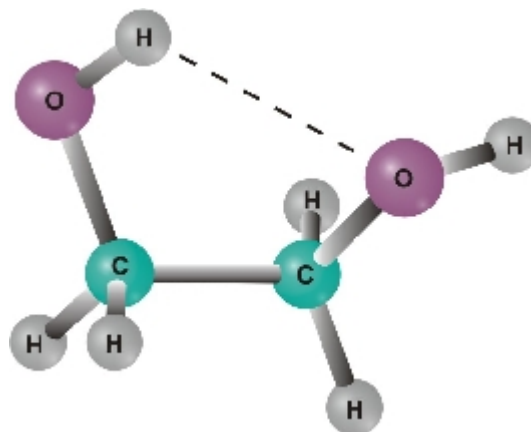
- κορεσμένο βρασμό (το οποίο έχει μεγάλες φυσαλίδες και καμία συμπύκνωση στο βασικό ρευστό).

Με τον κορεσμένο βρασμό υπάρχει ο κίνδυνος του σχηματισμού "κουβερτών" ατμού (varour blanket) και του βρασμού λεπτών στρώσεων (film boiling). Αυτό μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση που οδηγεί στην θερμική κόπωση, τη διάσπαση του συστατικού και κάποια μορφή ανώμαλης καύσης.

Οι απαιτήσεις για ένα ψυκτικό μέσο κινητήρα Μ.Ε.Κ. συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα :

• Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα και καλή θερμική αγωγιμότητα
• Ρευστότητα εντός του θερμοκρασιακού εύρους λειτουργίας
• Χαμηλό σημείο πήξης
• Υψηλό σημείο τήξης
• Ανοξειδωτο σε μέταλλα
• Χημική ισορροπία πάνω από το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας
• Έλλειψη αφρίσματος
• Χαμηλή αναφλεξιμότητα, υψηλό σημείο ανάφλεξης
• Χαμηλή τοξικότητα, μη δυσάρεστη οσμή
• Λογικό κόστος, διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες

Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η λύση της υδάτινης αιθυλικής γλυκόλης παρέχει μια υγιή βάση για ένα ψυκτικό μέσο κινητήρα αυτοκινήτου.



Σχήμα 2.17: Μόριο αιθυλικής γλυκόλης

Εντούτοις, για την αποτροπή της διάβρωσης είναι απαραίτητο να υπάρξει μια σειρά πρόσθετων ουσιών στην αιθυλική γλυκόλη και αυτές είναι χαρακτηριστικά:

- α) αντιδότες για να αποτρέψουν τη διάβρωση μετάλλων.
- β) ουσίες που παρέχουν μια ανασταλτική δράση ενάντια στα οξέα
- γ) ένα αντιαφρώδες πρόσθετο
- δ) μια χρωστική ουσία για ένδειξη αναγνώρισης
- ε) μια μικρή ποσότητα νερού για να διαλύσει ορισμένες πρόσθετες ουσίες.

Για την επιλογή των αντιδότες για τη διάβρωση, το Benzoate νατρίου και νιτρώδες άλας νατρίου βρέθηκαν να είναι τα κατάλληλα για κινητήρες κατασκευασμένους από χυτοσίδηρο και χάλυβα. Παράλληλα, ένας συνδυασμός φωσφορικού άλατος triethanolammonium (TEP) και mercaptobenzothiazole νατρίου (NaMBT) βρέθηκαν να είναι τα κατάλληλα για κινητήρες κατασκευασμένους από κράματα αλουμινίου. Όμως στη συνέχεια διαπιστώθηκε ότι και τα δύο αντίδοτα στη διάβρωση ήταν αποδεκτά για κάθε τύπο κατασκευής κινητήρων.

Η κατάσταση της επιφάνειας μετάλλου / ψυκτικού μέσου μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (και με αυτόν τον τρόπο στις θερμοκρασίες μετάλλων). Εξετάστηκε ένα ευρύ φάσμα διάφορων χυτοχαλύβων, χυτοσιδηρών και ψυκτικών μέσων (συμπεριλαμβανομένου του ψυκτικού μέσου που μολύνεται από το θαλασσινό νερό) με διαφορετικό αντίδοτο διάβρωσης. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με συσκευή για βρασμό ροής και λιμνάζοντα βρασμό, καθώς επίσης παρουσιάστηκαν στοιχεία από δοκιμές κινητήρων Diesel. Πραγματοποιήθηκαν κάποιες μακράς διάρκειας δοκιμές με διάρκεια πάνω από 2500 ώρες, με μια σταθερή ροή θερμότητας 520 KW/m^2 και θερμοκρασία ψυκτικού μέσου $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Καταγράφηκε η αλλαγή στην υπερθέρμανση των τοιχωμάτων (η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της μεταλλικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας κορεσμού) και διαπιστώθηκε ότι η υπερθέρμανση των τοιχωμάτων είναι μεταξύ $6-32^\circ\text{C}$. Εντούτοις, μετά από παρατεταμένο βρασμό η υπερθέρμανση τοιχωμάτων αυξήθηκε κατά τουλάχιστον $68 \text{ }^\circ\text{C}$ περαιτέρω. Για μια συγκεκριμένη πρόσθετη ουσία η υπερθέρμανση τοιχώματος ανήλθε από τους $30 \text{ }^\circ\text{C}$ στους $70 \text{ }^\circ\text{C}$ μετά από μόλις 300 ώρες δοκιμής, και συνέχισε να αυξάνεται αφότου η δοκιμή σταμάτησε. Αυτά τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν την προσοχή που απαιτείται στην επιλογή των πρόσθετων ουσιών ώστε αυτά να μην οδηγήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες μετάλλων. Ο βρασμός είναι ένας σημαντικός μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας στους

υδρόψυκτους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Όταν εμφανίζεται βρασμός ο υψηλός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας περιορίζει την αύξηση στη θερμοκρασία μετάλλου. Ο βρασμός είναι ένα πολύ σύνθετο φαινόμενο που απαιτεί μια λεπτομερή αναλυτική προσέγγιση. Παρ' όλα αυτά, για συγκεκριμένες γεωμετρικές υπάρχουν συσχετισμοί που έχουν βρεθεί για να δίνουν καλές προβλέψεις. Μια τέτοια γεωμετρία είναι μια διάτρητη οπή που μπορεί να προσεγγίσει αυτό που συμβαίνει στην περιοχή μεταξύ δυο βαλβίδων (valvebridge).

Διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για μια διάτρητη οπή θα μπορούσε να προβλεφθεί από τη χρησιμοποίηση του συσχετισμού Dittus-Boelter για εξαναγκασμένη μεταφορά θερμότητας, και του συσχετισμού Chen για βρασμό σχηματισμού πυρήνων. Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας έχουν αξιολογηθεί παρακάτω χρησιμοποιώντας αυτούς τους συσχετισμούς, και παρότι η σχετική γεωμετρία δεν συναντάται ευρέως στους κινητήρες, οι συσχετισμοί αυτοί θα επεξηγήσουν την αύξηση στο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας που συνδέεται με το βρασμό σχηματισμού πυρήνων.

Εάν ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας υποτίθεται ότι ήταν ένας συνδυασμός αγωγής και βρασμού με σχηματισμό πυρήνων, τότε η ροή θερμότητας δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$q = h_c (T_w - T_l) + h_b (T_w - T_s) \quad (2.2)$$

όπου T_w η θερμοκρασία επιφάνειας

T_l η θερμοκρασία υγρού όγκου

T_s η θερμοκρασία κορεσμού του ρευστού

Για την τυρβώδη μεταφορά θερμότητας ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (h_c) προβλέπεται από το συσχετισμό Dittus-Boelter.

$$h_c = 0,023 R_{el}^{0,8} P_r^{0,4} \quad (2.3)$$

$$R_{el} = \frac{\rho_l \cdot v_l \cdot d}{\mu_l} \text{ και } P_r = \frac{\mu_l \cdot C_{p,l}}{K_l} \quad (2.4)$$

όπου v_l η ταχύτητα ροής του υγρού (m/c)

d η διάμετρος της οπής (m)

K_l η θερμική αγωγιμότητα του υγρού (W/mk)

P_r ο αριθμός Prandl

Re_l ο αριθμός Reynolds

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας βρασμού (h_b) προβλέπεται από το συσχετισμό Chen (1966)

$$h_b = 0,00122 \left(\frac{K_l^{0,79} C_{pl}^{0,45} \rho_l^{0,49}}{\sigma^{0,5} \mu_l^{0,29} h_{fg}^{0,29} \rho_v^{0,24}} \right) (T_w - T_s)^{0,24} \Delta P_s^{0,75} \cdot S \quad (2.5)$$

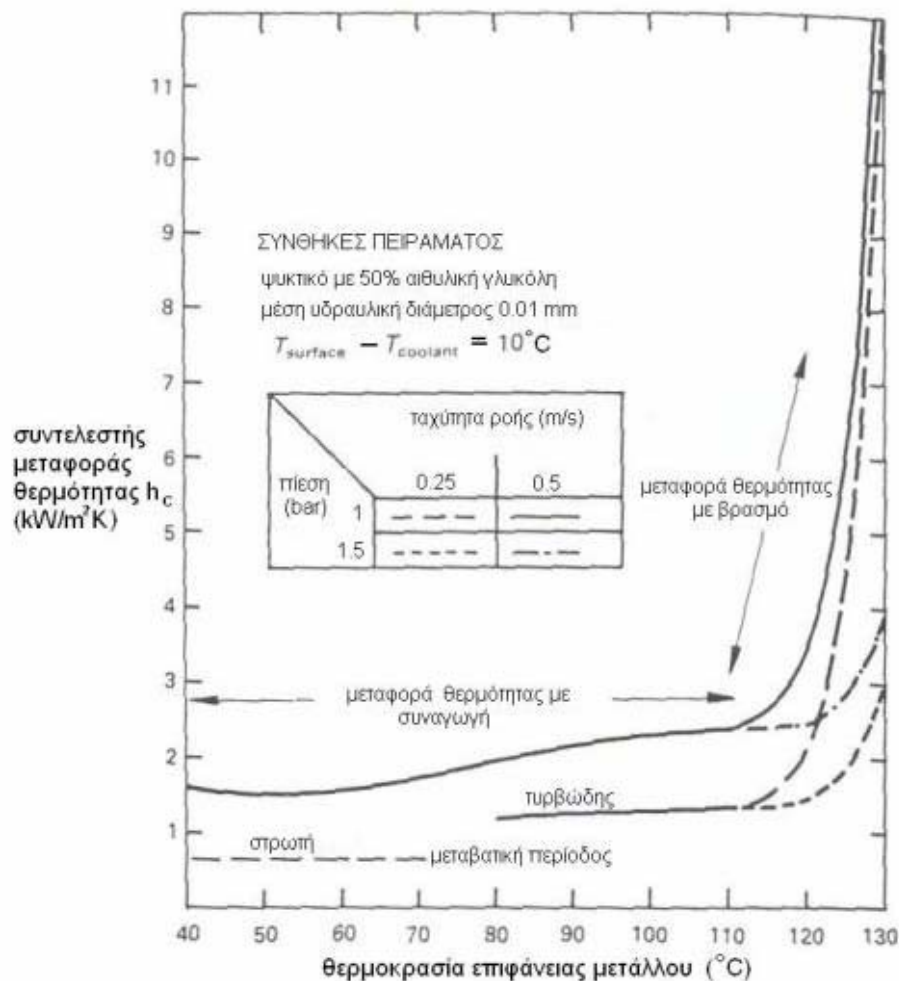
όπου σ η επιφανειακή τάση (N/m)

h_{fg} η ενθαλπία εξάτμισης (J/KgK)

$$\Delta P_s = (P_{sat} \text{ στους } T_w) - P$$

S ο παράγοντας καταστολής

Μερικά αποτελέσματα που εξάγονται από αυτό το μοντέλο για 50% κατ' όγκο μίγματος μεθυλικής γλυκόλης / νερού παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.18 για δυο ταχύτητες ροής.



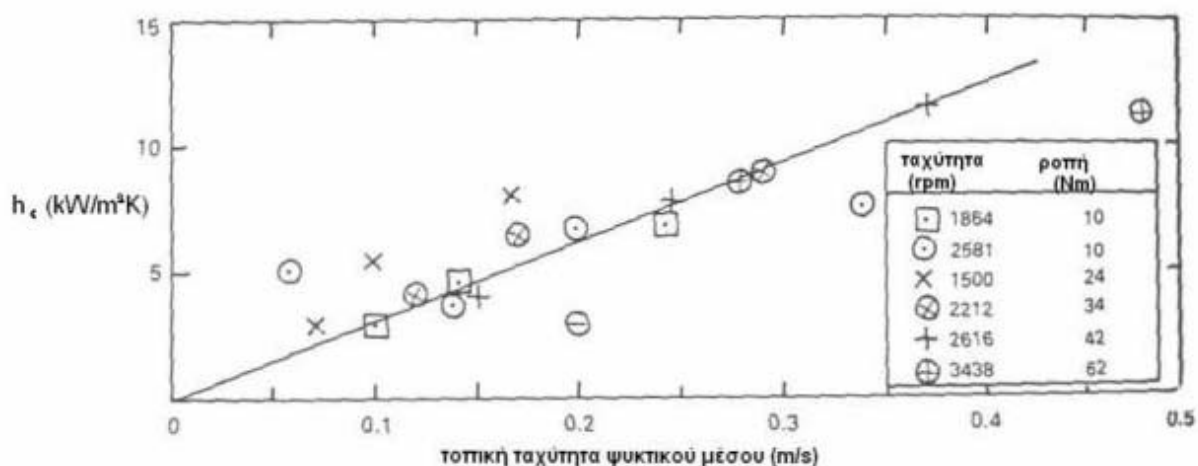
Σχήμα 2.18: Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας επιφάνειας για διαφορετική πίεση και ταχύτητα ροής ψυκτικού μέσου.

Γενικά, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία επιφάνειας. Αυτό συμβαίνει επειδή η κυρίαρχη επίδραση είναι η πτώση στο ιξώδες του μίγματος καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι για το χαμηλότερο ποσοστό ροής (0,25 m/s) η ροή είναι στρωτή μέχρι το ιξώδες να έχει μειωθεί αρκετά από την αύξηση της θερμοκρασίας. Για κάθε ποσοστό ροής, η αύξηση της πίεσης του συστήματος κατά 0,5 bar καθυστερεί την έναρξη του βρασμού με σχηματισμό πυρήνων κατά περίπου 10 °C.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας βρασμού σχηματισμού πυρήνων είναι τόσο υψηλός, ώστε μόλις εμφανιστεί βρασμός θα υπάρξει μια πολύ μικρή διαφορά στη θερμοκρασία επιφάνειας (ο θάλαμος καύσης μπορεί να θεωρηθεί ως σταθερή πηγή ροής θερμότητας). Με άλλα λόγια από τη στιγμή που εμφανιστεί βρασμός, η ταχύτητα ροής καθυστερεί ελαφρώς την αρχή του βρασμού με σχηματισμό πυρήνων.

Δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί στα συμβατικά συστήματα ψύξης. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στις οποίες η ταχύτητα ροής και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ψυκτικού μέσου μετρήθηκαν ξεχωριστά σε ένα κινητήρα Otto όγκου εμβολισμού 1,1 λίτρων.

Τα στοιχεία για τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και την τοπική ταχύτητα ροής παρουσιάζονται για πέντε περιοχές γύρω από την κυλινδροκεφαλή και το χιτώνιο των κυλίνδρων στη παρακάτω γραφική παράσταση (Σχήμα 2.19).



Σχήμα 2.19: Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συναρτήσει της τοπικής ταχύτητας ψυκτικού μέσου γύρω από τον θάλαμο καύσης και το χιτώνιο κυλίνδρου.

Πιθανώς η σύνθετη γεωμετρία των περασμάτων ροής να υπερισχύει των συσχετισμών για τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, οι οποίοι γενικά υποθέτουν κάποια μορφή πλήρως αναπτυγμένης ροής. Έχει προταθεί ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για το χιτώνιο κυλίνδρων στο ψυκτικό μέσο μπορεί να προβλεφθεί από το συσχετισμό για δέσμες σωλήνων.

Τα υδάτινα μίγματα αιθυλικής γλυκόλης είναι σήμερα καθιερωμένα ως ψυκτικά μέσα κινητήρων, με το ποσοστό της αιθυλικής γλυκόλης να κυμαίνεται χαρακτηριστικά από 25 σε 60% σε ογκομετρική βάση (δηλαδή 26,9 με 61,9% κατά βάρος, ή 9,7 με 32,1% σε μοριακή βάση). Εντούτοις, πολλά εναλλακτικά ψυκτικά μέσα έχουν εξεταστεί επίσης, αλλά γενικά έχουν ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας κατώτερες από εκείνες του νερού ή του μίγματος νερού / αιθυλικής γλυκόλης. Για παράδειγμα το έλαιο που συνήθως χρησιμοποιείται για πιτσιλωτή ψύξη στο εσωτερικό των εμβόλων, έχει προταθεί για την ψύξη του χιτωνίου των κυλίνδρων. Η προπυλική γλυκόλη και η καθαρή αιθυλική γλυκόλη έχουν όλες προταθεί ως ψυκτικά μέσα μηχανών. Οι ιδιότητές τους συγκρίνονται με τις ιδιότητες του νερού και του νερού/αιθυλικής γλυκόλης στον παρακάτω Πίνακα:

	Νερό	Προπυλική γλυκόλη	Νερό / αιθυλική γλυκόλη	Αιθυλική γλυκόλη
Σημείο βρασμού °C	100	187	111	197
Σημείο πήξης °C	0	-14	-37	-9
Ενθαλπία εξάτμισης MJ/kmol	44,0	52,5	41,2	52,6
Ειδική θερμοχωρητικότητα kJ/kg K	4,5	3,10	3,74	2,38
Θερμική αγωγιμότητα w/m K	0,69	0,15	0,47	0,33
Πυκνότητα 20 °C kg/m ³	998	1038	1057	1117

Η καθαρή προπυλική γλυκόλη έχει προταθεί ως ψυκτικό μέσο κινητήρων. Η σχετική έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα διαλύματα νερού προπυλικής γλυκόλης και τα διαλύματα νερού αιθυλικής γλυκόλης έχουν παρόμοιες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας, αλλά η προπυλική γλυκόλη έχει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και μεγαλύτερη αντίσταση στη σπηλαιώση. Η καθαρή προπυλική

γλυκόλη έχει υψηλό σημείο βρασμού (187° C) και έτσι είναι πιθανό να κάνει οποιονδήποτε βρασμό υπόψυκτο, οπότε σε αυτή την περίπτωση οι φυσαλίδες ατμού τείνουν να καταρρεύσουν, οπότε αποφεύγεται οποιοσδήποτε κίνδυνος εσοχής ατμού «μονώνοντας» τα συστατικά που πρόκειται να ψυχθούν. Ο παραπάνω Πίνακας επίσης δείχνει ότι η μοριακή ενθαλπία εξάτμισης είναι υψηλή για τη προπυλική γλυκόλη.

Συμπερασματικά, το νερό έχει εξαιρετικές ιδιότητες ως μέσο μεταφοράς θερμότητας και για μεταφορά θερμότητας ρεύματος και για μεταφορά θερμότητας βρασμού. Αυτές οι ιδιότητες περιορίζονται όταν χρησιμοποιούνται οργανικά μίγματα νερού ως ψυκτικά μέσα. Εντούτοις, τα χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας είναι σχεδόν μια τάξη μεγέθους καλύτερα από εκείνα των καθαρών οργανικών υγρών. Αυτό υπονοεί ότι τα βασισμένα στο νερό συστήματα είναι πιθανό να χρειαστούν για τη ψύξη της κυλινδροκεφαλής. Τα οργανικά ψυκτικά μέσα (όπως το έλαιο ή η προπυλική γλυκόλη) είναι καταλληλότερα για τη ψύξη του χιτωνίου των κυλίνδρων.

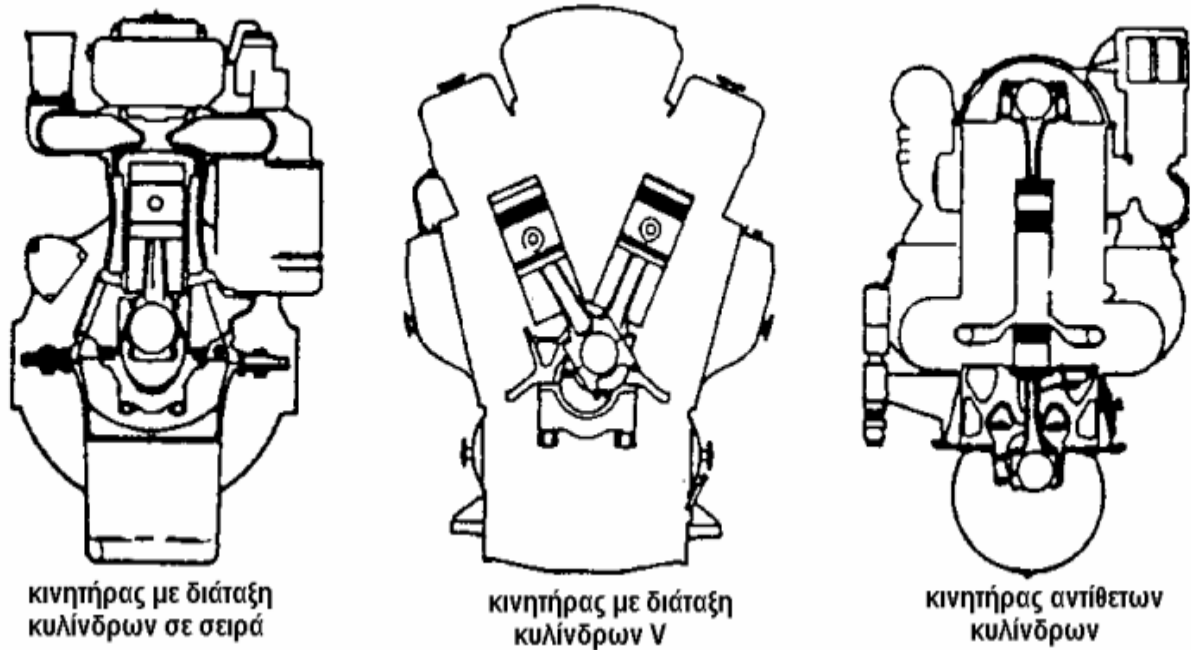
2.4 Ψύξη με αέρα

2.4.1 Εφαρμογές ψύξης με αέρα

Για αρκετούς λόγους, οι δυσκολίες που σχετίζονται με τη ψύξη αυξάνονται με την αύξηση του μεγέθους του κυλίνδρου. Για το λόγο αυτό ελάχιστοι κινητήρες με διάμετρο κυλίνδρου μεγαλύτερη από 150 mm είναι αερόψυκτοι. Επάνω από αυτό το μέγεθος του κυλίνδρου, η ψύξη με αέρα είναι ακατάλληλη για οποιαδήποτε χρήση. Μια άλλη κατηγορία όπου η ψύξη με αέρα φαίνεται ακατάλληλη είναι για τα ταχύπλοα (με εξαίρεση αυτά που οδηγούνται από έλικες αέρα, οπότε σε αυτή την περίπτωση οι κινητήρες τύπου αεροσκάφους είναι μια λογική επιλογή).

Επιπρόσθετα με τις παραπάνω κατηγορίες, η ψύξη με αέρα είναι ιδιαίτερα ελκυστική για κινητήρες με έναν ή δύο κυλίνδρους. Σε αυτές υπάρχει άφθονος χώρος για τα πτερύγια ψύξης και τέτοιοι κινητήρες χρησιμοποιούνται συχνότερα υπό συνθήκες όπου ένα ψυγείο και ένα σύστημα με νερό θα μπορούσαν δύσκολα να ενσωματωθούν. Έτσι η ψύξη με αέρα φαίνεται η λογική επιλογή για μικρούς φορητούς και σταθερούς κινητήρες και για κινητήρες μοτοσικλετών.

Ένας άλλος τομέας όπου η ψύξη με αέρα είναι ελκυστική είναι για τους κινητήρες αντιθέτων κυλίνδρων. Σε αυτούς, η απόσταση των κυλίνδρων που απαιτείται από την στροφαλοφόρο άτρακτο είναι συνήθως αρκετά μεγάλη για να επιτρέψει την ύπαρξη πτερυγίων μεταξύ των κυλίνδρων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.20.



Σχήμα 2.20: Διάταξη κυλίνδρων, όπου παρουσιάζεται η διαφορά για τους κινητήρες αντίθετων κυλίνδρων.

Για τους κινητήρες με 4 ή περισσότερους κυλίνδρους σε σειρά ή σε διάταξη V, μια σύγκριση μεταξύ αερόψυκτων και υδρόψυκτων κινητήρων ίσης ισχύος θα δείξει συνήθως ότι:

1) Συμπεριλαμβανομένου του συστήματος ψύξης το ολικό βάρος θα είναι σχεδόν το ίδιο στην περίπτωση αλουμινίου για τους κυλίνδρους και στους στροφαλοθάλαμους. Η υδρόψυκτη εγκατάσταση θα είναι βαρύτερη από έναν αερόψυκτο κινητήρα αλουμινίου, εάν χρησιμοποιηθεί η συμβατική δομή χυτοσιδήρου.

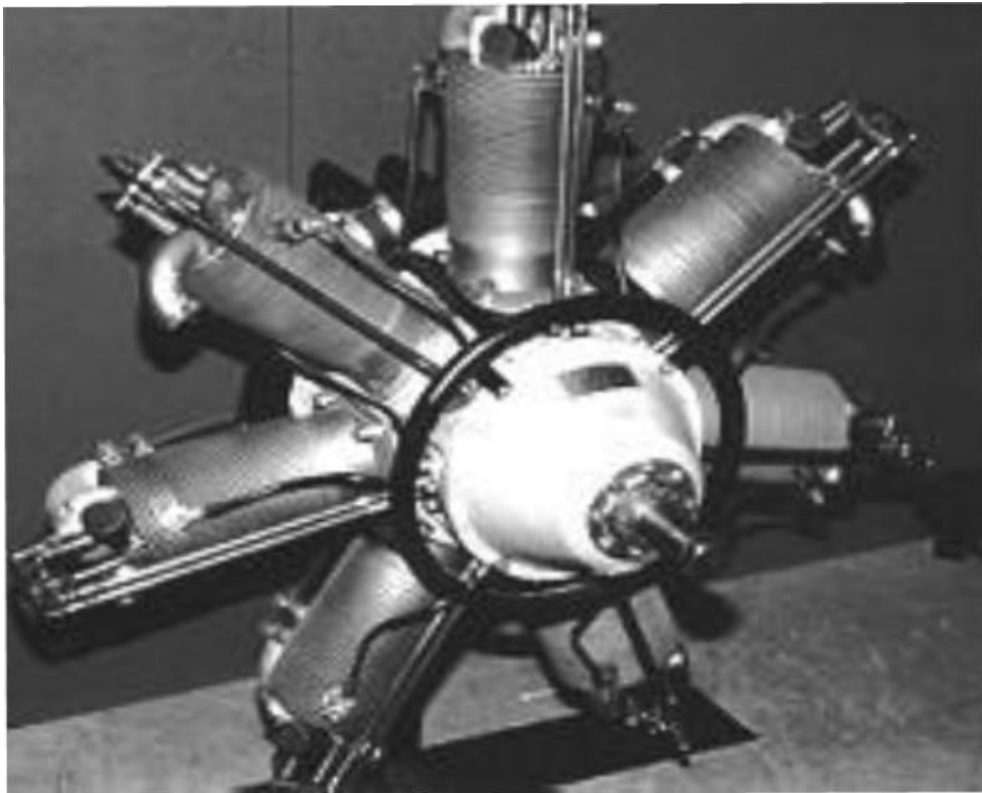
2) Ο αερόψυκτος κινητήρας θα είναι μεγαλύτερου μήκους εξαιτίας της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ των κυλίνδρων. Οι γενικές διαστάσεις των δυο εγκαταστάσεων θα εξαρτηθούν από το σχεδιασμό και την τοποθέτηση του ψυγείου, του ανεμιστήρα και του αεραγωγού. Με τον καλύτερο σχεδιασμό για το καθένα ο ολικός όγκος μπορεί να μην διαφέρει πολύ. Παρ' όλα αυτά η υδρόψυκτη εγκατάσταση έχει το πλεονέκτημα ότι το ψυγείο μπορεί να είναι μακριά από τον κινητήρα.

3) Εάν ο υδρόψυκτος κινητήρας είναι συμβατικού σχεδιασμού, το κόστος του κινητήρα μαζί με το σύστημα ψύξης θα είναι μικρότερο από αυτό μιας αερόψυκτης εγκατάστασης με τους ξεχωριστούς κυλίνδρους και τα πιο επιμελημένα συστήματα ανεμιστήρα και αγωγού.

4) Η αερόψυκτη εγκατάσταση θα είναι πιο θορυβώδης (όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη Παράγραφο) λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων αέρα και την απουσία των ιδιοτήτων ηχομόνωση του εμβολοχιτώνιου.

5) Στο παρελθόν η ψύξη με νερό είχε σοβαρά μειονεκτήματα λόγω της διαρροής, της διάβρωσης, της φθοράς των αξόνων αντλιών και της στεγανότητας και απώλεια του αντιψυκτικού λόγω βρασμού. Αυτές οι δυσκολίες έχουν υπερνικηθεί με τη χρήση καλύτερων αντλιών, βελτίωση του σχεδιασμού στεγανότητας, βελτιωμένα αντιψυκτικά και αντλιοξείδωτες πρόσθετες ουσίες, ανθεκτικότερο λάστιχο σωλήνα, και με κλειστά συστήματα νερού σε πιέσεις υψηλότερες από την περιβαλλοντική. Τα καλώς σχεδιασμένα υδρόψυκτα συστήματα εμφανίζονται τώρα να είναι εξίσου αξιόπιστα και χωρίς προβλήματα όπως τα αερόψυκτα συστήματα.

Στην πράξη ένα ελάχιστο μόνο μέρος των αυτοκινήτων και των βιομηχανικών κινητήρων με τέσσερις ή περισσότερους κυλίνδρους σε σειρά είναι αερόψυκτοι.

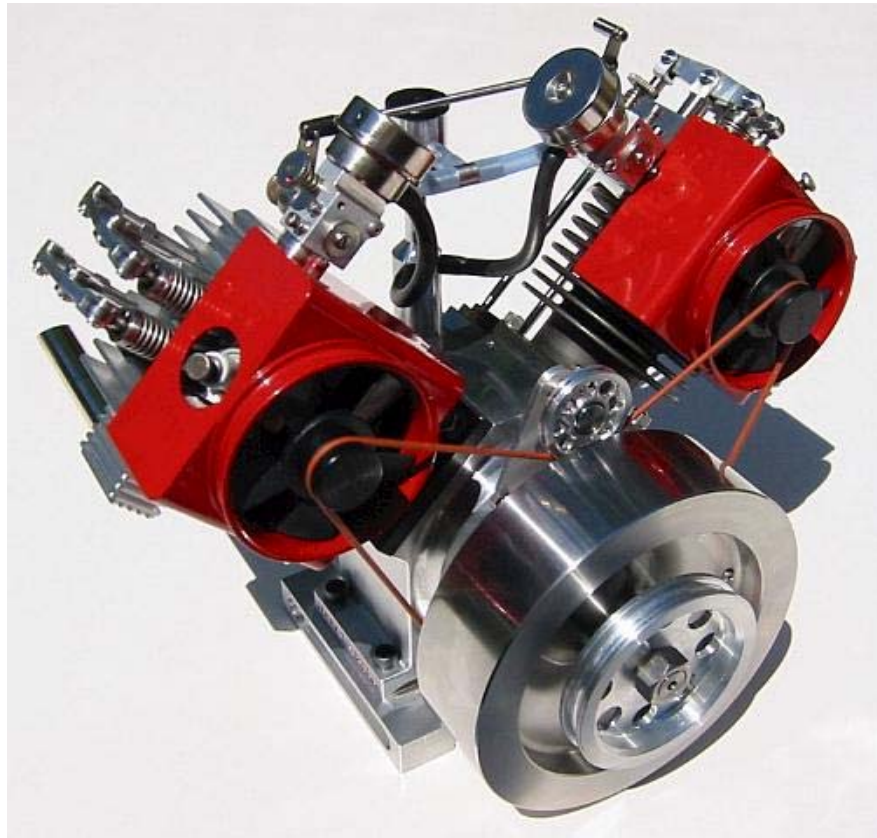


Σχήμα 2.21: Αερόψυκτος αεροπορικός κινητήρας αστεροειδούς μορφής.

Για τους κινητήρες πολιτικών αεροσκαφών, η ψύξη με αέρα μοιάζει να είναι η λογική επιλογή εξαιτίας των διαθέσιμων υψηλών ταχυτήτων αέρα κατά τη λειτουργία και την αποβολή των στοιχείων του συστήματος νερού που θα οδηγούσαν σε βλάβη.

2.4.2 Σχεδιασμός αερόψυκτου κυλίνδρου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ψύξη με αέρα δεν είναι πρακτική για κυλίνδρους μεγαλύτερης διαμέτρου από 150 mm.



Σχήμα 2.22: Αερόψυκτος κινητήρας με κυλίνδρους σε διάταξη V.

Οι περισσότεροι αερόψυκτοι κύλινδροι που σχεδιάζονται για υψηλή απόδοση κατασκευάζονται με διαφορετικές κεφαλές και κυλίνδρους. Οι αερόψυκτες κυλινδρικές σπές αεροσκαφών είναι συνήθως σφυρηλατημένα κομμάτια χάλυβα, επεξεργασμένα και βιδωμένα στην κεφαλή, όπως στο Σχήμα 2.23. Οι κυλινδρικές σπές χάλυβα εμφανίζονται να είναι ικανοποιητικές από άποψη τριβής και φθοράς, τουλάχιστον για τις απαιτήσεις αεροσκαφών. Σε μερικές περιπτώσεις οι σπές είναι επικαλυμμένες με άζωτο για αύξηση της αντοχής στη φθορά. Τα πτερύγια σε αυτές τις κυλινδρικές σπές μπορεί να είναι ολοκληρωτικά επεξεργασμένα ή τοποθετημένα με τη μορφή δακτυλιδιών φύλλων μετάλλου.

2.4.2.1 Πτερύγια ψύξης

Πολλή έρευνα έχει πραγματοποιηθεί σχετικά με το θέμα του σχεδιασμού και της τοποθέτησης πτερυγίων ψύξης στον κύλινδρο.

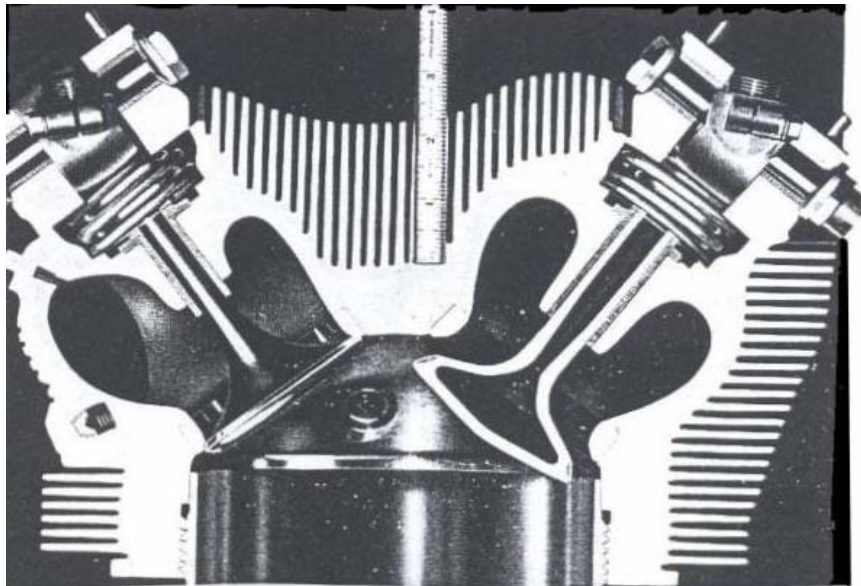
Οι βασικές αρχές που περιλαμβάνονται είναι:

1) Τα πτερύγια ψύξης πρέπει να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν πιο κοντά στις κρίσιμες πηγές εισαγωγής θερμότητας: έδρες βαλβίδας εξαγωγής, αυλοί εξαγωγής, διαστήματα μεταξύ αυτών και βαλβίδων, αναφλεκτήρες (μπουζί), διαστήματα μεταξύ αυλών εξαγωγής για δίχρονες μηχανές.

2) Κανένα μέρος της κυλινδροκεφαλής ή της κυλινδρικής οπής μέχρι τη θέση του ελατηρίου του εμβόλου δεν πρέπει να μείνει χωρίς πτερύγια.

3) Τα πτερύγια πρέπει να προσανατολιστούν στην κατεύθυνση της ροής αέρα.

4) Τα πτερύγια πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο βαθιά και κοντά τοποθετημένα, εξετάζοντας το υλικό και τη χρησιμοποιούμενη διαδικασία κατασκευής. Οι μεγάλοι αερόψυκτοι κινητήρες αεροσκαφών της δεκαετίας του '40 χρησιμοποιούσαν στην κυλινδροκεφαλή τους πτερύγια αλουμινίου βάθους 60mm, με ενδιάμεσα χωρίσματα 5 mm και με πάχος 2,5 mm.



Σχήμα 23: Κυλινδροκεφαλή, αυλοί εισαγωγής και εξαγωγής από αεροπορικό κινητήρα. Ο σχεδιασμός του αυλού εισαγωγής (αριστερά) δίνει προτεραιότητα στην ροή αερίου. Ο αυλός εισαγωγής συμβιβάζει τη ροή για χάρη της ψύξης της βαλβίδας.

5) Για κινητήρες διαμέτρου εμβόλου μεγαλύτερης των 127mm, η εφαρμογή πτερυγίων υψηλής αγωγιμότητας στις κυλινδρικές οπές μπορεί να είναι απαραίτητη.

Αυτά μπορεί να αποτελούνται είτε από περίβλημα πτερύγωσης χυτού αλουμινίου ή από πεπιεσμένα δακτυλίδια φύλλων αλουμινίου ή διατοιχισμένα στην κυλινδρική οπή .

6) Η ροή αέρα πρέπει να κατευθύνεται κάθετα στον άξονα του κυλίνδρου με την πλευρά εξαγωγής προς τα πάνω.

Στο παρελθόν διάφοροι τύποι εφαρμοσμένων πτερυγίων έχουν χρησιμοποιηθεί στις κυλινδροκεφαλές. Επίσης έχει χρησιμοποιηθεί η ροή αέρα παράλληλα στον άξονα του κυλίνδρου. Η εμπειρία έχει δείξει ότι αυτές οι μέθοδοι είναι κατώτερες από την εσωτερική πτερύγωση και την ροή στην ακτινική κατεύθυνση.

2.5 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' ότι 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 40° C, ενώ με την υδρόψυξη η συνηθισμένη μέση θερμοκρασία είναι 70-85° 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' ότι οι υδρόψυκτοι κύλινδροι κάτω από αντίστοιχες συνθήκες.

2.6 Ψύξη βαλβίδων

Ενώ τα κύρια προβλήματα της ψύξης βαλβίδων αφορούν τη βαλβίδα εξαγωγής, οι βαλβίδες εισαγωγής λειτουργούν και αυτές σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες. Εντούτοις, οι βαλβίδες εισαγωγής φαίνεται να μην απαιτούν καμία πρόσθετη ρύθμιση ψύξης που να μην καλύπτεται ήδη από τον καλό δομικό σχεδιασμό.

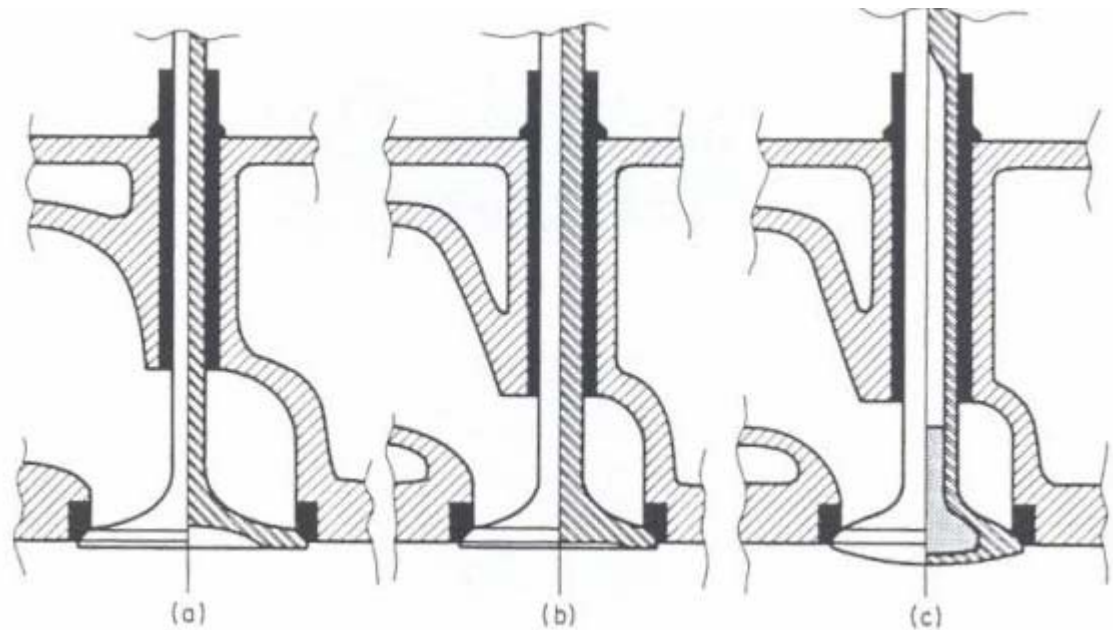
Οι βαλβίδες εξαγωγής έχουν μεγάλη δυσκολία ψύξης. Η επιφάνεια που λαμβάνει θερμότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που απορρίπτει θερμότητα, η οποία αποτελείται μόνο από το στέλεχος και την έδρα. Επιπλέον και η μέση θερμοκρασία αερίου και η ταχύτητα αερίου που σχετίζονται με την επιφάνεια είναι πολύ υψηλότερες από κάθε άλλο σημείο του κινητήρα.

Η δυσκολία ψύξης των μκητοειδών βαλβίδων εξαγωγής είναι ο κύριος λόγος για την ανάπτυξη άλλων τύπων βαλβίδων, και η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι ο κύριος λόγος που έκανε άλλους τύπους βαλβίδων ξεπερασμένους. Για τη λύση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκαν νέα υλικά βαλβίδων που μπορούν να αντισταθούν στις υψηλές θερμοκρασίες χωρίς βλάβη λόγω θραύσης, στρέβλωσης, καψίματος ή υπερβολικής φθοράς. Οι περισσότεροι κινητήρες χρησιμοποιούν ωστενιτικούς χάλυβες EV 3 με EVII. Όμως ακόμα και με τα καλύτερα υλικά το θέμα της ψύξης και της ροής θερμότητας πρέπει να ληφθεί από το σχεδιασμό με ιδιαίτερη προσοχή.

Ενώ η βαλβίδα είναι ανοικτή, το μόνο πέρασμα για τη ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο είναι μέσω του στελέχους και του οδηγού βαλβίδας, αλλά αυτό το πέρασμα είναι προφανώς μικρό. Το σημαντικότερο πέρασμα για τη ροή θερμότητας (περίπου 75%) είναι μέσω της έδρας της βαλβίδας καθώς είναι κλειστή.

Εσωτερική ψύξη: Όπως έχει αναφερθεί τα προβλήματα ψύξης είναι δυσκολότερα καθώς το μέγεθος αυξάνεται. Για βαλβίδες διαμέτρου μεγαλύτερες από 50 mm ή ακόμα και για μικρότερες βαλβίδες που υπόκεινται σε ακραίες συνθήκες (όπως στα αεροσκάφη) η εσωτερική ψύξη μπορεί να είναι απαραίτητη.

Τα Σχήματα 2.24 και 2.25 παρουσιάζουν βαλβίδες εξαγωγής που ψύχονται εσωτερικά. Ο κοίλος χώρος στη βαλβίδα γεμίζει κατά το ήμισυ με νάτριο, το οποίο υγροποιείται για τις θερμοκρασίες λειτουργίας της βαλβίδας. Κατά συνέπεια η θερμική αγωγιμότητα από την εκτεθειμένη επιφάνεια της βαλβίδας στον κορμό και την έδρα αυξάνεται πολύ.



Σχήμα 2.24: (a) βαλβίδα εισαγωγής:

- 1) έμφαση στην υψηλή ικανότητα ροής
- 2) διάμετρος = 1,15 της διαμέτρου βαλβίδας εξαγωγής
- 3) μικρή διάμετρος στελέχους

(b) βαλβίδα εξαγωγής:

- 1) έμφαση στην ψύξη
- 2) μεγάλη διάμετρος στελέχους

(c) βαλβίδα εξαγωγής με ψύξη νατρίου

Οι βαλβίδες με εσωτερική ψύξη χρησιμοποιούνται κυρίως σε αεροσκάφη, ατμομηχανές, κινητήρες αγώνων και στρατιωτικούς κινητήρες.





Σχήμα 2.25:Βαλβίδες εξαγωγής με ψύξη νατρίου. Το κοίλο διάστημα θα γεμίσει κατά το ήμισυ με νάτριο.

2.6.1 Επίδραση του μεγέθους των βαλβίδων στην ψύξη

Η μείωση του μεγέθους μιας μονάδας είναι ένας ισχυρός τρόπος βελτίωσης της θερμικής απόδοσης. Έτσι η ψύξη βαλβίδων μπορεί να βελτιωθεί πολύ από την αντικατάσταση μιας βαλβίδας από δυο παρόμοιες βαλβίδες που έχουν συνολική ικανότητα ροής ίση με τη βαλβίδα που αντικαθιστούν, δηλαδή με διαστάσεις $1/\sqrt{2}=0,71$ ως προς την απλή βαλβίδα. Αυτή η αλλαγή μειώνει το μήκος των περασμάτων της ροής θερμότητας στη βαλβίδα και αναλόγως μειώνει τη θερμοκρασία της βαλβίδας.

2.7 Προηγμένα υδρόψυκτα συστήματα

Υπάρχουν δυο κύρια μειονεκτήματα με τα συμβατικά συστήματα ψύξης:

1) Ο μεγάλος όγκος του ψυκτικού μέσου στο αρχικό κύκλωμα μπορεί να οδηγήσει σε αργή προθέρμανση του κινητήρα, και μεγάλη κατανάλωση καυσίμου στις κοντινές διαδρομές (οχημάτων).

2) Το σύστημα ψύξης τείνει να υπερψύξει μέρη του κινητήρα, κυρίως το χιτώνιο των κυλίνδρων στα χαμηλά φορτία.

Για να υπερνικηθούν αυτά τα δύο προβλήματα έχουν προταθεί πολλές εναλλακτικές λύσεις. Αυτές περιλαμβάνουν:

- (α) ψύξη ακρβείας
- (β) ψύξη διπλού κυκλώματος
- (γ) ελεγχόμενη ψύξη θερμοκρασιών συστατικών
- (δ) εξατμιστική ψύξη

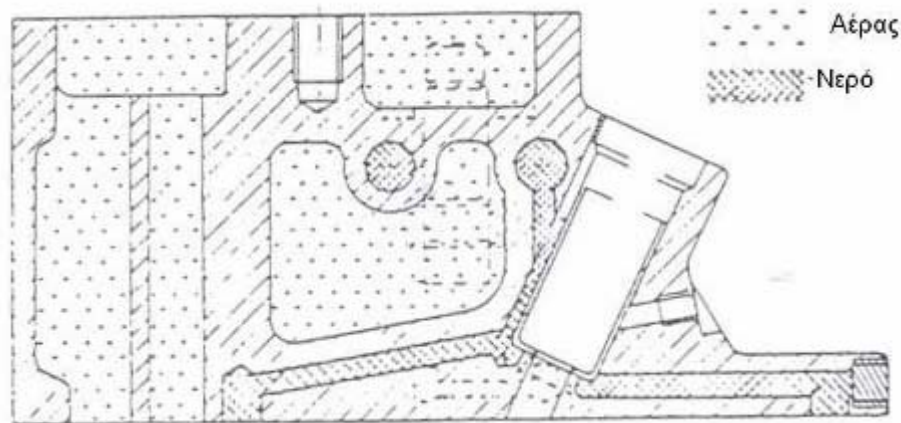
Όλα αυτά τα συστήματα στοχεύουν να καταστήσουν τη θερμοκρασία του κινητήρα πιο ομοιόμορφη και λιγότερο ευαίσθητη στο σημείο λειτουργίας (βάσει ροπής και ταχύτητας). Π.χ. εάν αυξηθεί η θερμοκρασία χιτωνίου των κυλίνδρων, τότε στο έμβολο και στο στεγανωτικό δακτύλιο η τριβή μειώνεται. Η σημασία των μειώσεων στις μηχανικές απώλειες αυξάνεται καθώς το φορτίο μειώνεται και αυτό οδηγεί στις αντίστοιχες μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου. Δυστυχώς η αύξηση της θερμοκρασίας εντός του κυλίνδρου μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αύξηση των εκπομπών οξειδίων αζώτου (ο σχηματισμός του οποίου είναι έντονα εξαρτημένος από τη θερμοκρασία). Οι εκπομπές των NOx (οξειδία αζώτου) μπορούν να μειωθούν είτε με καθυστέρηση του χρόνου ανάφλεξης είτε με την υιοθέτηση της επανακυκλοφορίας αερίων εξαγωγής (EGR, το οποίο θα συζητηθεί παρακάτω). Όμως και οι δυο αυτές μέθοδοι οδηγούν σε αύξηση κατανάλωσης καυσίμου που μπορεί ή όχι να αντισταθμιστεί από τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου λόγω των μειωμένων απωλειών τριβής.

Στους κινητήρες Otto ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί στο πλήρες φορτίο είναι η μείωση στο περιθώριο κρουστικής καύσης που προκαλείται από τις υψηλότερες θερμοκρασίες εντός κυλίνδρου. Πάλι αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την υιοθέτηση EGR ή καθυστέρηση του χρονισμού ανάφλεξης (συνήθως υιοθετείται η δεύτερη μέθοδος).

2.7.1 Ψύξη ακριβείας

Η αρχή της "ακριβούς" ψύξης που αρχικά αναπτύχθηκε για τους κινητήρες Diesel, είναι να παρασχεθεί η ψύξη μόνο όπου απαιτείται, σε ένα ποσοστό ανάλογο προς την τοπική ροή θερμότητας. Το Σχήμα 2.26 παρουσιάζει μια διάταξη "ακριβείας" ψύξης κεφαλής κυλίνδρου. Το σύστημα ψύξης "ακριβείας" έχει μικρές τοπικές μεταβάσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να ψύχουν κρίσιμες περιοχές όπως το ακροφύσιο

έγχυσης, το διάστημα μεταξύ βαλβίδων, την περιοχή της βαλβίδας εξαγωγής και τους οδηγούς.



Σχήμα 2.26: Ακριβής ψύξη κυλινδροκεφαλής

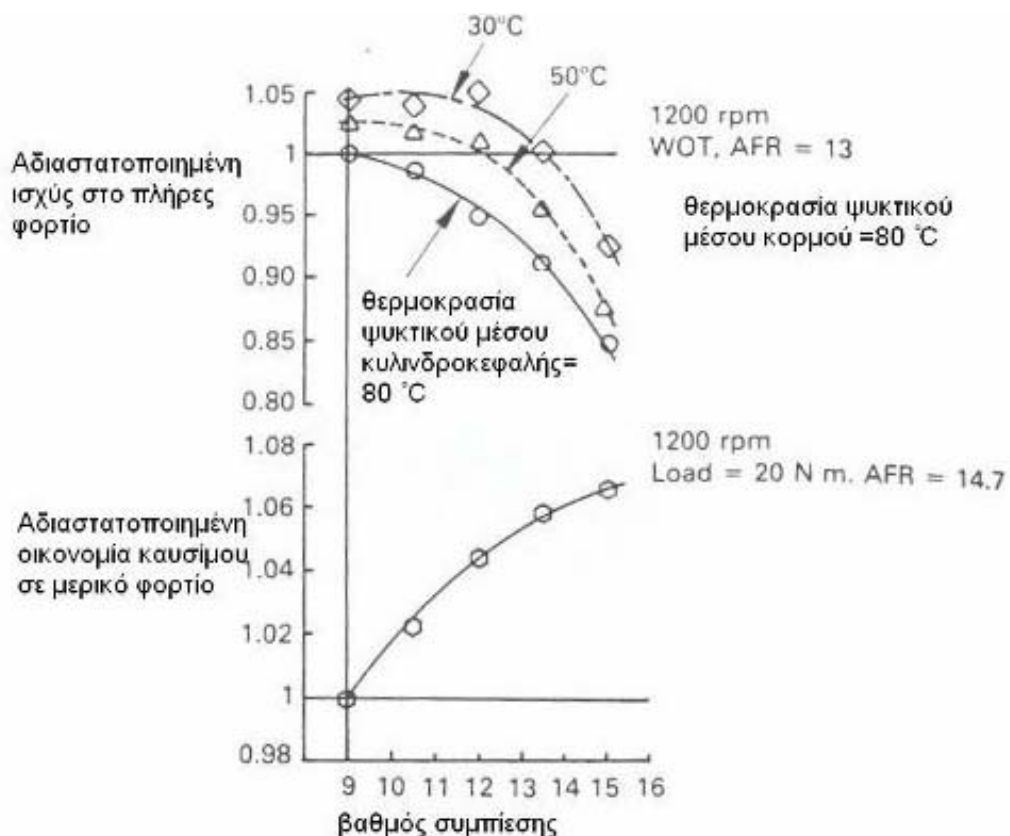
Με την ψύξη "ακριβείας" πολλές περιοχές δεν ψύχονται άμεσα και οι θερμοκρασίες τους αυξάνονται, αλλά το σύστημα σχεδιάστηκε για να κρατάει τη θερμοκρασία μέσα σε ασφαλή όρια. Το αντίστοιχο όφελος αυτού είναι μια πιο επίπεδη κατανομή θερμοκρασίας που προκαλεί μικρότερη θερμική καταπόνηση και επίσης μια πιθανή αποβολή των θερμών σημείων που επιτρέπει υψηλότερους βαθμούς συμπίεσης στους κινητήρες Otto.

2.7.2 Διπλά κυκλώματα ψύξης

Αυτή η διαδικασία χαρακτηρίζεται από τα χωριστά κυκλώματα ψύξης κεφαλής και κορμού με τη θερμοκρασία ψυκτικού μέσου κεφαλής να είναι χαμηλότερη από αυτή του κορμού. Η υψηλότερη θερμοκρασία του κορμού μειώνει τις απώλειες τριβής που συνδέονται με το έμβολο και τα ελατήρια και αυτό οδηγεί σε μειωμένη κατανάλωση καυσίμου ειδικά στο μερικό φορτίο. Η χαμηλότερη θερμοκρασία στην κεφαλή του κυλίνδρου τείνει να μειώσει την ενδεικνύμενη απόδοση, αλλά καθώς μειώνεται επίσης και ο κίνδυνος κρουστικής καύσης στους κινητήρες Otto μπορεί να χρησιμοποιηθεί υψηλότερος βαθμός συμπίεσης. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι μια βελτιωμένη απόδοση. Η επίδραση στις εκπομπές είναι πιο σύνθετη. Εάν οι θερμοκρασίες καύσης μειώνονται (είτε μέσω ενός χαμηλότερου βαθμού συμπίεσης είτε γενικώς πιο ψυχρών

επιφανειών του θαλάμου καύσης), κατ' επέκταση και οι εκπομπές NOx μπορούν να μειωθούν σημαντικά.

Το Σχήμα 2.27 συνοψίζει τα αποτελέσματα από δοκιμές που έγιναν, στις οποίες η θερμοκρασία ψυκτικού μέσου κυλινδροκεφαλής και ο βαθμός συμπίεσης ήταν μεταβαλλόμενες. Στο πλήρες φορτίο (WOT) ο χρονισμός ανάφλεξης περιορίστηκε από εμφάνιση κτύπου στις 1200 rpm. Εάν θα μπορούσε να διατηρηθεί μια θερμοκρασία ψυκτικού μέσου κυλινδροκεφαλής 50° C, τότε ο βαθμός συμπίεσης θα μπορούσε να αυξηθεί από 9 σε 12:1 ώστε ακόμα να διατηρείται η ίδια απόδοση στις 1200 rpm. Ο αυξημένος βαθμός συμπίεσης δίνει περίπου μια μείωση 5% της κατανάλωσης καυσίμου σε ροπή 20Nm. Σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα ο χρονισμός ανάφλεξης δεν θα περιορίζεται από κρουστική καύση, οπότε ο αυξημένος βαθμός συμπίεσης θα βελτιώσει επίσης την απόδοση (την ισχύ) στην λειτουργία πλήρως ανοικτής ρυθμιστικής δικλίδας.



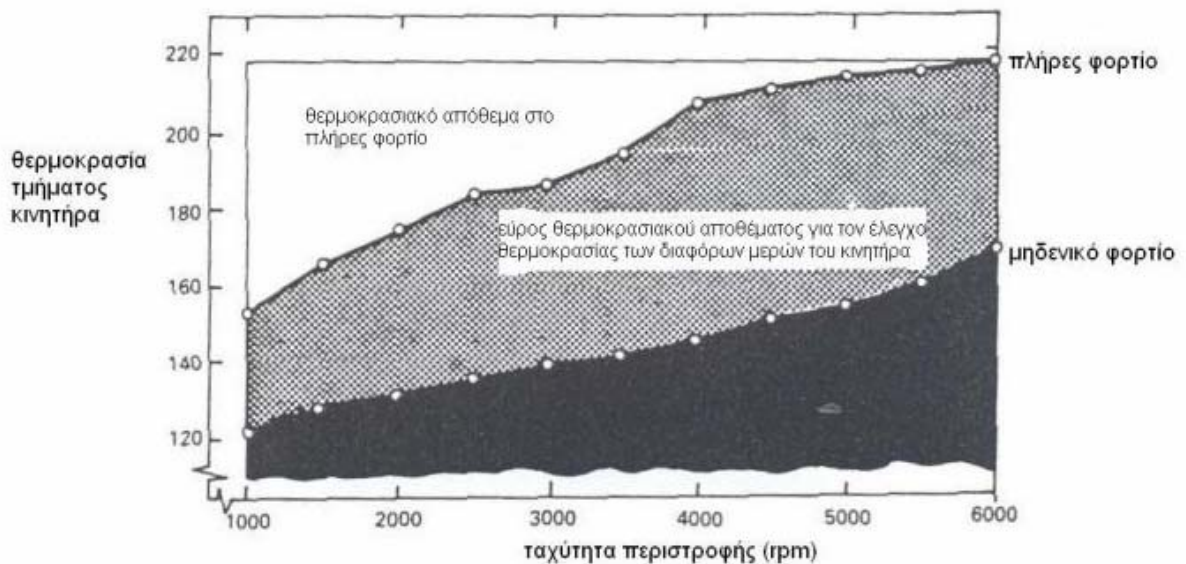
Σχήμα 2.27: Η επίδραση του βαθμού συμπίεσης στην ισχύ στο πλήρες φορτίο και στην οικονομία καυσίμου σε μερικό φορτίο για διάφορες θερμοκρασίες ψυκτικού μέσου κυλινδροκεφαλής.

2.7.3 Ελεγχόμενη ψύξη θερμοκρασιών μερών κινητήρα (CCTC)

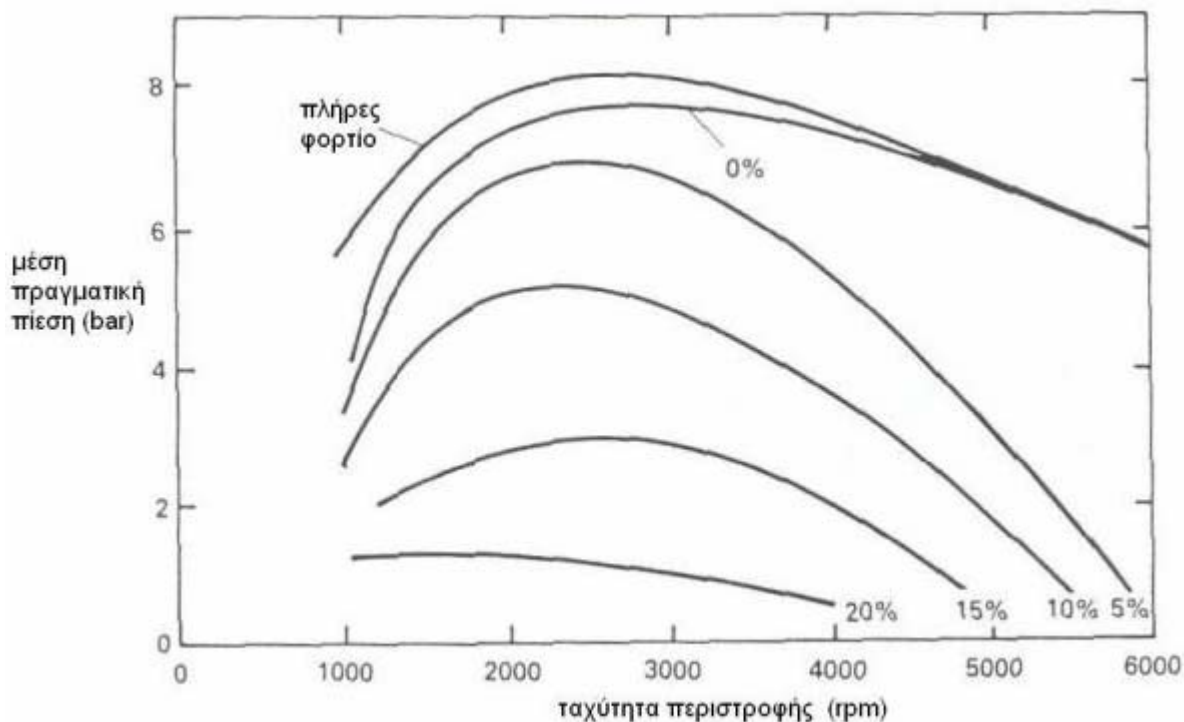
Αυτή η διαδικασία διατηρεί σταθερή μια συγκεκριμένη θερμοκρασία των τμημάτων ενός κινητήρα για όλες τις ταχύτητες περιστροφής και τα φορτία μεταβάλλοντας το ποσό ψύξης.

Το Σχήμα 2.28 δείχνει το θερμοκρασιακό απόθεμα του χιτωνίου κυλίνδρου στη θέση του άνω ελατηρίου του εμβόλου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα σε μηδενικό και πλήρες φορτίο. Η θερμοκρασία φθάνει στην μέγιστη τιμή σε μέγιστη ταχύτητα και υπερψύχεται σε άλλα σημεία.

Το Σχήμα 2.29 παρουσιάζει τις μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου που λαμβάνονται όταν εφαρμόζεται η ελεγχόμενη ψύξη τμηματικής θερμοκρασίας. Μέχρι και κέρδος καυσίμου 20% μπορεί να παρατηρηθεί στα χαμηλά φορτία. Άλλα κέρδη των υψηλών θερμοκρασιών μετάλλων (όπως συζητήθηκε στην ψύξη ακριβείας ανωτέρω) επίσης λαμβάνονται, όπως οι μειωμένες άκαυστες εκπομπές υδρογονανθράκων. Όμως στο πλήρες φορτίο με χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, η αύξηση των θερμοκρασιών των μερών προς τις τιμές φορτίου και ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε κρουστική καύση. Έτσι μειώνονται τα οφέλη του CCTC στο πλήρες φορτίο.



Σχήμα 2.28: Θερμοκρασία περιοχών του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής στο πλήρες και σε μηδενικό φορτίο.



Σχήμα 2.29: Ποσοστιαία μείωση στην κατανάλωση καυσίμου μετά από εφαρμογή της ελεγχόμενης ψύξης.

Ένα σημαντικό πρόβλημα του παραπάνω συστήματος είναι η ανταπόκρισή του στη μεταβατική λειτουργία. Όταν η ρυθμιστική δικλίδα ανοίξει ξαφνικά το σύστημα ψύξης θα πρέπει να μπορεί να αντιδράσει αρκετά γρήγορα για να αποτρέψει την αύξηση των θερμοκρασιών των μετάλλων, γιατί σε αντίθετη περίπτωση είναι πιθανό να εμφανιστεί κρουστική καύση (ειδικά σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής). Εντούτοις, ο ρόλος του συστήματος διαχείρισης του κινητήρα θα μπορούσε να επεκταθεί στον έλεγχο του συστήματος ψύξης. Οι θερμοκρασίες ψυκτικού μέσου θα ελέγχονταν και θα χρησιμοποιούνταν από κοινού με ένα χάρτη των απαιτήσεων ψύξης (ανάλογου του μίγματος ή του ελέγχου του χρονισμού ανάφλεξης). Το σύστημα ελέγχου θα μπορούσε έπειτα να αποκριθεί στις μεταβατικές καταστάσεις προτού να ανιχνευθεί οποιαδήποτε αλλαγή στις θερμοκρασίες μετάλλων.

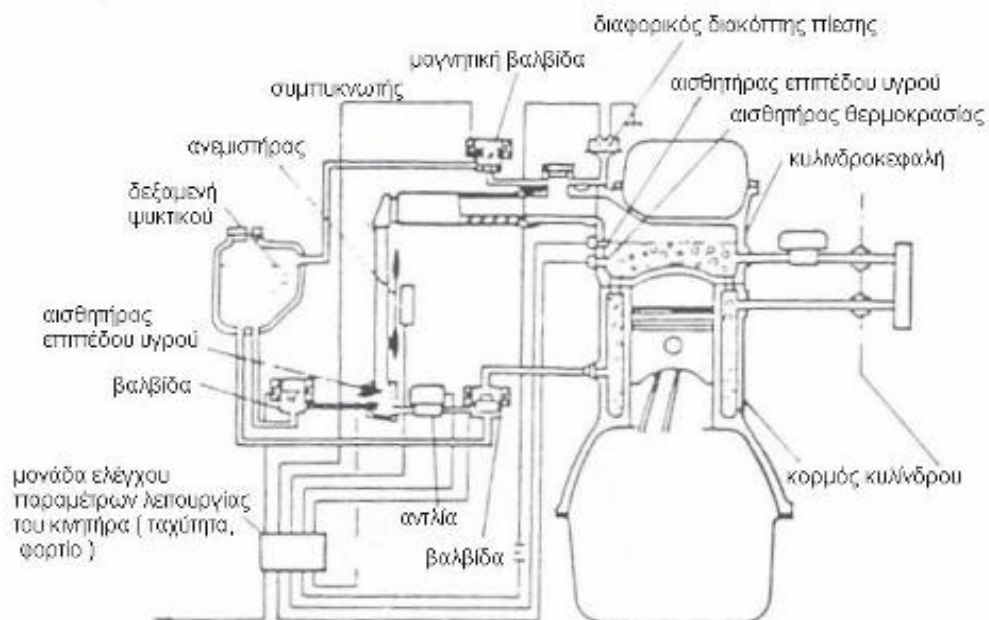
2.7.4 Εξατμιστική ψύξη

Η κύρια μέθοδος μεταφοράς θερμότητας στο ψυκτικό μέσο με την εξατμιστική ψύξη είναι μέσω βρασμού, με το υγρό συνήθως να είναι σε θερμοκρασία κορεσμού. Ίσως το πιο βασικό σύστημα είναι το σύστημα ολικών απωλειών, όπου το ψυκτικό μέσο πρέπει συνεχώς να γεμίζεται καθώς βράζει. Ο Leshner περιέγραψε μερικές

πρώρες εκδόσεις του εξατμιστικού συστήματος ψύξης και παρουσίασε μια περιεκτική επισκόπηση των απαιτήσεων του συστήματος. Ο Leshner ανέφερε τα παραδείγματα εξατμιστικής ψύξης που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αυτοκίνητα. Επίσης η εξατμιστική ψύξη έχει χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες αεροσκαφών Rolls Royce υψηλής απόδοσης.

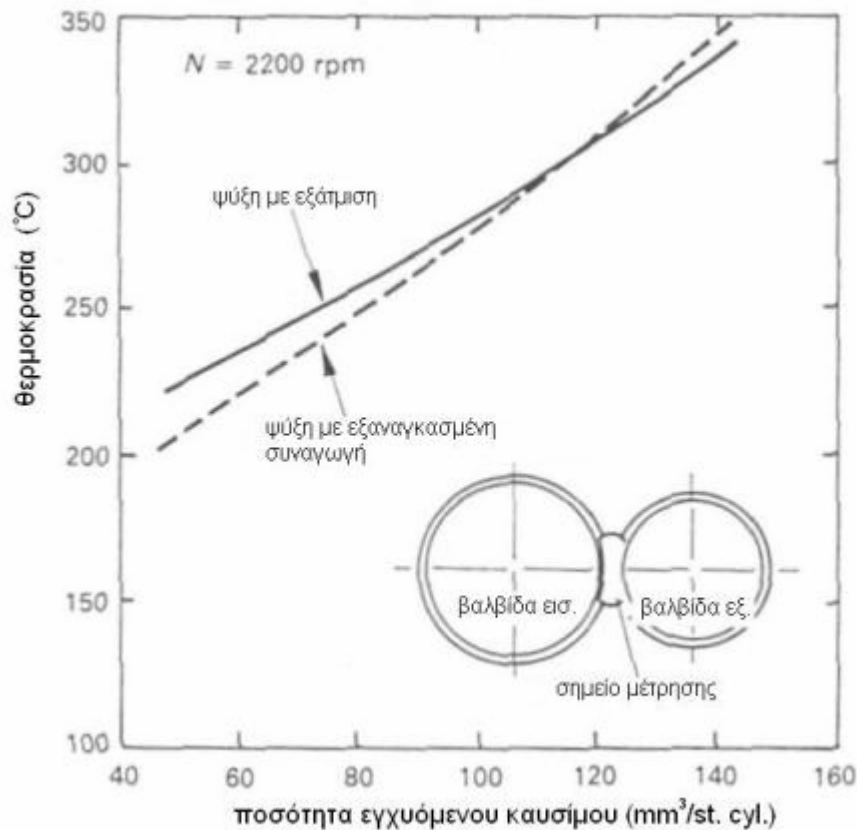
Τα περισσότερα συστήματα εξατμιστικής ψύξης είναι κλειστά με ένα συμπυκνωτή και μια μέθοδο επιστροφής του συμπυκνωμένου ψυκτικού μέσου στο χιτώνιο ψύξης. Μια μέθοδος είναι ένα σύστημα βαρύτητας, στο οποίο ο ατμός ανεβαίνει μέσα στο συμπυκνωτή και το υγρό πέφτει πάλι πίσω στον κινητήρα. Το πρόβλημα με αυτό είναι ο χώρος που απαιτείται, οπότε στα περισσότερα συστήματα το συμπύκνωμα οδηγείται πίσω στον κινητήρα με μια αντλία και μοιάζουν πολύ με τα συνηθισμένα συστήματα ψύξης με μεταφορά με το συμπυκνωτή στο ίδιο επίπεδο με τον κινητήρα (Σχήμα 2.30).

Παρατηρήθηκε ότι η υψηλή ενθαλπία εξάτμισης μειώνει τις απαιτήσεις άντλησης κατά τουλάχιστον μια μονάδα μέτρησης. Επιπλέον ο υψηλός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που συνδέεται με το βρασμό οδηγεί σε χαμηλότερες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του ψυκτικού μέσου και των συστατικών που ψύχει. Άλλα στοιχεία επίσης δείχνουν μικρότερες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία ψυκτικού μέσου και στις θερμοκρασίες μετάλλων για το σύστημα εξατμιστικής ψύξης.



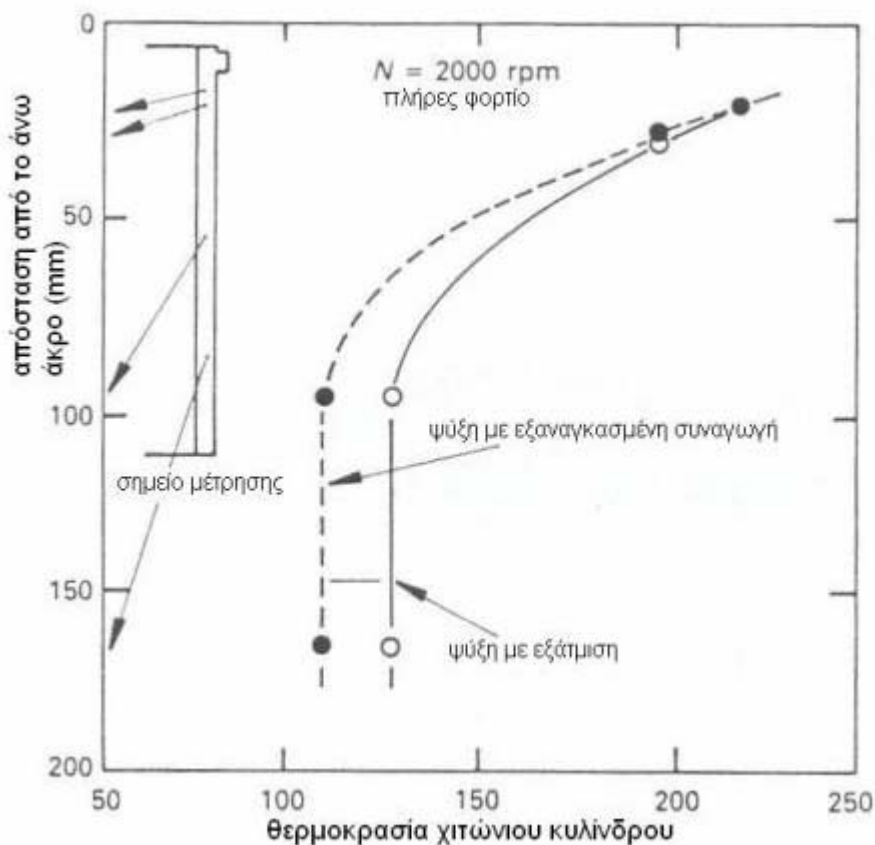
Σχήμα 2.30: Τα στοιχεία της εξατμιστικής ψύξης.

Ένα σύστημα εξατμιστικής ψύξης για έναν κινητήρα Diesel όγκου εμβολισμού 11,7 λίτρων και μερικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.31 και 2.32.



Σχήμα 2.31: Επιρροή του φορτίου στη θερμοκρασία της απόστασης μεταξύ βαλβίδων (valvebridge) για κινητήρα Diesel όγκου εμβολισμού 11,7 λίτρων με εξατμιστική ψύξη και ψύξη με συναγωγή.

Αρχικά με την αυξανόμενη έγχυση καυσίμου (ανάλογη με την ενδεικνύμενη ισχύ) η θερμοκρασία του διαστήματος μεταξύ βαλβίδων δεν ποικίλλει τόσο πολύ με το εξατμιστικό σύστημα, το οποίο συγκρίνεται με ένα συνηθισμένο σύστημα εξαναγκασμένης μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή και σε υψηλότερες ισχύς η θερμοκρασία ήταν πραγματικά χαμηλότερη. Δεύτερον, για δεδομένη ταχύτητα περιστροφής και φορτίο, το χαμηλότερο μέρος του χιτωνίου του κυλίνδρου παρουσιάζει υψηλότερη θερμοκρασία με την εξατμιστική ψύξη απ' ότι με την εξαναγκασμένη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, εν τούτοις προς την κορυφή του χιτωνίου όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες τα δυο συστήματα έχουν την ίδια θερμοκρασία.



Σχήμα 2.32: Κατανομή θερμοκρασίας στο χιτώνιου κυλίνδρου στο πλήρες φορτίο για τον ίδιο κινητήρα.

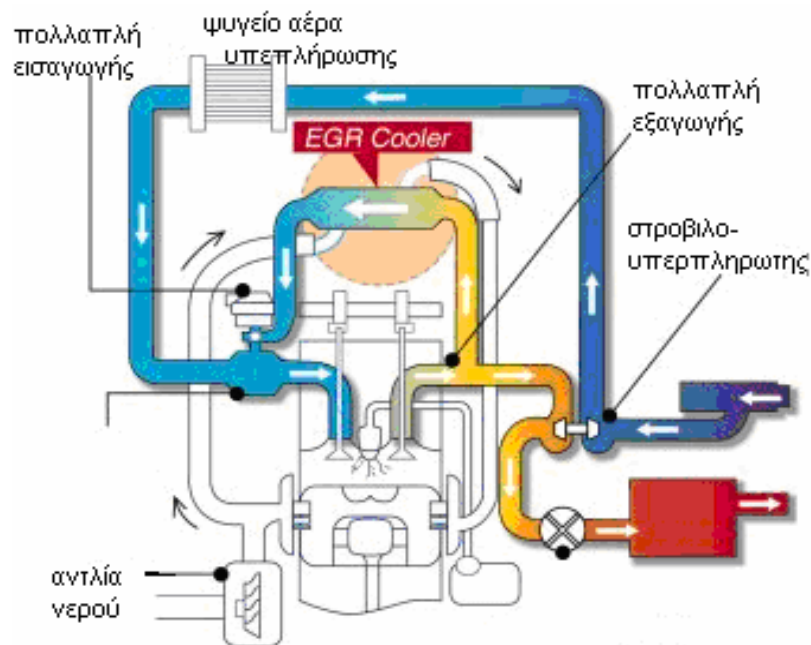
Τα πλεονεκτήματα της εξατμιστικής ψύξης είναι οι υψηλότερες θερμοκρασίες του κορμού και μια πιο ομοιόμορφη διανομή θερμοκρασιών στην κυλινδροκεφαλή. Οι μέγιστες θερμοκρασίες του κινητήρα δεν αυξάνονται απαραίτητως πάνω από το σύστημα μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή, ακόμα και αν η θερμοκρασία ψυκτικού μέσου είναι γύρω στους 20° C υψηλότερη. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες στο συμπυκνωτή θα επιτρέψουν την μείωση του μεγέθους του, κατά περίπου 30%, ώστε να επιτραπούν βελτιώσεις στην αεροδυναμική και μείωση της ισχύος του ανεμιστήρα.

Συμπερασματικά τα νέα σχέδια συστημάτων ψύξης φαίνεται πως προσφέρουν καλύτερες προδιαγραφές από τα ψυκτικά μέσα, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της μηχανής, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές.

2.7.5 Σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR

Υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον στην μείωση των εκπομπών οξειδίων αζώτου (NOx) που παράγονται στις μηχανές εσωτερικής καύσης με τη χρήση της ανακυκλοφορίας των καυσαερίων μέσω μιας ψυκτικής συσκευής.

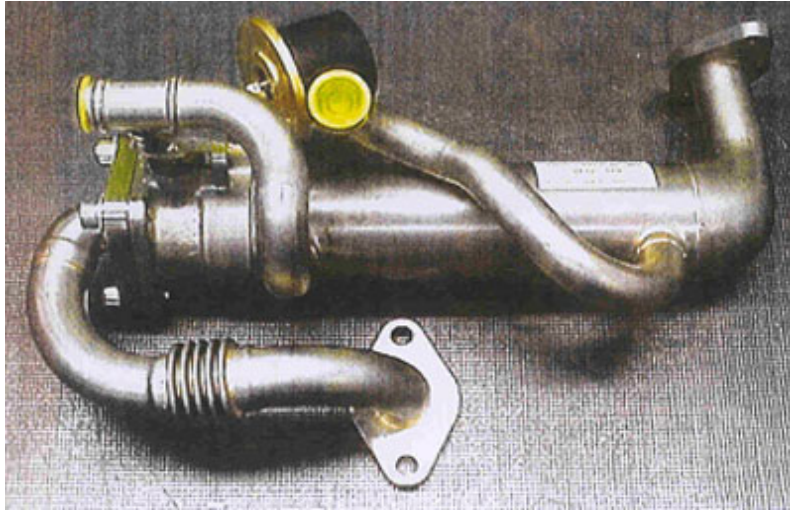
Το σύστημα EGR λειτουργεί προσθέτοντας ποσότητα καυσαερίων στην πολλαπλή εισαγωγής. Μια πνευματική ή ηλεκτρική βαλβίδα επιβεβαιώνει τη διαφορά πίεσης μεταξύ πολλαπλής εξαγωγής και εισαγωγής ώστε να οδηγούνται σωστά τα καυσαέρια προς την εισαγωγή. Αναλόγως των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα το σύστημα EGR οδηγεί από 5% έως 30% των καυσαερίων, μέσω του ψυγείου EGR αέρα-νερού, πίσω στην μηχανή. Λόγω των καυσαερίων μειώνεται το ποσοστό οξυγόνου εντός του κυλίνδρου και η θερμοκρασία καύσης οπότε μειώνονται και οι εκπομπές NOx. Ψύχοντας τα καυσαέρια που ανακυκλοφορούνται βελτιώνεται περαιτέρω η αποτελεσματικότητα του EGR και έτσι υφίσταται περαιτέρω μείωση των εκπομπών NOx.



Σχήμα 2.33: Σύστημα EGR

2.7.5.1 Ψυγείο EGR

Χρησιμοποιείται το ψυκτικό μέσο του κινητήρα και μειώνει την θερμοκρασία των καυσαερίων από τους 600 °C περίπου στους 150 °C. Τα ψυχρά καυσαέρια οδηγούνται σε έναν μίκτη, όπου ο εισερχόμενος αέρας και τα καυσαέρια θα αναμιχθούν πλήρως πριν την είσοδό τους στους κυλίνδρους.



Σχήμα 2.34: Ψυγείο EGR

2.8 Γενικές αρχές σχεδιασμού

2.8.1 Υγρά συστήματα ψύξης

Οι σημαντικές γενικές αρχές που παρατηρούνται για το σχεδιασμό υγρόψυκτων συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

1) Τα περάσματα νερού στην κυλινδροκεφαλή πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να επιτυγχάνεται γρήγορη κυκλοφορία γύρω από τις περιοχές των αυλών εξαγωγής και των εδρών των βαλβίδων εξαγωγής. Λιγότερο γρήγορη κυκλοφορία μπορεί να επιτραπεί γύρω από τους αυλούς εισαγωγής και τις κυλινδρικές οπές.

2) Εσοχές όπου μπορεί να μαζευτεί ατμός πρέπει να αποφευχθούν επιμελώς.

3) Όλα τα περάσματα νερού πρέπει να προστατευτούν από τη διάβρωση, εκτός εάν χρησιμοποιείται πάντα ψυκτικό μέσο με πρόσθετες αντιδιαβρωτικές ουσίες.

4) Η απόρριψη θερμότητας στο σύστημα ψύξης μειώνεται από:

α) Υψηλότερες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου ψυκτικού μέσου.

β) Όσο το δυνατόν λιγότερη καλυμμένη επιφάνεια που εκτίθεται στα καυσαέρια.

γ) Συμπαγείς, ανοικτούς θαλάμους καύσης

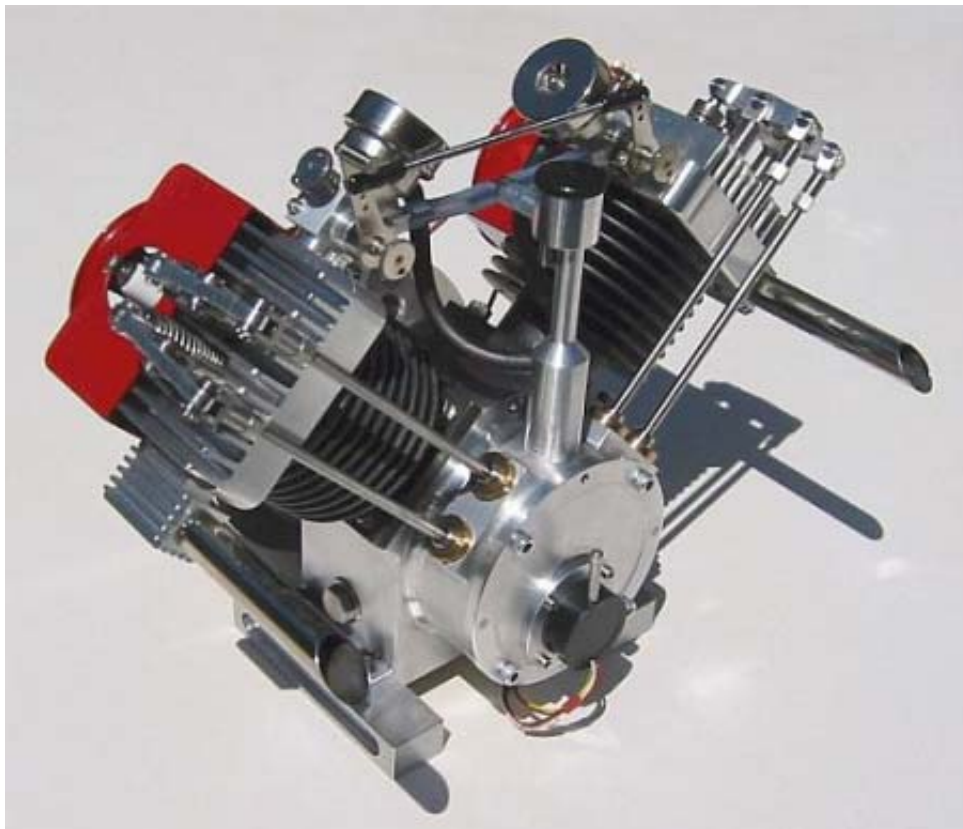
δ) Μεγάλη επικάλυψη βαλβίδων (overlap) για τους κινητήρες με υπερπλήρωση επιτρέπει τη διέλευση του αέρα εισόδου κατά τη διάρκεια της επικάλυψης των βαλβίδων. Επικαλύψεις μέχρι 150 μοίρες γωνία στροφάλου είναι συνηθισμένες σε υπερπληρωμένους κινητήρες.

Οι υδραντλίες είναι συνήθως φυγοκεντρικού τύπου, αν και πολλοί ναυτικοί κινητήρες χρησιμοποιούν αντλίες τύπου οδόντωσης. Η στεγάνωση των αξόνων πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να αποφευχθούν αδικαιολόγητες τριβές και φθορές. Οι στεγανώσεις του εμπορίου είναι συνήθως ικανοποιητικές για τον σκοπό αυτόν, εάν επιλεγούν με τη συμβουλή του κατασκευαστή.

2.8.2 Αέρια συστήματα ψύξης

Για ένα δεδομένο σχέδιο κινητήρα οι αρχές που παρατηρούνται κατά το σχεδιασμό του συστήματος ροής αέρα είναι οι ακόλουθες:

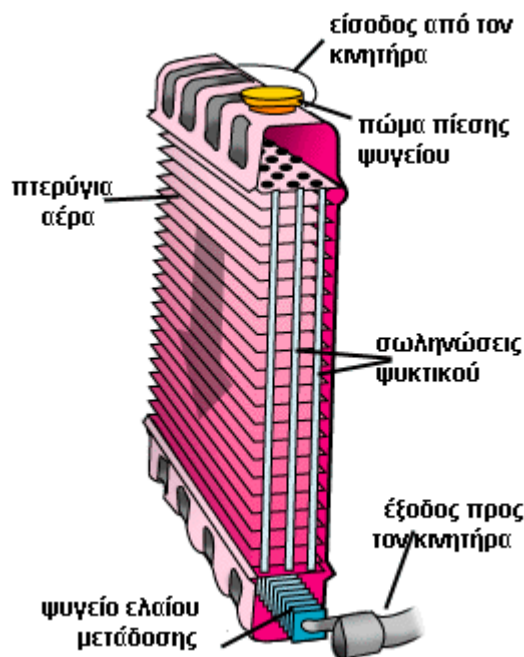
- 1) Το σύστημα ροής αέρα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε όλο ο αέρας από τον ανεμιστήρα να είναι περιορισμένος ώστε να περάσει μεταξύ των πτερυγίων. Ο αέρας που δεν περνά μεταξύ των πτερυγίων είναι χαμένος όσον αφορά την ψύξη.
- 2) Το σύστημα αεραγωγών πρέπει να σχεδιαστεί για την ελάχιστη πτώση πίεσης.
- 3) Οι ανεμιστήρες πρέπει να είναι υψηλής αποδοτικότητας.



Σχήμα 2.35: Φαίνονται χαρακτηριστικά τα πτερύγια ψύξης πάνω στον κύλινδρο.

2.9 Ψυγεία

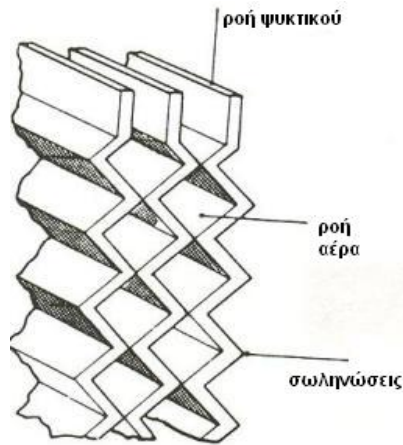
Η λειτουργία του ψυγείου είναι να μεταφέρει θερμότητα από το ψυκτικό μέσο στο ρεύμα αέρα. Είναι σχεδιασμένο με μια μεγάλη ψυκτική επιφάνεια συνδυασμένη με μια σχετικά μικρή μετωπική επιφάνεια και σχηματίζει ένα δοχείο για ορισμένο από το ψυκτικό μέσο του συστήματος. Τα ψυγεία έχουν συνήθως υπόβαθρα βάσεως, ένα πώμα πλήρωσεως, ένα σωλήνα υπερχειλίσεως, και ένα πώμα αποστραγγίσεως στην κάτω πλευρά της δεξαμενής. Η κυψέλη ψυγείου, γνωστή ως μήτρα (matrix), μπορεί να είναι σωληνοειδούς τύπου (tubular) ή τύπου λεπτής μεμβράνης (film).



Σχήμα 2.36: Ψυγείο κινητήρα εσωτερικής καύσης.

2.9.1 Ψυγείο με κυψέλες τύπου μεμβράνης (film core):

Οι σωληνώσεις καλύπτουν το ολικό εύρος της κυψέλης και δημιουργούν ορθογώνια διαστήματα, από τα οποία διέρχεται ο αέρας (Σχήμα 2.37). Οι άνω και κάτω δεξαμενές είναι ασφαλισμένες με πλαϊνά ελάσματα ή πλαίσια με την κυψέλη να βρίσκεται ανάμεσά τους, και ένα κάλυμμα ανεμιστήρα να συμπληρώνει την μονάδα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις δεξαμενές του ψυγείου είναι συνήθως ορείχαλκος, χυτοσίδηρος ή χάλυβας.

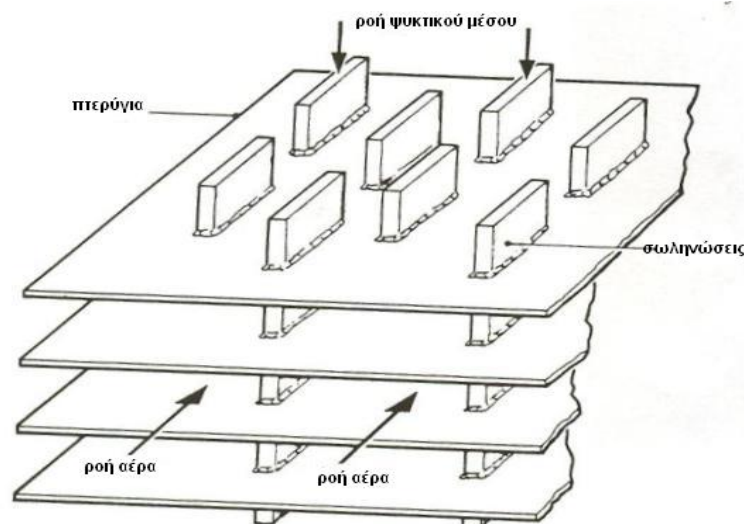


Σχήμα 2.37: Κυψέλη τύπου μεμβράνης

2.9.2 Ψυγείο με κυψέλες σωληνοειδούς τύπου

1. Τύπου πτερυγίου:

Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει σωληνώσεις με λεπτό τοίχωμα χαλκού ή ορειχάλκου ορθογώνιου ή ωειδούς σχήματος. Οι σωληνώσεις διέρχονται μια σειρά λεπτών πτερυγίων χαλκού με τις άνω και κάτω δεξαμενές να εφάπτονται στο ανώτερο και το κατώτερο πτερύγιο αντίστοιχα. Τα πτερύγια ασφαλίζουν τις δεξαμενές και αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας.



Σχήμα 2.38: Κυψέλη ψυγείου σωληνοειδούς τύπου με πτερύγια

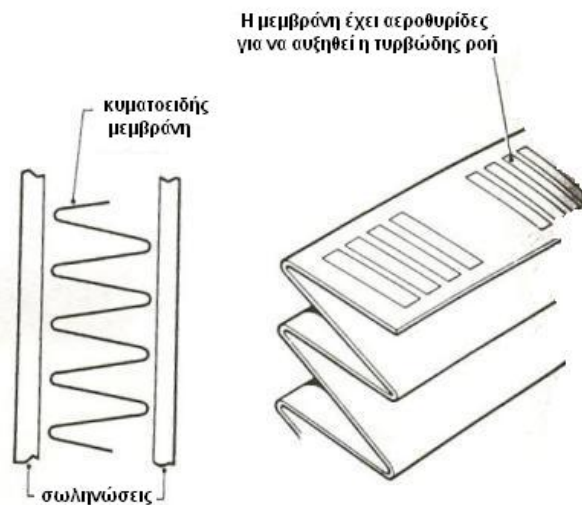
Οι σωληνώσεις είναι τοποθετημένες ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μικρότερη αντίσταση αέρα (Σχήμα 2.38), δηλαδή με την μικρότερη πλευρά να ανθίσταται στην ροή αέρα.

2. Τύπου κυματοειδούς μεμβράνης:

Αυτός ο τύπος ψυγείου είναι εναλλακτική μορφή του ψυγείου με πτερύγια και περιλαμβάνει μια κυματοειδή μεμβράνη (Σχήμα 2.39) ανάμεσα στις σωληνώσεις από όπου διέρχεται ο αέρας. Στην επιφάνεια της μεμβράνης υπάρχουν αεροθυρίδες ώστε να αυξηθεί η τυρβώδης ροή καθώς ο αέρας διαπερνά τη μεμβράνη και έτσι να αυξηθεί η ψυκτική απόδοση του ψυγείου (Σχήμα 2.40).



Σχήμα 2.39: Κυψέλη με μεμβράνη κυματοειδούς τύπου

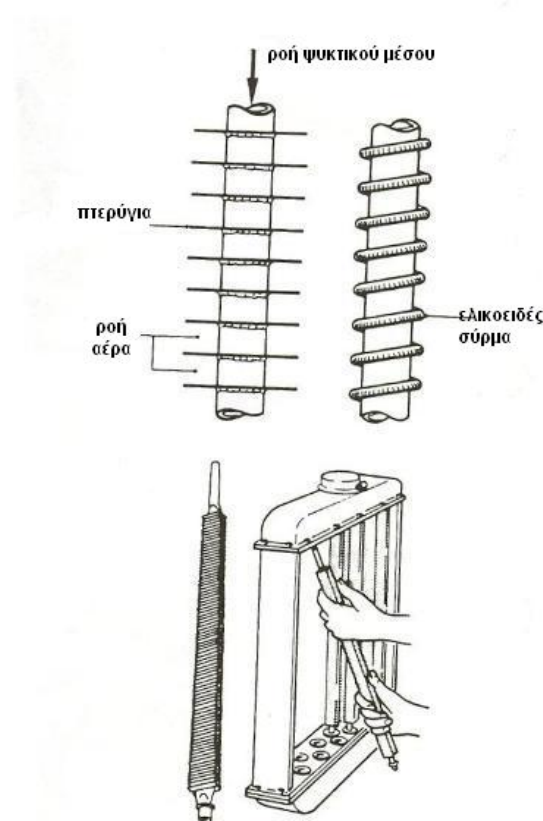


Σχήμα 2.40: Παρουσιάζονται οι αεροθυρίδες πάνω στη μεμβράνη.

2.9.3 Ψυγείο με χωριστές σωληνώσεις

Ψυγεία με χωριστές σωληνώσεις ψυκτικού μέσου χρησιμοποιούνται περιστασιακά και παρέχουν ισχυρότερη κυψέλη από τους υπόλοιπους τύπους ψυγείων αλλά είναι

κατασκευαστικά ακριβά, βαριά και χρονοβόρα στην κατασκευή. Οι δεξαμενές και ο πλαινός σκελετός κατασκευάζονται μαζί και υποδέχονται σωληνώσεις ορθογώνιας ή κυκλικής μορφής. Στο άνω και κάτω άκρο των σωληνώσεων υπάρχουν ελαστικά και μεταλλικά στεγανοποιητικά για αποφυγή διαρροής ψυκτικού μέσου και σε όλη την επιφάνεια των σωληνώσεων υπάρχουν συγκολλημένα χάλκινα πτερύγια ή χάλκινο σπείρωμα ώστε να αυξηθεί η συναλλαγή θερμότητας.



Σχήμα 2.41: Παρουσιάζονται οι χωριστές σωληνώσεις καθώς και η τοποθέτησή τους.

2.9.4 Ψυγείο με χωριστή άνω δεξαμενή

Κάποια οχήματα χρησιμοποιούν μια ξεχωριστή άνω δεξαμενή ψυγείου, η οποία μπορεί να βρίσκεται πάνω από τον κινητήρα ή στο πίσω μέρος του οχήματος και να συνδέεται με σωλήνες με το κύκλωμα ψύξης. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την χρήση ψυγείου μικρού ύψους. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η ξεχωριστή δεξαμενή είναι πιο προσβάσιμη για έλεγχο και τοποθέτηση ψυκτικού συγκρινόμενη με άλλες άνω δεξαμενές.

2.10 Ανεμιστήρες

Ο ανεμιστήρας είναι συνήθως τοποθετημένος πίσω από το ψυγείο ώστε να οδηγεί αέρα προς την κυψέλη (Σχήμα 2.42). Ο ανεμιστήρας οδηγείται από έναν ή περισσότερους ιμάντες από την στροφαλοφόρο άδρακτο. Εναλλακτικά μπορεί να είναι τοποθετημένος στην άκρη του εκκεντροφόρου άξονα ή να οδηγείται από έναν βοηθητικό ελικοφόρο άξονα από τον εκκεντροφόρο άξονα.

Για τους κινητήρες οχημάτων ο ανεμιστήρας θα πρέπει να διοχετεύει επαρκή ποσότητα αέρα προς το ψυγείο για ψυκτικούς λόγους σε μπότιλιάρισμα ή πολύ ζεστή μέρα και γενικά να εξασφαλίζει επαρκή ψύξη σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφές του κινητήρα. Από την άλλη σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής ή κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού δεν απαιτείται η ίδια βοήθεια από τον ανεμιστήρα, καθώς η φυσική ροή αέρα μέσω του ψυγείου είναι επαρκής για να ψύξει τον αέρα. Υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας ο ανεμιστήρας θα απορροφούσε άσκοπη ισχύ από τον κινητήρα για τη λειτουργία του.



Σχήμα 2.42: Ανεμιστήρας κινητήρα τοποθετημένος πίσω από το ψυγείο

Για τους ανωτέρω λόγους υπάρχουν μέθοδοι ελέγχου της λειτουργίας του ανεμιστήρα. Χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες μεταβλητού βήματος, η λειτουργία των οποίων εξαρτάται από την μεταβολή της γωνίας των πτερυγίων του ανεμιστήρα. Σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής τα πτερύγια σχηματίζουν γωνία με το ψυγείο ώστε ο

ανεμιστήρας να βοηθάει στην παροχή αέρα. Σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής η γωνία των πτερυγίων μηδενίζεται ώστε να μην απορροφάται αέρας και να μην μειώνεται η ισχύς του κινητήρα για τη λειτουργία του ανεμιστήρα. Αυτοί οι ανεμιστήρες δεν καλύπτουν όλες τις συνθήκες λειτουργίας και υπάρχει πιθανότητα υπερθέρμανσης. Για το λόγο αυτό η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη.

2.10.1 Οδηγοί ανεμιστήρα ιξώδους

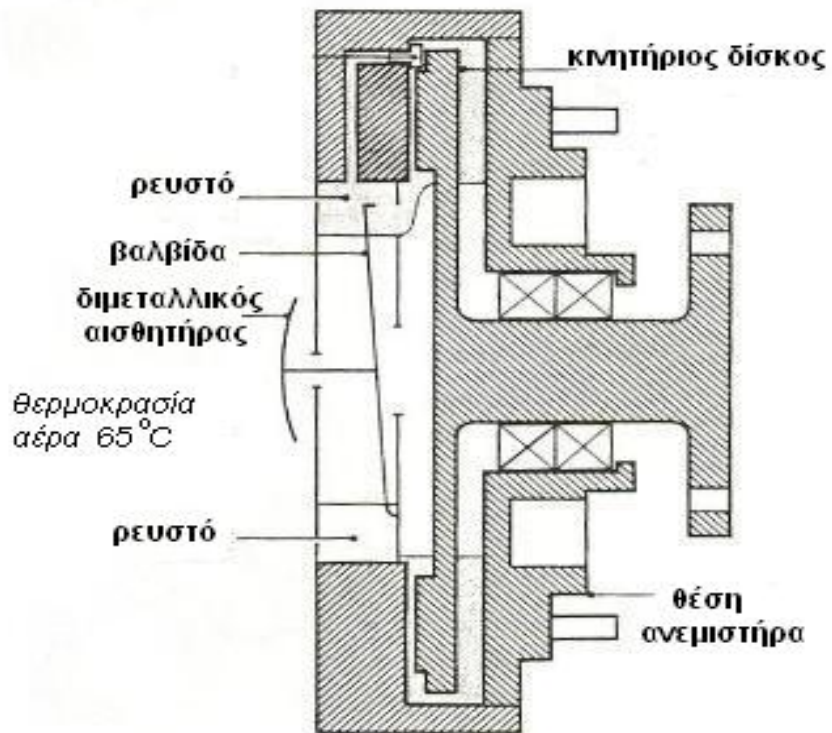
Πολλά οχήματα χρησιμοποιούν αυτό το είδος ανεμιστήρα που μεταβάλλει την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί όποτε είναι απαραίτητο. Καθώς ένα όχημα κινείται με υψηλή ταχύτητα, ο αέρας που διέρχεται την κυψέλη του ψυγείου είναι συνήθως επαρκής για να παρέχει την απαιτούμενη ψύξη χωρίς τη βοήθεια του ανεμιστήρα. Οι οδηγοί με ιξώδες (viscous drives) είναι σχεδιασμένοι ώστε να διακόπτουν τη λειτουργία του ανεμιστήρα σε υψηλές ταχύτητες κίνησης του οχήματος και σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα, οπότε δεν απαιτείται και με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχουν απώλειες ισχύος από τον κινητήρα και απουσία θορύβου από τον ανεμιστήρα. Από την άλλη όταν ο κινητήρας απαιτεί μεγαλύτερη ψύξη ο οδηγός με ιξώδες επαναφέρει σε λειτουργία τον κινητήρα.

Η λειτουργία του οδηγού με ιξώδες είναι η ακόλουθη: Η κίνηση μεταδίδεται από ένα δίσκο προς το κέλυφος μέσω ενός λεπτού στρώματος ρευστού σιλικόνης (Σχήμα 2.43). Ένας διμεταλλικός αισθητήρας είναι τοποθετημένος προς τη ροή αέρα και μετράει τη θερμοκρασία του αέρα καθώς αυτός κατευθύνεται προς το ψυγείο. Όταν η θερμοκρασία φθάσει μια προκαθορισμένη τιμή, ο αισθητήρας ανοίγει μια βαλβίδα στο κέλυφος, ώστε να επιτρέπεται η ροή του ρευστού από τον μπροστά θάλαμο στον πίσω και να γεμίσει το κενό μεταξύ του δίσκου και του κελύφους. Με τον τρόπο αυτό αναγκάζεται το κέλυφος να περιστραφεί με το δίσκο, οπότε να περιστραφεί ο ανεμιστήρας. Όταν μειωθεί η θερμοκρασία ψυκτικού μέσου, θα μειωθεί και η θερμοκρασία του αέρα και ο αισθητήρας θα επανέλθει στην αρχική του θέση κλείνοντας τη βαλβίδα μεταξύ των δύο θαλάμων. Η φυγόκεντρος δύναμη που ασκείται στο ρευστό, το οδηγεί μέσω μιας οπής στον μπροστινό θάλαμο αφήνοντας το κενό ανάμεσα στο δίσκο και το κέλυφος ελεύθερο.

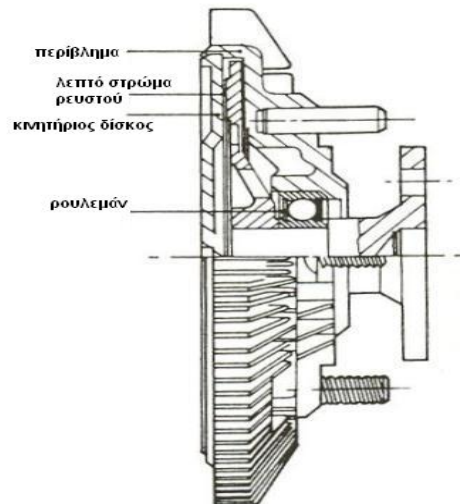
ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



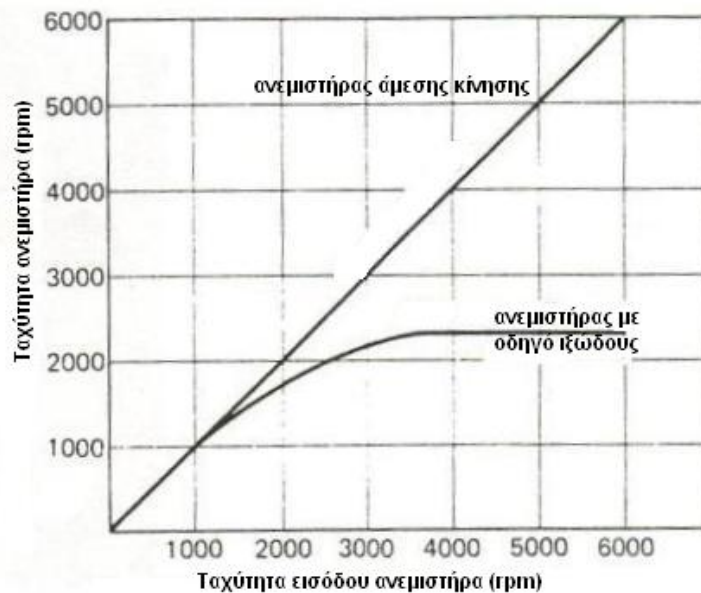
ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ



Σχήμα 2.43: Λειτουργία του οδηγού με ιξώδες



Σχήμα 2.44: Μονάδα ανεμιστήρα με οδηγό ιξώδους



Σχήμα 2.45: Σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει τον περιορισμό της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής του ανεμιστήρα με οδηγό ιξώδους.

2.11 Θερμοστάτες

Ο θερμοστάτης (Σχήμα 2.46) χρησιμοποιείται στο υγρόψυκτο σύστημα, ώστε να εξασφαλίσει γρήγορη προθέρμανση του κινητήρα και να διατηρήσει τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, με το εύρος λειτουργίας να κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 77° C και 85° C.

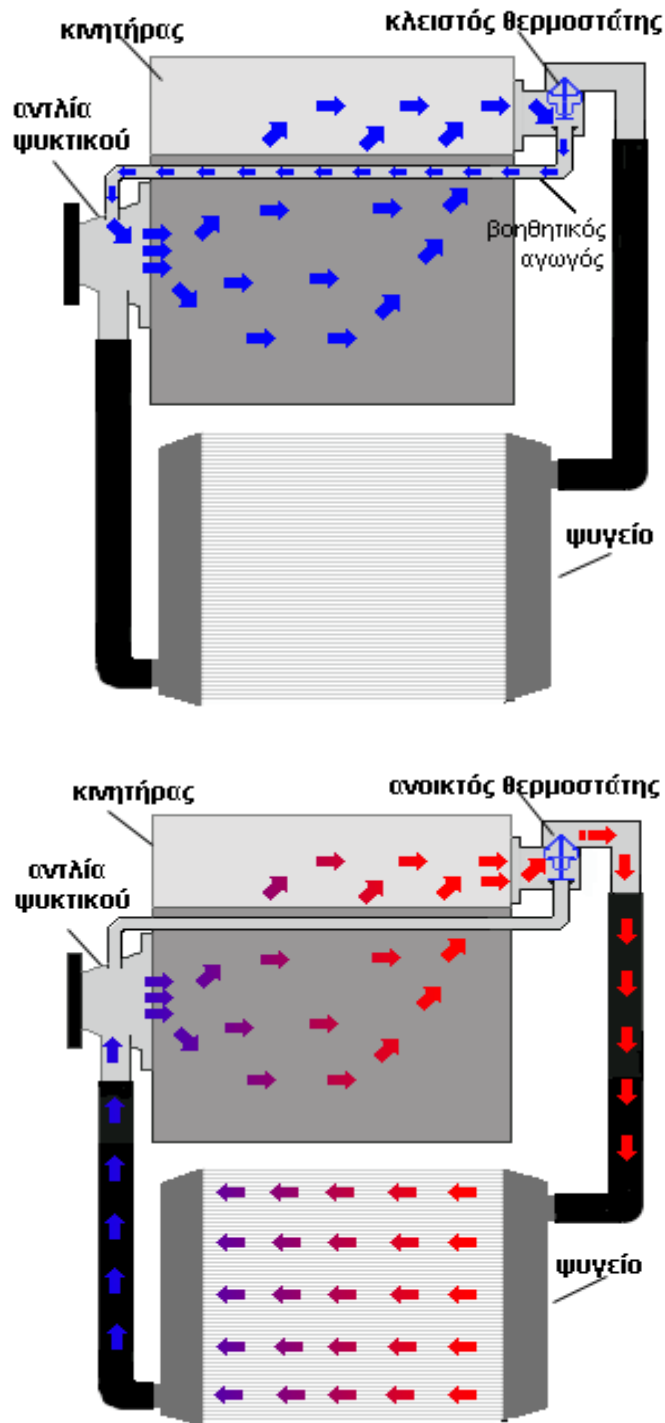


Σχήμα 2.46: Θερμοστάτης

Ο θερμοστάτης ελέγχει τη ροή του ψυκτικού προς το ψυγείο ανάλογα με τη θερμοκρασία του χιτωνίου υγρού (water-jacket) του κινητήρα. Όταν ο κινητήρας είναι «κρύος», ο θερμοστάτης δεν επιτρέπει στο ψυκτικό να εγκαταλήξει τον χιτώνιο υγρού μέχρι η θερμοκρασία ψυκτικού μέσου να αυξηθεί (Σχήμα 2.47). Σε αυτό το στάδιο ανοίγει η βαλβίδα του θερμοστάτη και επιτρέπεται στο ψυκτικό μέσο να οδηγηθεί προς το ψυγείο σε τέτοιο βαθμό ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε λογικά επίπεδα λειτουργίας.

Με τον έλεγχο της ροής του ψυκτικού μέσου, ο κινητήρας και το λιπαντικό έλαιο θερμαίνονται γρήγορα, οπότε:

- Μειώνονται οι απώλειες τριβής
- Μειώνονται οι φθορές στα ελατήρια του εμβόλου και τον κύλινδρο
- Μειώνονται οι επικαθήσεις άνθρακα στον θάλαμο καύσης
- Μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου



Σχήμα 2.47: Παρουσιάζεται η θέση και η λειτουργία του θερμοστάτη σε κινητήρα Otto.

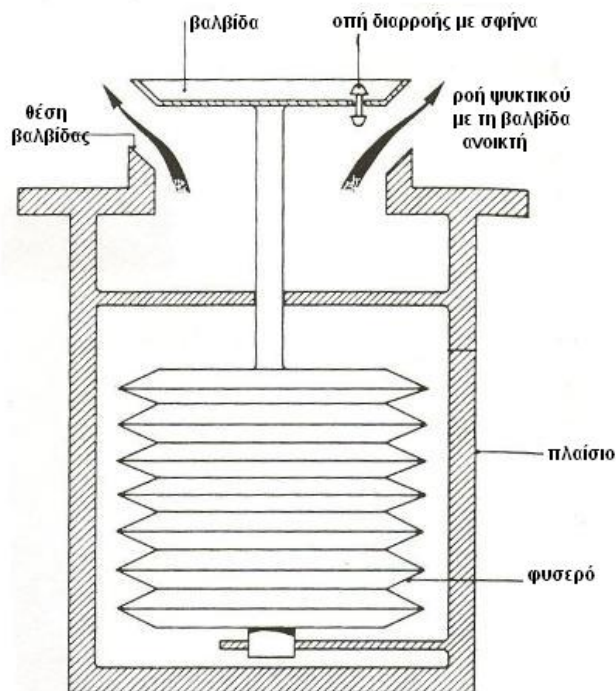
2.11.1 Τύπου "φουσερού" (bellows type)

Ο θερμοστάτης είναι συνήθως εγκατεστημένος στην κυλινδροκεφαλή, κάτω από τον άνω σωλήνα εξαγωγής ψυκτικού. Κάποιοι κινητήρες με διάταξη κυλίνδρου V έχουν δύο θερμοστάτες, έναν σε κάθε σειρά κυλίνδρων.

Ο τρόπος λειτουργίας αυτού του τύπου θερμοστάτη είναι ο εξής:

Καθώς ο κινητήρας είναι «κρύος» η βαλβίδα του θερμοστάτη παραμένει κλειστή στη θέση της λόγω της συστολής του φουσερού. Με τον τρόπο αυτό δεν διέρχεται ψυκτικό μέσο από την κυλινδροκεφαλή προς το ψυγείο. Μόλις ζεσταθεί ο κινητήρας, θερμαίνεται και το ψυκτικό εντός του χιτωνίου και έτσι εξατμίζεται το πτητικό υγρό (συνήθως ασετόνη ή μεθυλική αλκοόλη) εντός του "φουσερού". Η εξατμηση οδηγεί σε διαστολή του "φουσερού" οπότε και άνοιγμα της βαλβίδας. Έτσι το ψυκτικό μέσο είναι ελεύθερο να οδηγηθεί μέσω του κυκλώματος του ψυγείου ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του (Σχήμα 2.48).

Μόλις κρυώσει ο κινητήρας, λίγο μετά το πέρας λειτουργίας του, η βαλβίδα επανέρχεται πίσω στη θέση της λόγω της συστολής του "φουσερού" καθώς ο ατμός επανέρχεται στην υγρή του κατάσταση λόγω μείωσης της θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.48: Θερμοστάτης φουσερού τύπου

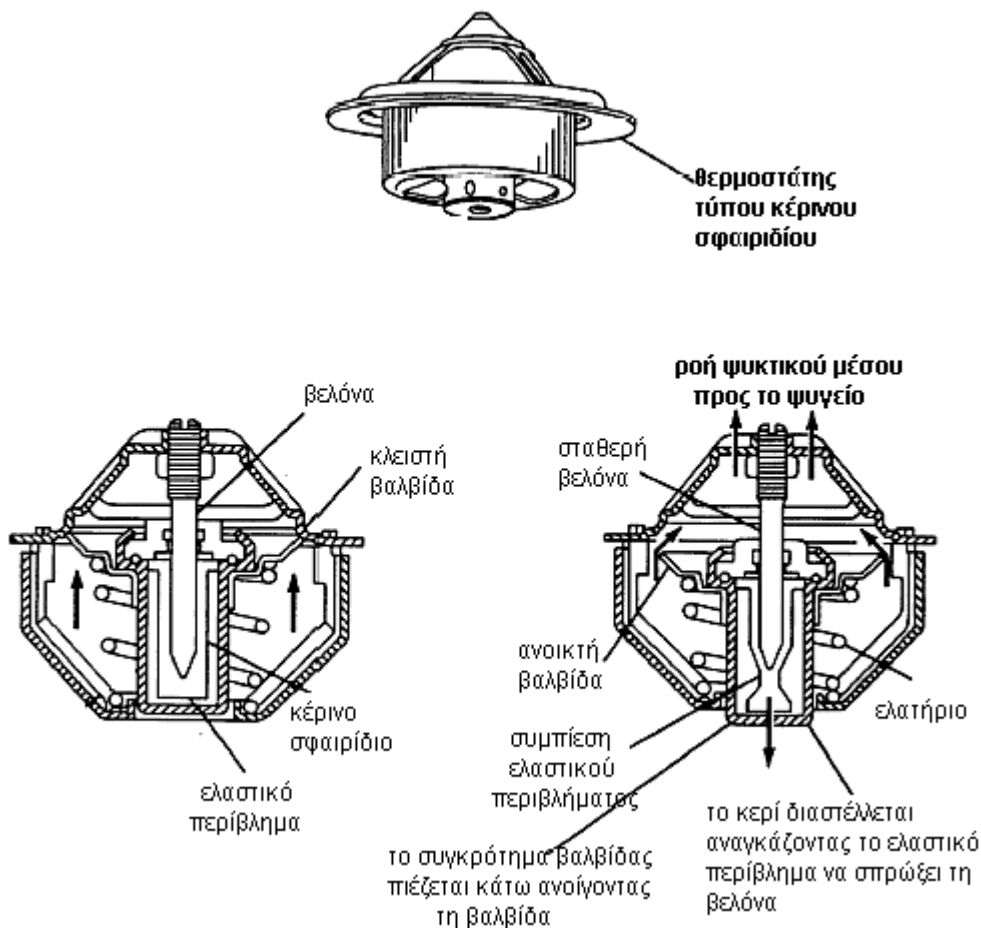
Ένα παρακαμπτήριο πέρασμα χρησιμοποιείται συνήθως ώστε να επιτρέπεται η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου γύρω από τον κορμό των κυλίνδρων και την κυλινδροκεφαλή όταν η βαλβίδα είναι κλειστή. Έτσι αποτρέπεται η τοπική υπερθέρμανση των ζεστών σημείων (hot-spots) στην κυλινδροκεφαλή.

Πάνω στη βαλβίδα του θερμοστάτη βρίσκεται μια οπή διαρροής που παρέχει μερική κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου όταν η βαλβίδα είναι κλειστή. Συνήθως η οπή

διαρροής κλείνεται από μια σφήνα που στεγανοποιεί το κύκλωμα υπό πίεση αντλίας και αποτρέπει τη διαρροή ψυκτικού μέσου όταν ο κινητήρας είναι κρύος.

2.11.2 Τύπου κέρνου σφαιριδίου

Αυτός ο τύπος θερμοστάτη δεν χρησιμοποιείται για φυσιολογικές πιέσεις ψυκτικού μέσου και είναι ιδανικός για συστήματα ψύξης που λειτουργούν σε μέγιστη πίεση 48 kN/m². Ο θερμοστάτης αποτελείται από μια χάλκινη κάψουλα, η οποία είναι επενδυμένη με περίβλημα κεριού παραφίνης, εμποτισμένο με σκόνη χαλκού, ώστε να βελτιωθεί η θερμική αγωγιμότητα. Η κάψουλα είναι συνδεδεμένη με τη βαλβίδα του θερμοστάτη και περιέχει μια ασάλινη βελόνα, συνδεδεμένη με τη βαλβίδα (Σχήμα 2.49).

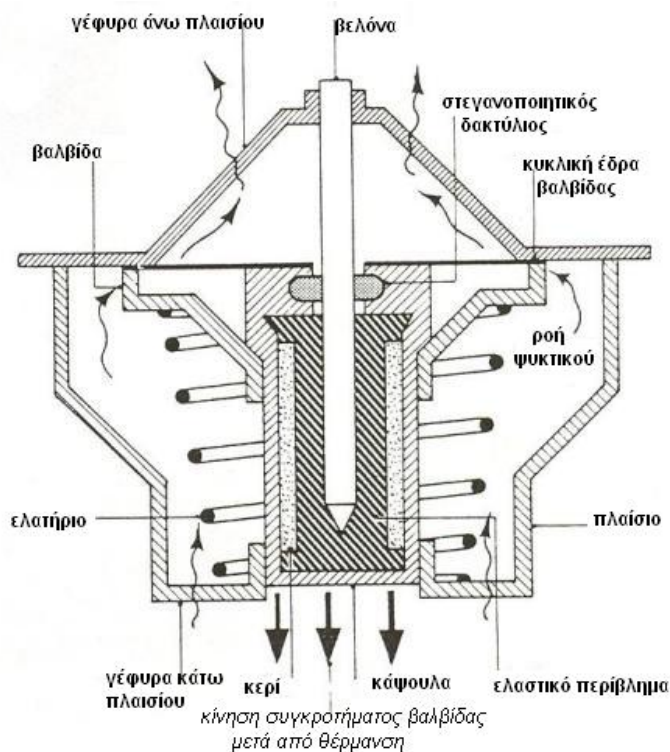


Σχήμα 2.49: Παρουσιάζεται ο θερμοστάτης τύπου κέρνου σφαιριδίου και η λειτουργία του.

Ο τρόπος λειτουργίας αυτού του τύπου θερμοστάτη είναι ο εξής:

Καθώς θερμαίνεται η κάψουλα, το κερί αλλάζει κατάσταση και υγροποιείται οπότε διαστέλλεται πιέζοντας το ελαστικό χιτώνιο, το οποίο με τη σειρά του σπρώχνει τη βελόνα και ανοίγει η βαλβίδα. Η κωνική άκρη βοηθάει στην ομαλότερη λειτουργία (άνοιγμα βαλβίδας) παρ' ότι δεν είναι απαραίτητα. Όταν η κάψουλα είναι κρύα η συστολή του κερινού σφαιριδίου απελευθερώνει την κρούση στο έμβολο και ένα ελατήριο βοηθάει στο κλείσιμο της βαλβίδας.

Το Σχήμα 2.50 παρουσιάζει ένα θερμοστάτη αντίθετης λειτουργίας (reverse-opening) όπου η βελόνα είναι συνδεδεμένη με το σκελετό του θερμοστάτη και η διαστολή του κεριού οδηγεί την κάψουλα προς τα κάτω παρασύροντας τη βαλβίδα μαζί του. Αυτός ο τύπος δεν αναγκάζεται από την πίεση της αντλίας σε άνοιγμα και παρέχει καλύτερη ροή ψυκτικού μέσου από τον θερμοστάτη κανονικής λειτουργίας.



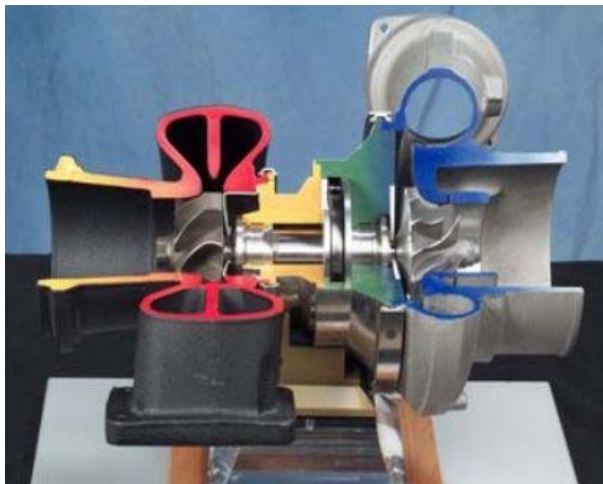
Σχήμα 2.50: Θερμοστάτης τύπου κερινού σφαιριδίου αντίθετης λειτουργίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

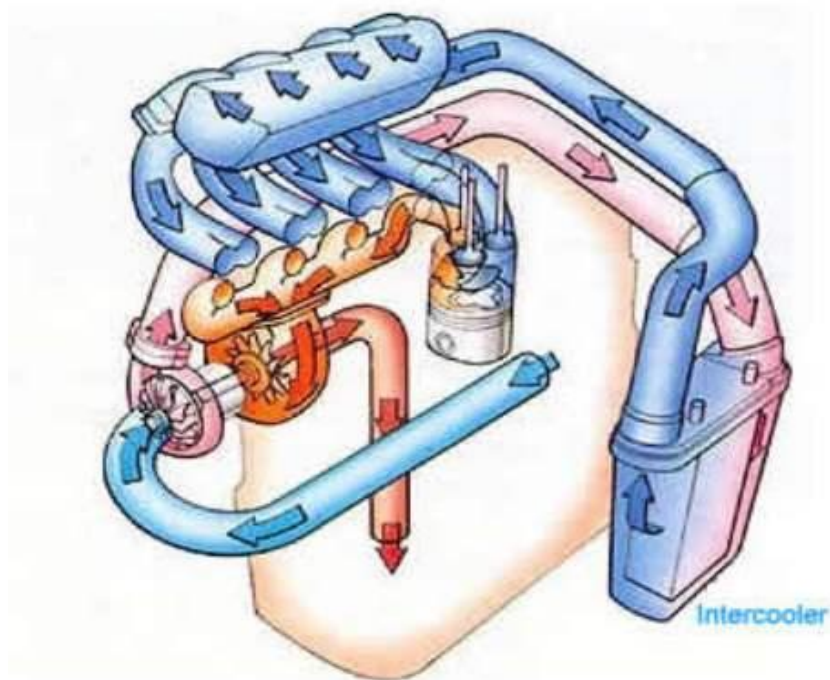
ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΥΠΕΠΛΗΡΩΣΗΣ (Intercooling)

3.1 Βασικές αρχές

Ο κύριος σκοπός της υπερπλήρωσης (Σχήματα 3.1α και 3.1β) είναι η αύξηση της παραγόμενης ισχύος από έναν κινητήρα χωρίς αύξηση του μεγέθους του. Αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας την πίεση εισαγωγής (στην πολλαπλή εισαγωγής και εν συνεχεία στους κυλίνδρους), δηλαδή αυξάνοντας τη μάζα που αναρροφάται από τον κύλινδρο κατά τη φάση εισαγωγής, επιτρέποντας έτσι περισσότερο καύσιμο να καεί οπότε και να παραχθεί περισσότερη ισχύς.



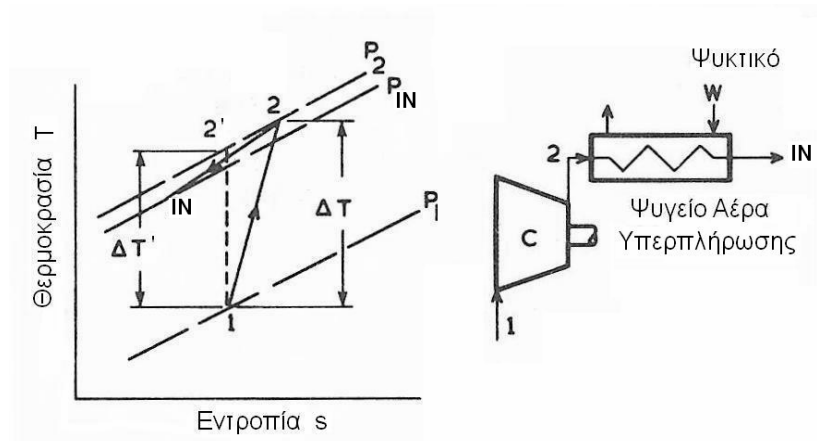
Σχήμα 3.1α: Στροβιλουπερπληρωτής



- είσοδος αέρα περιβάλλοντος
- έξοδος αέρα από τον στοβιλουπερπληρωτή
- έξοδος αέρα από το ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης
- έξοδος καυσαερίων από την πολλαπλή εξαγωγής
- έξοδος καυσαερίων από τον στρόβιλο

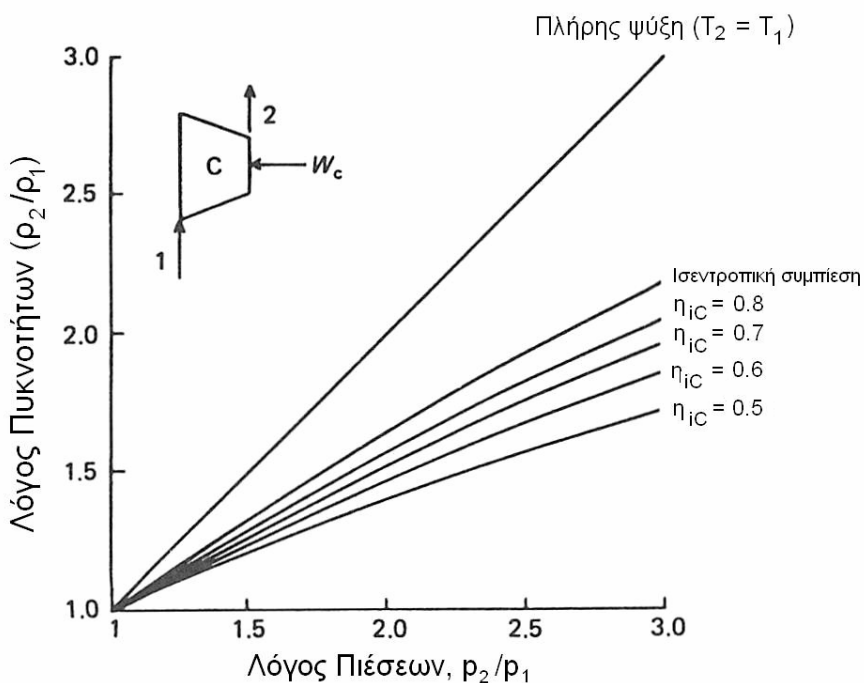
Σχήμα 3.1β: Ροή αέρα και καυσαερίων σε στροβιλο-υπερπληρωτή.

Ωστόσο, είναι αδύνατον να συμπιεστεί ο αέρας χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας του, εκτός εάν ο συμπιεστής ψύχεται εξωτερικά. Από τη στιγμή που σκοπός είναι η αύξηση της πυκνότητας του αέρα, η θερμοκρασιακή ανύψωση αντισταθμίζει, εν μέρει, το όφελος από την ανύψωση της πίεσης. Έτσι, σκοπός είναι η ανύψωση της πίεσης με την ελάχιστη δυνατή αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό, κατ' αρχήν, συνεπάγεται ισεντροπική συμπίεση (Σχήμα 3.2)



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα T-s της μεταβολής στο ψυγείο του αέρα υπερπλήρωσης.

Όμως, λόγω των ατελειών των συμπιεστών σε πραγματική λειτουργία, η πραγματική αύξηση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από αυτήν που αντιστοιχεί στην ισεντροπική συμπίεση



Σχήμα 3.3: Επίδραση του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή στην πυκνότητα του αέρα στην πολλαπλή εισαγωγή.

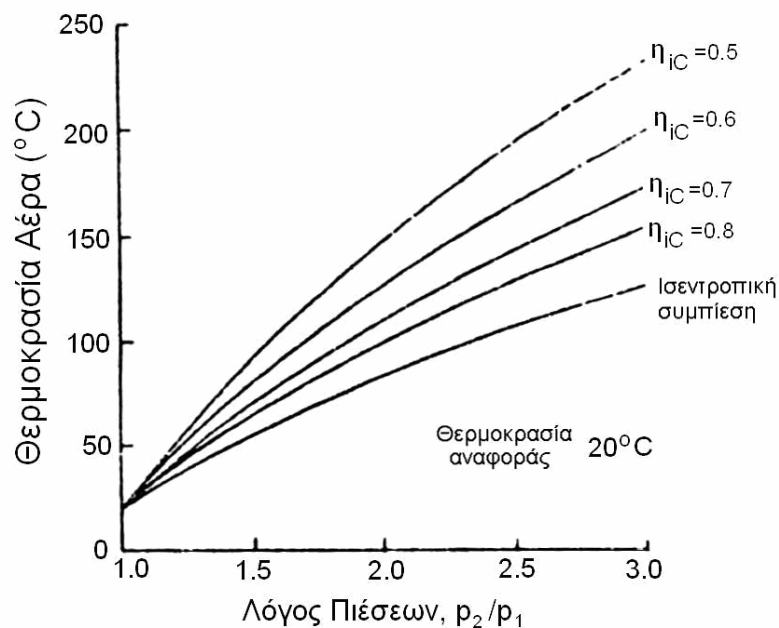
Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται ο λόγος πυκνοτήτων ρ_2/ρ_1 (1: είσοδος στον συμπιεστή, 2: έξοδος από τον συμπιεστή) συναρτήσει του λόγου πιέσεων p_2/p_1 , για διάφορες τιμές του (ισεντροπικού) βαθμού απόδοσης του συμπιεστή. Επισημαίνονται τα εξής:

1) το όφελος από την ανύψωση της πίεσης εισαγωγής ελαττώνεται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, η οποία εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του συμπιεστή.

2) η συνεισφορά του υψηλού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή στο να κρατηθεί χαμηλά η θερμοκρασιακή ανύψωση είναι μικρή, αλλά αξιοσημείωτη.

3) το όφελος που προκύπτει από την ψύξη του συμπιεσμένου αέρα έως μία θερμοκρασία κοντά στη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι ουσιαστικό, και αυξάνει με το λόγο πιέσεων του συμπιεστή. Είναι φανερό ότι η ψύξη του αέρα από την εξαγωγή του συμπιεστή έως την εισαγωγή στους κυλίνδρους είναι επωφελής.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι ότι, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας εισαγωγής του αέρα στους κυλίνδρους, οι θερμοκρασίες ολόκληρου του κύκλου λειτουργίας του κινητήρα είναι χαμηλότερες (για σταθερή μέση πραγματική πίεση), οπότε και η θερμική φόρτιση του κινητήρα είναι μικρότερη, στοιχείο που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε κινητήρες Otto (πρόβλημα κρουστικής καύσης).

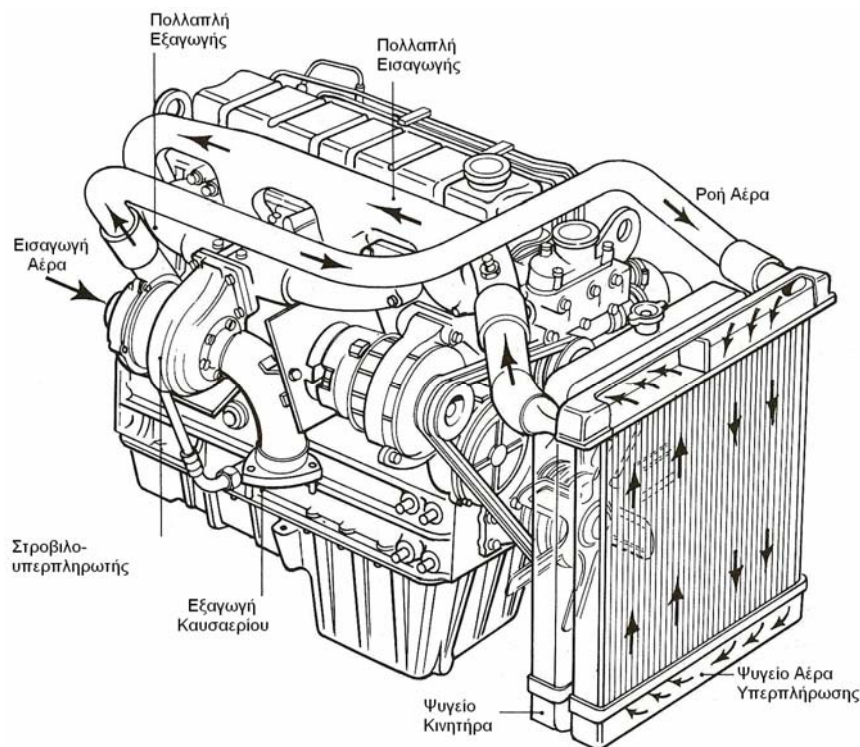


Σχήμα 3.4: Επίδραση του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή στη θερμοκρασία του αέρα υπερπλήρωσης.

Το Σχήμα 3.4 απεικονίζει τη θερμοκρασία του αέρα στην εξαγωγή του συμπιεστή συναρτήσει του λόγου πιέσεων p_2/p_1 για διάφορες τιμές του (ισεντροπικού) βαθμού απόδοσής του, για τυπικές συνθήκες εισαγωγής του συμπιεστή. Αναφορικά με τη θερμοκρασία εξαγωγής από το συμπιεστή, είναι φανερό το όφελος της σωστής

επιλογής του συμπιεστή έτσι ώστε η καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα να βρίσκεται στην περιοχή υψηλού βαθμού απόδοσης αυτού.

Χρησιμοποιώντας ψυγείο (εναλλάκτη θερμότητας, Σχήμα 3.5) του αέρα υπερπλήρωσης μετά την εξαγωγή του από το συμπιεστή και πριν την εισαγωγή στους κυλίνδρους του κινητήρα (aftercooling), αυξάνεται η πυκνότητα του αέρα που εισέρχεται στους κυλίνδρους επιτρέποντας έτσι περισσότερο καύσιμο να καεί.



Σχήμα 3.5: Ψυγείο αέρα-αέρα υπερπληρωτή κινητήρα οχήματος.

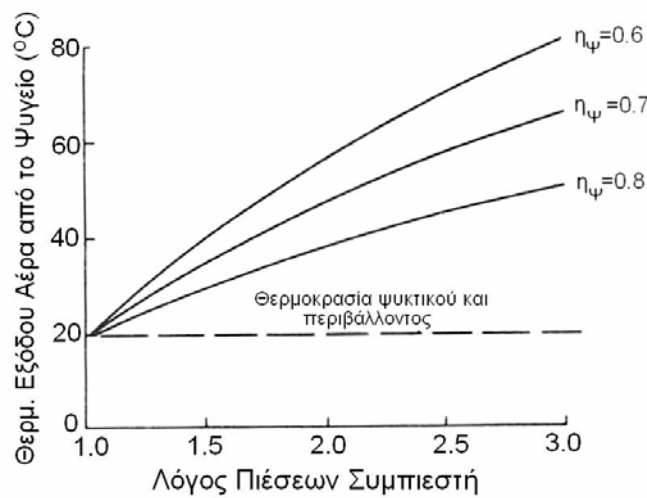
Η ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα στο ψυγείο είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου και του βαθμού εκμετάλλευσης του ψυγείου. Ως φυσικό μέγεθος, ο βαθμός εκμετάλλευσης είναι ο λόγος της πραγματικά μεταδιδόμενης θερμότητας στο ψυγείο προς τη μέγιστη δυνατή θερμότητα που μπορεί να μεταδοθεί στο ψυγείο. Συμβολίζοντας με δείκτη 'w' την εισαγωγή του ψυκτικού μέσου στο ψυγείο (η εξαγωγή του αέρα από το ψυγείο ταυτίζεται με την εισαγωγή στον κινητήρα), ο βαθμός εκμετάλλευσης ή αποδοτικότητα, η_{ψ} , του ψυγείου ορίζεται, ως:

$$\eta_{\psi} = \frac{T_2 - T_{IN}}{T_2 - T_w} \quad (3.1)$$

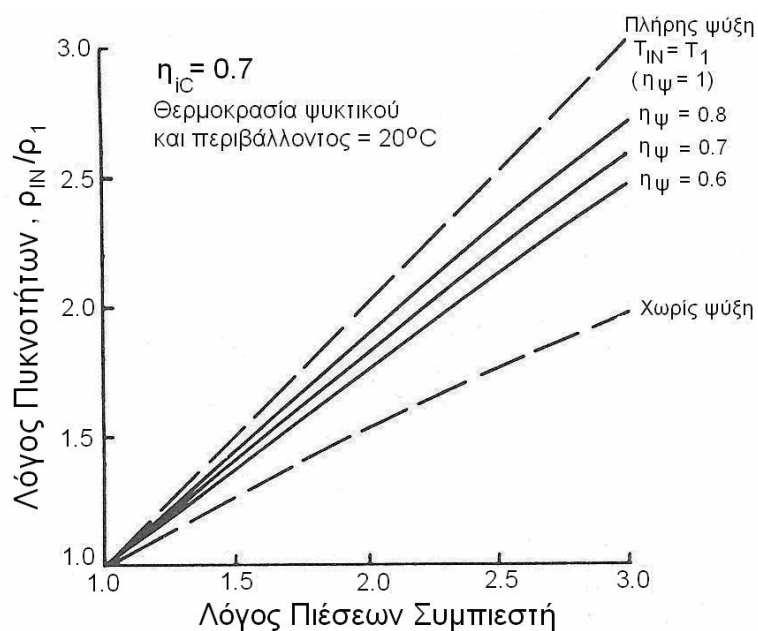
Από την προηγούμενη σχέση είναι φανερό ότι ο βαθμός εκμετάλλευσης του ψυγείου και η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του «θερμού» αέρα και του «ψυχρού»

ψυκτικού μέσου καθορίζουν το μέγεθος της ψύξης. Προφανώς, το ψυκτικό μέσο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ψυχρότερο. Γι' αυτό, νερό ψύξης στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ως ψυκτικό μέσο, είναι προτιμότερο από το νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα.

Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζεται η θερμοκρασία εξαγωγής του αέρα από το ψυγείο, T_{IN} , συναρτήσει του λόγου πιέσεων του συμπιεστή p_2/p_1 για διάφορες τιμές του βαθμού εκμετάλλευσης του ψυγείου η_ψ , για σταθερές τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή και της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου στην είσοδό του στο ψυγείο.



Σχήμα 3.6: Επίδραση του βαθμού εκμετάλλευσης του ψυγείου στη θερμοκρασία του αέρα υπερπλήρωσης.



Σχήμα 3.7: Επίδραση της ψύξης στην πυκνότητα του αέρα στην εισαγωγή.

Η σύγκριση του Σχήματος 3.6 με την καμπύλη του Σχήματος 3.4 που αντιστοιχεί σε $\eta_{iC} = 0,7$, φανερώνει τη σημασία της τιμής του η_{ψ} και το γενικότερο όφελος της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης μετά το συμπιεστή και πριν την πολλαπλή εισαγωγή. Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται η επίδραση του η_{ψ} στο λόγο πυκνοτήτων ρ_{iN}/ρ_1 .

Μικρός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή αυξάνει τη θερμοκρασία εισαγωγής στο ψυγείο, οπότε αυξάνει και η θερμοκρασιακή διαφορά ($T_2 - T_w$). Το ψυγείο μετά το συμπιεστή αντισταθμίζει, εν μέρει, τη χαμηλή τιμή του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή, μόνον όσον αφορά τη θερμοκρασία (όχι την πίεση) για συγκεκριμένη ισχύ του συμπιεστή.

Τα πλεονεκτήματα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι ξεκάθαρα και, παρόλο που η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συχνά, δεν είναι καθολική σε χρήση.

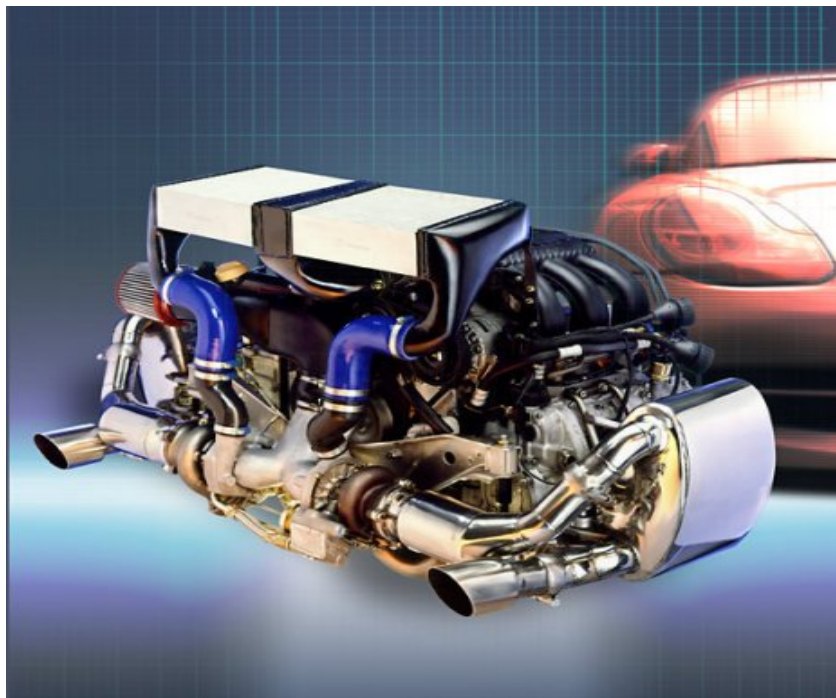
Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος είναι τα εξής:

- Από την πλευρά του ψυχόμενου αέρα, η ροή αυτού διαμέσου του ψυγείου εμπεριέχει κάποιες απώλειες πίεσης, αφού γίνεται διαμέσου στενών σωληνώσεων που απαιτούνται για αποδοτική ψύξη. Αυτές οι απώλειες οδηγούν σε μικρότερη αύξηση της πυκνότητας του αέρα. Η πτώση της πίεσης στο ψυγείο είναι συνάρτηση του μεγέθους του και του σχεδιασμού του. Για παράδειγμα, ένα πολύ μεγάλο ψυγείο είναι δυσχερές να τοποθετηθεί σε έναν κινητήρα, κοστίζει περισσότερο από ένα συμπαγές, αλλά όμως έχει καλύτερη απόδοση και η πτώση πίεσης είναι μικρότερη.
- Το δεύτερο μειονέκτημα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης αφορά σε ένα πιο πρακτικό πρόβλημα, την παροχή ψυχρού αέρα ή νερού (που είναι προτιμότερο λόγω του μεγαλύτερου συντελεστή μεταφοράς της θερμότητας). Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα (π.χ. σε ναυτικούς κινητήρες). Εάν η πίεση υπερπλήρωσης είναι χαμηλή, όπως ισχύει γενικά στους βενζινοκινητήρες, και το διαθέσιμο ψυκτικό μέσο είναι σχετικά θερμό (π.χ. το νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα), τότε η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης παρουσιάζει σχεδόν ασήμαντο όφελος και μάλιστα μόνον στην πλήρη ισχύ, απαιτώντας μάλιστα πολύ μεγάλων διαστάσεων εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος επιπροσθέτως θα οδηγήσει και σε σημαντική πτώση πίεσης του αέρα υπερπλήρωσης.

- Τρίτο μειονέκτημα είναι το κόστος, που όμως το όφελος από την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης συνήθως το αντισταθμίζει. Τέλος, υπερβολική ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μπορεί να προκαλέσει συμπύκνωση στην πολλαπλή εισαγωγής.

Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του ψυκτικού μέσου υπάρχουν οι αντίστοιχοι τύποι ψυγείων. Ψυγείο αέρα-αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό ως ψυκτικό μέσο και όπου υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι οποίες δυσχεραίνουν τη λειτουργία ενός κλειστού κυκλώματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ψύξη, κυρίως με ακτινοβολία, του ελαίου λίπανσης και του νερού του συστήματος ψύξης του κινητήρα λαμβάνουν χώρα ακριβώς μετά το ψυγείο αέρα-αέρα, το οποίο εγκαθίσταται σε ξεχωριστό μέρος από τον κινητήρα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι και πολύ μεγάλα ψυγεία, διότι δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση κατά την οποία το ψυγείο τοποθετείται επάνω στον κινητήρα (Σχήμα 3.8).

Γι' αυτόν το λόγο (δυνατότητα χρήσης μεγάλων ψυγείων), μπορούν να επιτευχθούν βαθμοί εκμετάλλευσης έως και 95%, με αντίστοιχα ευνοϊκές συνέπειες στη λειτουργία του κινητήρα.

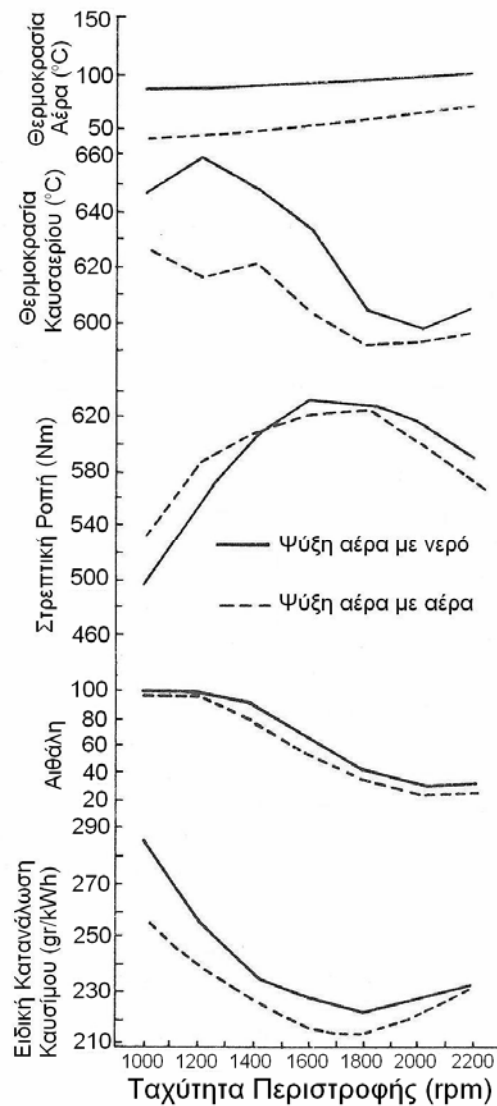


Σχήμα 3.8:Κινητήρας boxer με ψυγεία αέρα υπερπλήρωσης τοποθετημένα επάνω στον κινητήρα για εξοικονόμηση χώρου.

Παραλλαγή του προηγούμενου τύπου ψυγείου αποτελεί το ψυγείο αέρα-αέρα, που χρησιμοποιεί αέρα από το συμπιεστή του συστήματος υπερπλήρωσης του κινητήρα για την κίνηση του ανεμιστήρα παροχής του αέρα ψύξης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε κινητήρες οχημάτων. Περίπου 5% έως 10% της παροχής του συμπιεστή χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός στροβίλου ώθησης, από τον οποίο κινείται ο ανεμιστήρας παροχής του αέρα ψύξης. Ο αέρας που παρέχεται για την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης είναι ατμοσφαιρικός αέρας. Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος είναι η ρύθμιση της παροχής του αέρα ψύξης ανάλογα με τις απαιτήσεις του κινητήρα. Όμως, το ταίριασμα των συνιστωσών του συστήματος είναι περίπλοκο.

Συστήματα αέρα-νερού μπορούν να χρησιμοποιούν είτε το νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα, είτε ένα ξεχωριστό κλειστό σύστημα ψύξης με ιδιαίτερο ψυγείο νερού-αέρα. Το πλεονέκτημα της πρώτης παραλλαγής του συστήματος αέρα-νερού είναι η απλότητα της εγκατάστασης, όμως η ψύξη είναι περιορισμένη λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του νερού (περίπου 90 °C). Στην πραγματικότητα, υπάρχει περίπτωση σε χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και χαμηλό φορτίο να γίνεται θέρμανση του αέρα υπερπλήρωσης, αντί για ψύξη αυτού. Η δεύτερη παραλλαγή διαθέτει μεγαλύτερη ικανότητα ψύξης, καθώς η θερμοκρασία του ψυκτικού νερού μπορεί να τεθεί χαμηλότερα από τη θερμοκρασία του νερού του συστήματος ψύξης του κινητήρα, είναι πιο συμπαγές σαν σύστημα στην πλευρά του αέρα από το σύστημα αέρα-αέρα, αλλά όμως έχει υψηλότερο κόστος λόγω των δύο ψυγείων.

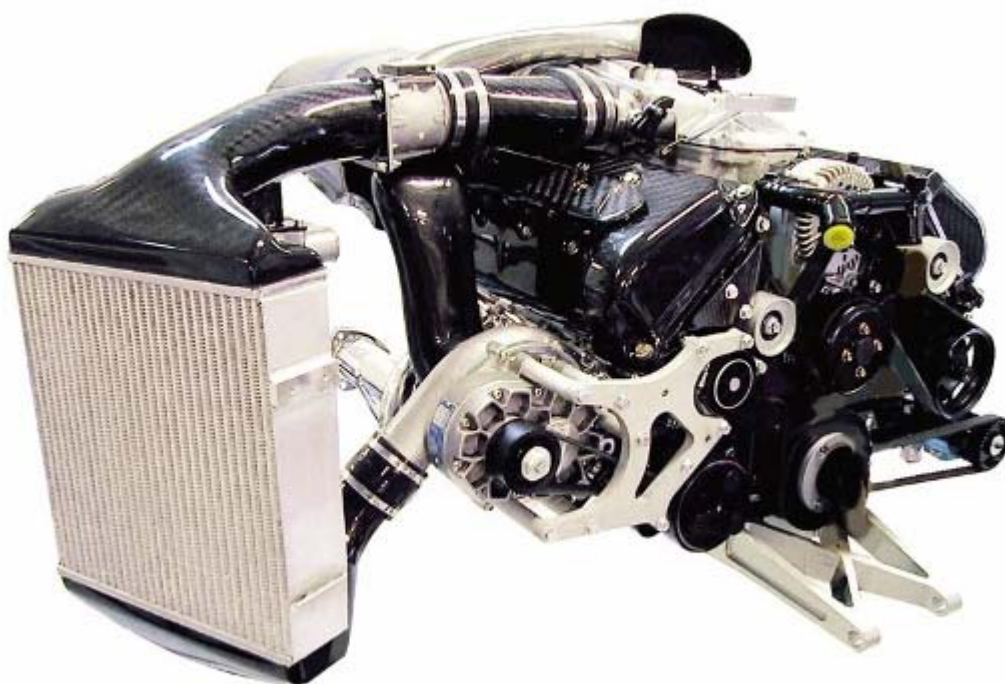
Στο Σχήμα 3.9 δίνεται η σύγκριση των δύο πιο συμπαγών συστημάτων από αυτά που περιγράφηκαν πιο επάνω (σύστημα αέρα-αέρα με χρήση αέρα από το συμπιεστή, σύστημα αέρα-νερού με χρήση του ψυκτικού νερού του κινητήρα), με κριτήριο την απόδοση του κινητήρα. Το σύστημα αέρα-αέρα παρουσιάζει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης θερμοκρασίας του αέρα υπερπλήρωσης στην εισαγωγή των κυλίνδρων, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας του ψυκτικού, με τις αντίστοιχες ευνοϊκές συνέπειες στην απόδοση του κινητήρα.



Σχήμα 3.9: Σύγκριση των επιδόσεων του κινητήρα με δύο διαφορετικά συστήματα ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης.

3.2 Σχεδιασμός των ψυγείων του αέρα υπερπλήρωσης

Εάν το ψυγείο τοποθετείται επάνω στον κινητήρα (Σχήμα 3.8), πρέπει να σχεδιαστεί ως μία συνιστώσα του κινητήρα, έτσι ώστε να υπάρχουν οι σωληνώσεις και να είναι μικρού μήκους. Επίσης, πρέπει να γίνει κάποιος συμβιβασμός μεταξύ του μεγέθους του ψυγείου (δηλαδή του κόστους) και της ικανότητας ψύξης αυτού. Συνεπώς, ψυγείο με τέτοιο σχεδιασμό προορίζεται για συγκεκριμένο κινητήρα.



Σχήμα 3.10: Ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης.

Από τη στιγμή που το ψυγείο εγκαθίσταται σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα και δεδομένου ότι πρέπει να αντέχει στην πίεση υπερπλήρωσης, επιβάλλεται να είναι στιβαρό. Οι περίοδοι συντήρησης και επισκευής του ψυγείου πρέπει να είναι ίδιες με αυτές του κινητήρα, ειδικά όσον αφορά στη χειροτέρευση της λειτουργίας λόγω ακαθαρσιών και επικαθήσεων στην πλευρά του ψυκτικού νερού ή αέρα. Το να είναι το ψυγείο συμπαγές (compact) είναι πολύ σημαντικό στις περισσότερες εγκαταστάσεις και ειδικά στις περιπτώσεις κινητήρων υψηλής ταχύτητας περιστροφής, όπου η παροχή μάζας του αέρα σχετίζεται με το μέγεθος του κινητήρα. Προφανώς, ο σχεδιασμός του ψυγείου είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της ικανότητας ψύξης και του οφέλους αυτής στην ισχύ και απόδοση του κινητήρα με τις απώλειες πίεσης, το μέγεθος και το κόστος.

Οι δύο βασικότερες παράμετροι του σχεδιασμού ενός ψυγείου είναι ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μεταξύ του αέρα και του ψυκτικού (νερό ή αέρας) και η πτώση πίεσης λόγω τριβής. Η πτώση πίεσης είναι πιο σημαντική στην πλευρά του αέρα υπερπλήρωσης, διότι επηρεάζει την πυκνότητά του, όμως δεν μπορεί να αμεληθεί και για την πλευρά του ψυκτικού, καθώς η ισχύς που απαιτείται για την ανακυκλοφορία του σχετίζεται άμεσα με αυτήν. Το ψυκτικό είναι νερό ή αέρας. Ο υψηλός συντελεστής

μετάδοσης θερμότητας του νερού σημαίνει ότι η πτώση πίεσης στην πλευρά του νερού αναμένεται να είναι μικρή σε μία καλώς σχεδιασμένη μονάδα. Εάν χρησιμοποιείται ως ψυκτικό ο ατμοσφαιρικός αέρας, αναμένεται να καταναλώνεται σημαντικό ποσό ενέργειας για την υπερνίκηση των τριβών στο εσωτερικό του ψυγείου.

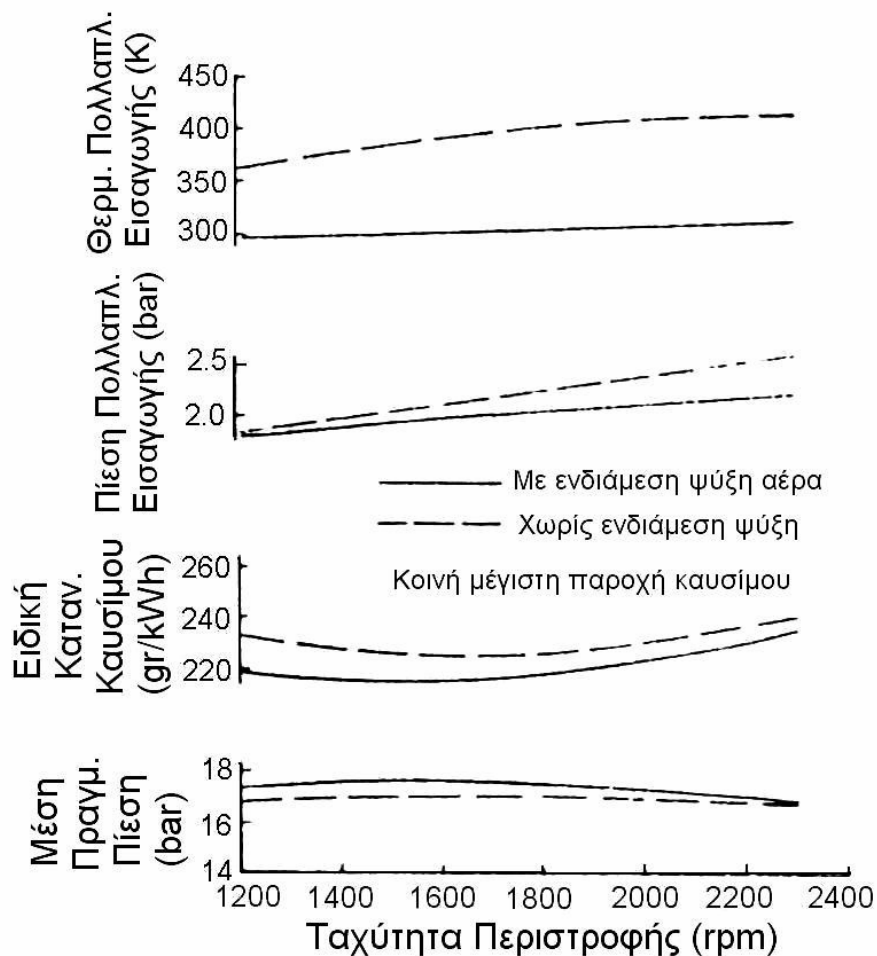


Σχήμα 3.11: Ψυγείο αέρα-αέρα κινητήρα υπερπλήρωσης

3.3 Ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης και επιδόσεις του κινητήρα

Η επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της πυκνότητας του αέρα που εισάγεται στους κυλίνδρους, για δεδομένη πίεση υπερπλήρωσης. Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης στις συνολικές επιδόσεις του κινητήρα, δηλαδή στην παραγόμενη ισχύ και στο βαθμό απόδοσης, με περιορισμούς στη μέγιστη πίεση, στη θερμική φόρτιση του κινητήρα και στη θερμοκρασία των καυσαερίων.

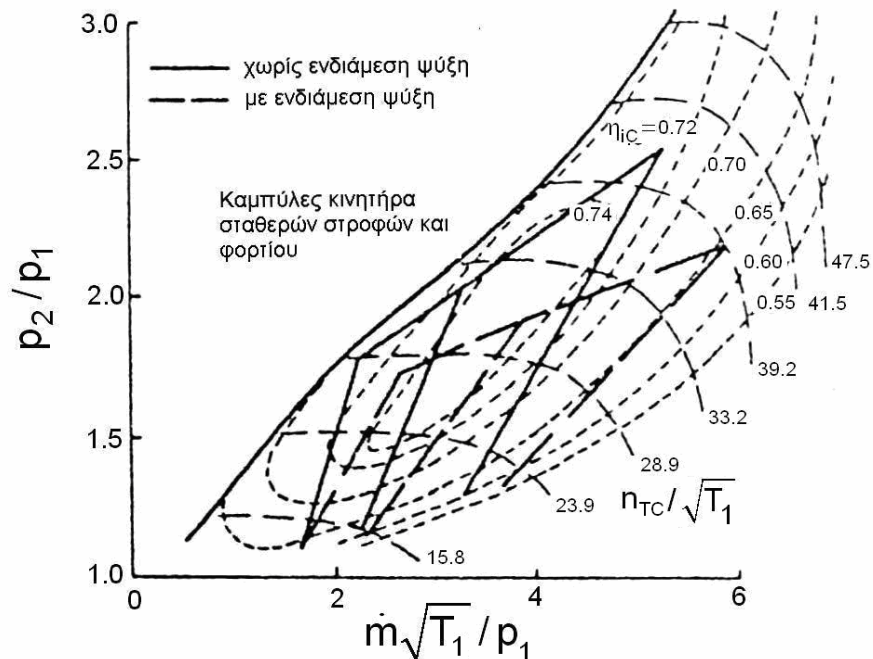
Για σταθερή παραγόμενη ισχύ, η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μειώνει τη θερμοκρασία εισαγωγής στον κύλινδρο, άρα και τη θερμική φόρτιση. Εναλλακτικά, εφόσον η πυκνότητα του αέρα υπερπλήρωσης αυξάνει, μπορεί να καεί περισσότερο καύσιμο αυξάνοντας έτσι την παραγόμενη ισχύ σε αναλογία με την πυκνότητα, θεωρώντας τους υπόλοιπους παράγοντες σταθερούς. Το επιπλέον κόστος του συστήματος ψύξης αντισταθμίζεται από την αύξηση της ισχύος. Έτσι, σύμφωνα με τη χρήση ενός ψυγείου αυξάνεται η ισχύς από 1,55 έως 1,82 φορές σε σχέση με τον κινητήρα φυσικής αναπνοής για λόγο πιέσεων 2:1. Για λόγο πιέσεων 2,5:1, η αύξηση είναι από 1,76 έως 2,20 φορές σε σχέση με τον κινητήρα φυσικής αναπνοής. Ωστόσο, στην πράξη, η θερμική φόρτιση του κινητήρα καθώς και άλλοι παράγοντες περιορίζουν αυτήν την αύξηση.



Σχήμα 3.12: Επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης στις επιδόσεις του κινητήρα (για σταθερή παροχή καυσίμου).

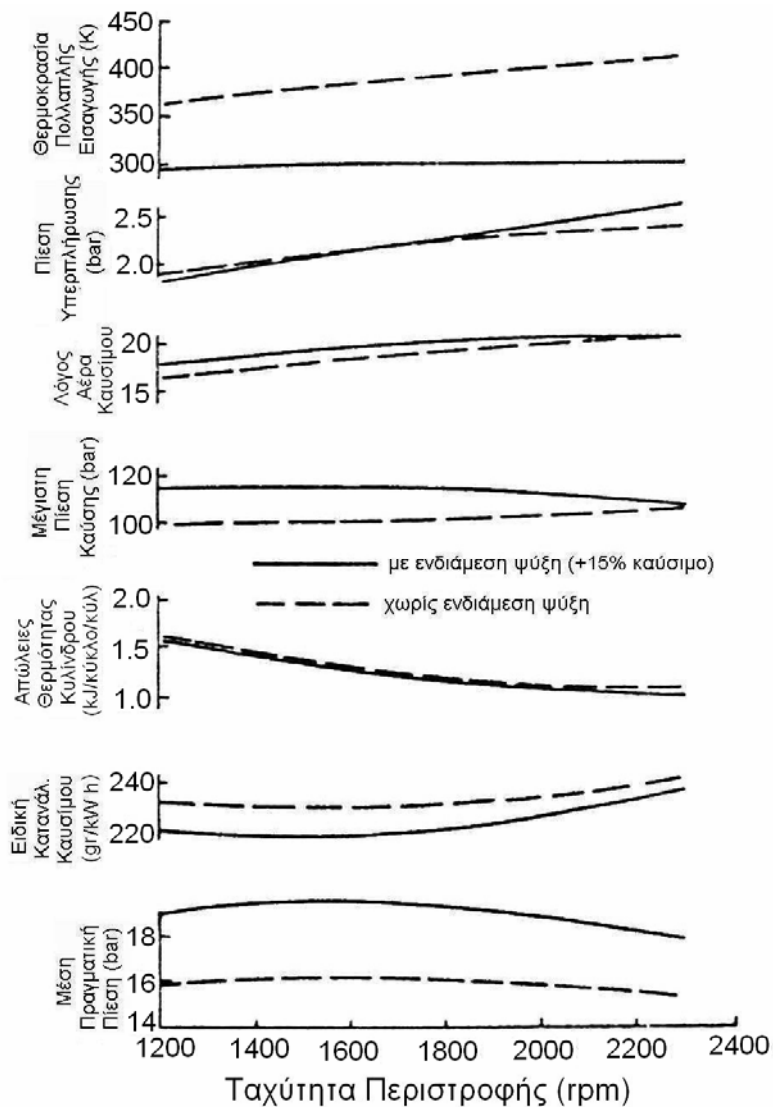
Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζονται οι επιδόσεις ενός κινητήρα για λειτουργία με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης, χωρίς διαφοροποίηση στη μέγιστη παροχή του καυσίμου. Είναι φανερό ότι με την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μειώνεται η θερμοκρασία εισαγωγής στους κυλίνδρους, με συνέπεια τη μείωση των θερμοκρασιών σε όλο τον κύκλο λειτουργίας του κινητήρα, γεγονός που οδηγεί και σε μείωση της μεταδιδόμενης θερμότητας στους κυλίνδρους. Η παροχή του αέρα αυξάνει, δηλαδή αυξάνεται ο λόγος αέρα-καυσίμου με συνέπεια τη μείωση της θερμοκρασίας εισαγωγής στο στρόβιλο. Το τελευταίο γεγονός έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής ενέργειας στο στρόβιλο, οπότε και η πίεση υπερπλήρωσης μειώνεται, όμως η μείωση αυτή δεν είναι τόσο έντονη ώστε να αντισταθμίσει την αύξηση της πυκνότητας λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας. Συνδυάζοντας την επίδραση του μικρότερου λόγου αέρα-καυσίμου, της μειωμένης μετάδοσης θερμότητας προς τους κυλίνδρους (λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών στον κύκλο λειτουργίας) και των αλλαγών στην

καθυστέρηση ανάφλεξης και στο ρυθμό καύσης, προκύπτει μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου περίπου 6%. Το όφελος στη μέση πραγματική πίεση είναι το ίδιο. Ωστόσο, οι δύο παραπάνω βελτιώσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα, καθώς το ψυγείο του αέρα υπερπλήρωσης λειτουργεί πιο αποδοτικά σε μικρές παροχές του αέρα.



Σχήμα 3.13: Χάρτες λειτουργίας για κινητήρα με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης.

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζονται, σε υπέρθεση, οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας επάνω στο χάρτη του συμπιεστή, για την περίπτωση κινητήρα με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης. Από αυτό το σχήμα φαίνεται ότι η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μεταφέρει την περιοχή λειτουργίας του κινητήρα πιο μακριά από τη γραμμή πάλμωσης. Οι καμπύλες σταθερής ταχύτητας περιστροφής τείνουν να γίνουν παράλληλες προς τη γραμμή πάλμωσης, γεγονός που κάνει ευκολότερο το ταίριασμα σε πολλές εφαρμογές. Ωστόσο, η συνολική περιοχή λειτουργίας για την παροχή μάζας διευρύνεται, γεγονός που μπορεί να κάνει δυσκολότερο το ταίριασμα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.



Σχήμα 3.14: Επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης στις επιδόσεις του κινητήρα (μεταβάλλοντας την παροχή καυσίμου).

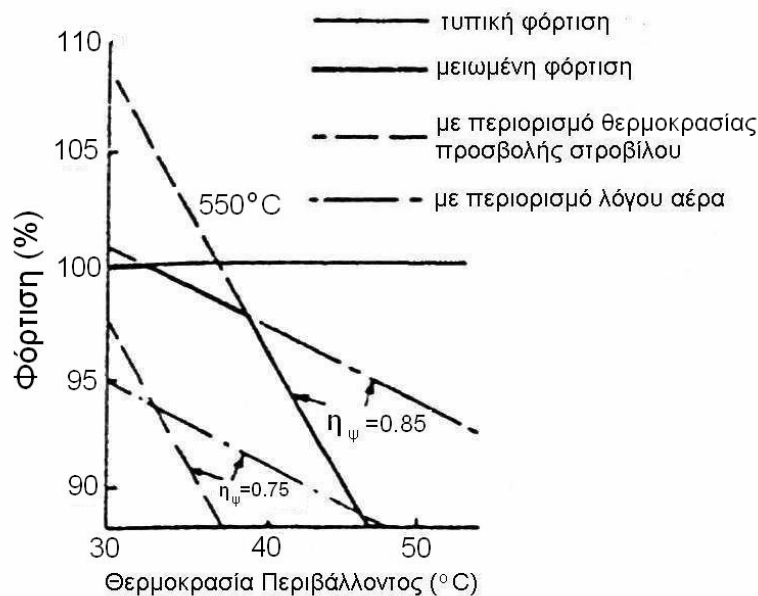
Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζονται οι επιδόσεις ενός κινητήρα για λειτουργία με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης, με διαφοροποίηση στη μέγιστη παροχή καυσίμου. Η περίπτωση αυτή αποτελεί πιο ρεαλιστικό σενάριο. Χωρίς καμιά αλλαγή στο στροβιλο-υπερπληρωτή, η μέση πραγματική πίεση αυξάνεται από 16 bar σε 19,5 bar (22%) και η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 6% (κυρίως λόγω αύξησης της ενδεικνύμενης ισχύος αλλά όχι και της ισχύος των τριβών).

Τα παραπάνω προκύπτουν μεταβάλλοντας την παροχή καυσίμου με τρόπο ώστε να παραμείνει αμετάβλητη η θερμική φόρτιση του θαλάμου καύσης. Ωστόσο, η μέγιστη πίεση εντός του κυλίνδρου αυξάνεται από 105 bar σε 118 bar (+12,5%). Στους συγκεκριμένους υπολογισμούς, η αυξημένη παροχή αέρα διαμέσου του συμπιεστή

μεταφέρει το σημείο λειτουργίας πλήρους ισχύος σε περιοχή χαμηλότερου βαθμού απόδοσης του συμπιεστή. Τελικά, ο λόγος αέρα-καυσίμου είναι περίπου ο ίδιος στις περιπτώσεις με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης.

Ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων δείχνει ότι η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης επιτρέπει σημαντική αύξηση της ισχύος χωρίς αύξηση του θερμικού φορτίου. Υπάρχει επίσης όφελος και στην ειδική κατανάλωση καυσίμου, λόγω της αύξησης της ισχύος χωρίς ταυτόχρονη αύξηση στις απώλειες τριβών του κινητήρα και λόγω του μεγαλύτερου λόγου αέρα-καυσίμου. Το προφανές πρόβλημα είναι ότι η μέγιστη πίεση εντός των κυλίνδρων αυξάνει με την ισχύ και μάλιστα όχι γραμμικά. Στην περίπτωση στροβιλο-υπερπλήρωσης με διβάθμια συμπίεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί διβάθμια ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης, δηλ. τόσο μεταξύ των δύο βαθμίδων συμπίεσης (interstage cooling) όσο και μετά από τη δεύτερη συμπίεση (aftercooling). Εφόσον η θερμοκρασιακή ανύψωση σε κάθε βαθμίδα συμπίεσης είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας εισαγωγής, η ενδιάμεση ψύξη μειώνει το έργο της βαθμίδας υψηλής πίεσης. Έτσι, η ενδιάμεση ψύξη έχει διπλό όφελος, μειώνοντας συγχρόνως τη θερμοκρασία εισαγωγής στους κυλίνδρους και το έργο του συμπιεστή. Το μειονέκτημα είναι το μεγάλο μέγεθος του ψυγείου που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί σημαντική ενδιάμεση ψύξη, καθώς η θερμοκρασία του αέρα μετά από την πρώτη βαθμίδα συμπίεσης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Η ανάγκη για υψηλό βαθμό εκμετάλλευσης του ψυγείου του αέρα υπερπλήρωσης, αναφορικά με την επίδρασή του στην πυκνότητα του αέρα στην εισαγωγή στους κυλίνδρους, έχει ήδη φανεί από το Σχήμα 3.7. Στο Σχήμα 3.15 παρουσιάζεται η επίδραση του βαθμού εκμετάλλευσης του ψυγείου στη λειτουργία ενός 4-χρονου κινητήρα μέσης ταχύτητας περιστροφής, με ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης. Εάν η ισχύς λειτουργίας περιορίζεται από τον ελάχιστο λόγο αέρα-καυσίμου, με μέγιστη θερμοκρασία εισαγωγής στο στρόβιλο 550 °C, τότε αύξηση του βαθμού εκμετάλλευσης από 0,75 σε 0,85 επιτρέπει αύξηση της ισχύος από 6% έως 10%, ανάλογα με τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 3.15: Επίδραση του βαθμού εκμετάλλευσης του ψυγείου αέρα υπερπλήρωσης στο επίπεδο λειτουργίας του κινητήρα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα πλεονεκτήματα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι ξεκάθαρα. Το κριτήριο εφαρμογής της στην πράξη είναι η διαθεσιμότητα ενός ψυκτικού μέσου σε χαμηλή θερμοκρασία καθώς και το κόστος. Αναφορικά με το τελευταίο, συνήθως προκύπτει ότι η εφαρμογή ενός συστήματος ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι παραδεκτή για όλους του κινητήρες μεγάλου μεγέθους. Συχνά, για οικονομικούς λόγους, οι κατασκευαστές επιθυμούν να παρέχουν ένα εύρος ισχύων που βασίζονται στον ίδιο σχεδιασμό κινητήρα. Θα ήταν βολικό να υπήρχαν τρία τέτοια παρόμοια εύρη για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (κινητήρας φυσικής αναπνοής, κινητήρας με στροβιλο-υπερπλήρωση, και κινητήρας με στροβιλο-υπερπλήρωση και ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης). Εφόσον η μηχανική και η θερμική φόρτιση του κινητήρα είναι μεγαλύτερες στις περιπτώσεις κινητήρων υψηλής ισχύος, ο κινητήρας φυσικής αναπνοής προκύπτει μάλλον υπερδιαστασιοποιημένος, όμως το επιπλέον κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί από την οικονομία παραγωγής πολλών κινητήρων βασισμένων στον ίδιο σχεδιασμό.

Στον Πίνακα που ακολουθεί, δίνονται ορισμένα παραδείγματα της επίδρασης της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης σε κινητήρες Diesel.

Επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης σε υπερπληρωμένους κινητήρες Diesel

	Κινητήρες κίνησης σιδηροδρόμων	Ναυτικοί κινητήρες μέσης ταχύτητας περιστροφής		Ναυτικοί κινητήρες χαμηλής ταχύτητας περιστροφής
		Τυπικές συνθήκες	Τροπικές συνθήκες	
	4-χρονοι κινητήρες			2-χρονοι κινητήρες
1. Ψυκτικό για τον αέρα υπερπλήρωσης	Νερό	Θαλασσινό νερό		
2. Ψυκτικό για το ψυγείο	Αέρας	---	---	---
3. Ισχύς ανά κύλινδρο (kW)	153	736	736	2670
4. Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	1500	430	430	106
5. Μέση πραγματική πίεση (bar)	12,9	17,6	17,6	10,2
6. Θερμοκρασία ψυκτικού πριν το ψυγείο (°C)	55	18,5	32,5	31
8. Θερμοκρασία ψυκτικού μετά το ψυγείο (°C)	60	26,5	40,5	38,5
9. Λόγος πιέσεων συμπίεστη	2,2	2,84	2,79	2,08
9. Θερμοκρασία αέρα υπερπλήρωσης πριν το συμπίεστη (°C)	24	27	44,5	29
10. Θερμοκρασία αέρα υπερπλήρωσης μετά το συμπίεστη (°C)	127	172	190	117
11. Θερμοκρασία αέρα υπερπλήρωσης μετά το ψυγείο (°C)	65	48	57	39
12. Ειδική κατανάλωση αέρα (kg/kWh)	6,46	8,45	7,78	9,85
13. Απώλειες θερμότητας στο ψυγείο (°)	5,2	12,2	11,55	8,06
14. Απώλειες θερμότητας στα τοιχώματα και την κεφαλή του κυλίνδρου, και το έμβολο (°)	15,5	10,6	11,0	13,6
15. Σύνολο απωλειών θερμότητας (°)	20,7	22,8	22,55	21,66

(*) Ποσοστό της ενέργειας του καυσίμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL

Λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος για τους μονωμένους κινητήρες, τους αποκαλούμενους «αδιαβατικούς», σε αυτό το Κεφάλαιο θα συζητήσουμε τα προβλήματα μεταφοράς θερμότητας που σχετίζονται με το σχεδιασμό αυτών των κινητήρων. Σε έναν πραγματικό αδιαβατικό κινητήρα το εργαζόμενο ρευστό θα υφίστατο αδιαβατικές μεταβολές. Φυσικά αυτό δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί στην πράξη. Για έναν κινητήρα Diesel η επιφάνεια των τμημάτων που είναι εκτεθειμένη στο εργαζόμενο μέσο θα πρέπει να έχει τη θερμοκρασία αερίου κάθε στιγμή. Ένα στερεό υλικό με μηδενική θερμική αγωγιμότητα και απορροφητικότητα (gray absorptivity) μηδέν θα ικανοποιούσε αυτή την απαίτηση, αλλά επίσης θα πρέπει να "αντιστέκεται" στις υψηλές πιέσεις του κινητήρα. Κανένα υλικό μέχρι σήμερα δεν πλησιάζει έστω αυτές τις απαιτήσεις.

Η επικάλυψη με ψεκασμό PSZ (partially stabilized zirconia) μέχρι βάθος μερικών χιλιοστών μπορεί να δώσει στην επιφάνεια ταλαντώσεις θερμοκρασιών μερικών εκατοτάδων βαθμών °C, μια τάξη μεγέθους χαμηλότερη από τις θερμοκρασιακές ταλαντώσεις του αερίου. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να επιτευχθεί επαρκής μείωση της μεταφοράς θερμότητας ώστε να καταργηθεί το σύστημα ψύξης. Αυτό είναι πιθανό επειδή η μεταφορά θερμότητας από την πλευρά του ψυκτικού μέσου έχει σταθερή τιμή κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου και μπορεί να είναι περίπου μηδέν παρόλο που η θερμότητα συναλλάσσεται μεταξύ του εργαζόμενου αερίου και των συμμετεχόντων

επιφανειών με ασταθή ρυθμό. Επιπλέον με την εξάλειψη του συστήματος ψύξης, ο μονωμένος κινητήρας Diesel μπορεί να έχει μειωμένες εκπομπές υδρογονανθράκων. Συνολικά ένας μονωμένος κινητήρας Diesel:

- Παρέχει ελαφρώς καλύτερη απόδοση κινητήρα.
- Παρέχει σημαντική πρόσθετη ενέργεια εξαγωγής καυσαερίων.
- Έχει μικρότερες εκπομπές HC και αιθάλης.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Μειωμένος ογκομετρικός βαθμός απόδοσης.
- Δυσκολία στην παροχή ελαίου λίπανσης.
- Ενδεχομένως προβλήματα θερμικών καταπονήσεων λόγω της χρήσης κεραμικών υλικών.
- Αυξημένες εκπομπές οξειδίων αζώτου, NOx λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών κύκλου.

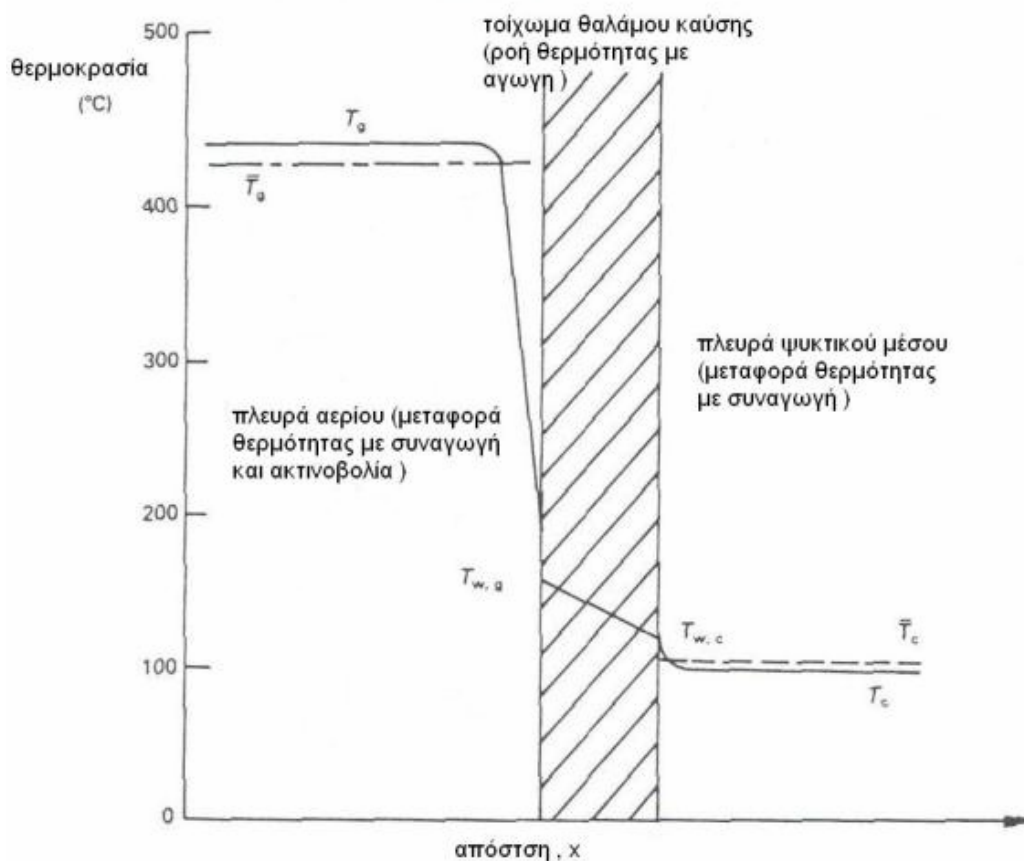


Σχήμα 4.1: Θάλαμος καύσης κατασκευασμένος από κεραμικό υλικό.

Τα κεραμικά υλικά έχουν πολύ χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τα μέταλλα γεγονός που υποδεικνύει ότι η ενεργειακή ροή στο ψυκτικό μέσο θα μειωθεί, και οι υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης θα οδηγήσουν σε αυξημένο ενδεικνύμενο έργο. Το Σχήμα 4.2 είναι αντιπροσωπευτικό της κατανομής θερμοκρασίας

- η θερμοκρασία αερίου (T_g) μπορεί να φθάσει τους 2500 K.
- η θερμοκρασία επιφανείας από την πλευρά του αερίου ($T_{w,g}$) είναι γύρω στου 600 K.

- η θερμοκρασία επιφάνειας προς την πλευρά του ψυκτικού μέσου ($T_{w,c}$) είναι γύρω στους 400 K.
- η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου (T_c) είναι περίπου 360 K.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα της κατανομής θερμοκρασίας που παρουσιάζει τη μεγάλη θερμοκρασιακή πτώση στο θερμικό οριακό στρώμα στην πλευρά του αερίου.

Αυτό το σύστημα είναι ισοδύναμο με σειρά θερμικών αντιστάσεων που αντιπροσωπεύουν θερμικά οριακά στρώματα από την πλευρά του αερίου και την πλευρά του ψυκτικού μέσου, και μια θερμική αντίσταση που ελέγχει τη ροή θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης.

Εάν η ροή θερμότητας θεωρηθεί σταθερή, τότε οι διάφορες θερμικές αντιστάσεις είναι ανάλογες της διαφοράς θερμοκρασίας (όπως για τις διαφορές τάσης). Εάν η ροή θερμότητας (όπως το ρεύμα) μεταβάλλεται, τότε η μεγαλύτερη επίδραση θα ληφθεί με την αλλαγή της μεγαλύτερης θερμικής αντίστασης, η οποία είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του αερίου. Κατά συνέπεια μια αλλαγή μεγέθους στη θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος του θαλάμου καύσης δεν οδηγεί σε μια αλλαγή μεγέθους στη ροή θερμότητας. Οι θερμικές αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν από τους Moore και Hoehne για να αναπαραστήσουν το

φαινόμενο επιστρώματος PSZ 1,25 mm στην κυλινδροκεφαλή συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα.

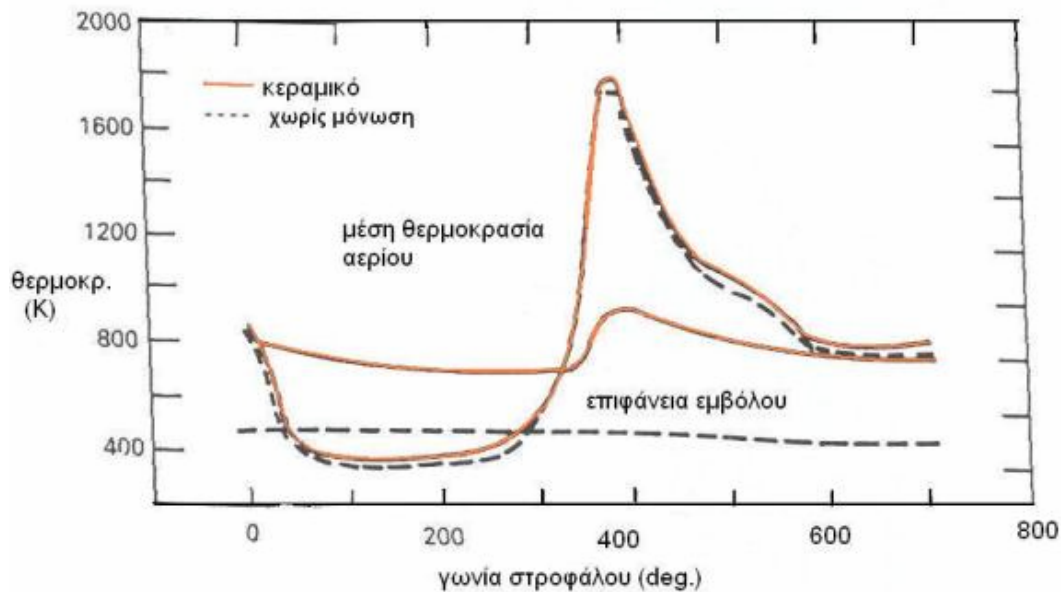
θερμικές αντιστάσεις (K/kW)

Περιοχή	Μη μονωμένη κυλινδροκεφαλή	Μονωμένη κυλινδροκεφαλή
Πλευρά ψυκτικού	7,9	7,9
Κυλινδροκεφαλή	13,6	12,1
Μόνωση		80,3
Πλευρά αερίου	67,3	54,4
<u>ΣΥΝΟΛΟ</u>	88,5	155

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την πλευρά του αερίου αυξάνεται, έτσι ώστε να αντισταθμιστούν μερικά οφέλη από τη μόνωση της κυλινδροκεφαλής. Παρ' όλα αυτά, λόγω της χρονικά εξαρτημένης μεταβολής της θερμοκρασίας αερίου μέσα στο θάλαμο καύσης, υπάρχουν άλλοι παράγοντες που ελέγχου τη ροή θερμότητας.

Μερικές προβλέψεις των θερμοκρασιών επιφάνειας και αερίου για μερικώς μονωμένο εξακύλινδρο κινητήρα άμεσης εγχύσεως με σύνθετη στρόβιλο-υπερπλήρωση (turbo-compound) δίνονται στο Σχήμα 4.3, το οποίο δείχνει ότι η μόνωση προκαλεί μια σημαντική αύξηση στη θερμοκρασία επιφάνειας του εμβόλου. Αυτό οδηγεί στη μεταφορά θερμότητας στο αέριο (μειώνοντας την ογκομετρική απόδοση) και τη μεταφορά θερμότητας στο αέριο πολύ αργότερα κατά τη διάρκεια της συμπίεσης. Έτσι αυξάνονται οι θερμοκρασίες συμπίεσης και καύσης, και απαιτείται μεγαλύτερο έργο συμπίεσης. Επίσης οι αυξανόμενες εντός του κυλίνδρου θερμοκρασίες "συγκρατούν" την επίδραση της θερμικής αντίστασης που μειώνει τη ροή θερμότητας.

Εντούτοις, αυτό που είναι πολύ ενδιαφέρον εδώ, είναι η επίδραση της μόνωσης του θαλάμου καύσης στη ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο. Αρχικά, η πρόσοψη της κυλινδροκεφαλής αντιπροσωπεύει ένα μικρό μέρος της περιοχής των οπών (ειδικά με τέσσερις βαλβίδες ανά κύλινδρο). Δεύτερον, η μεταφορά θερμότητας από την βαλβίδα εξαγωγής και τον αυλό εξαγωγής δεν επηρεάζονται.



Σχήμα 4.3: Επίδραση της μόνωσης του θαλάμου καύσης στην θερμοκρασία επιφάνειας του εμβόλου και τη μέση θερμοκρασία αερίου.

Όταν εφάρμοσθη ένα επίστρωμα PSZ 1,25mm στην κυλινδροκεφαλή δεν υπήρξε καμιά αλλαγή στην ενέργεια καυσίμου που απορρίφθηκε στο ψυκτικό μέσο. Η μείωση 0,2 ποσοστιαίων μονάδων στη θερμότητα που απορρίφθηκε στο ψυκτικό μέσο της κυλινδροκεφαλής (σε 7,4% της ενέργειας καυσίμου) ισορροπήθηκε ακριβώς με την αύξηση της θερμότητας που απορρίφθηκε στο λιπαντικό (σε 6,9% της ενέργειας καυσίμου). Όταν ένα παρόμοιο επίστρωμα εφαρμόστηκε στην κεφαλή του εμβόλου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

ποσοστό της ενέργειας καυσίμου

	Μη μονωμένο έμβολο	Μονωμένο έμβολο
κυλινδροκεφαλή	8,4	8,2
λιπαντικό έλαιο	6,3	5,4

Σε απόλυτους όρους δεν υπήρξε καμιά σημαντική αλλαγή στη ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο καθώς η πραγματική μηχανική απόδοση έπεσε. Η μόνωση εμβόλων έχει μια άμεση επίδραση στη ροή θερμότητας στο λιπαντικό καθώς το κάτω μέρος των εμβόλων ψύχεται με έγχυση ελαίου. Αυτά τα αποτελέσματα είναι επαρκή για να καταδείξουν ότι η χρήση κεραμικών υλικών δεν οδηγεί σε σημαντική αλλαγή στη ροή θερμότητας στο ψυκτικό μέσο.

Όμως πρέπει να σημειωθεί ότι ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης δεν λείπει όλη την αλήθεια, διότι η ποσότητα του παγιδευμένου αέρα διαθέσιμη για καύση αυξάνεται λόγω του θερμικού οριακού στρώματος το οποίο θα περιέχει μικρότερη μάζα από αυτή σε ένα ψυχρό χιτώνιο κινητήρα. Είναι επίσης πιθανή η χρήση στρόβιλο-υπερπλήρωσης με κόστος την αυξημένη μέγιστη πίεση καύσης, ώστε να αυξηθεί η παγιδευμένη μάζα αέρα. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η επιρροή της μόνωσης ενός κινητήρα στη θερμοκρασία του κύριου όγκου του αερίου κατά τη διάρκεια του σχηματισμού εκπομπών NO δεν είναι γνωστή. Κάποια στοιχεία που έχουν μελετηθεί δεν έχουν δείξει αύξηση των εκπομπών NO λόγω μόνωσης.

Φυσικά οι μεταφορικοί κινητήρες δεν λειτουργούν υπό σταθερό φορτίο και ταχύτητα περιστροφής. Κατά συνέπεια καθώς το φορτίο μεταβάλλεται, έστω από μηδενικό σε πλήρες, η μεταφορά θερμότητας αυξάνεται ταχύτατα και στη συνέχεια αυξάνεται πιο αργά καθώς το σύστημα μετάλλων θερμαίνεται έως τη νέα σταθερή κατάσταση. Ο χρόνος αντίδρασης του κινητήρα με μόνωση από την πλευρά του αερίου θα πρέπει να είναι διαφορετικός σε σχέση με ένα μη μονωμένο κινητήρα ή με κινητήρα με μόνωση από την ψυχρή επιφάνεια. Παρατηρούμε ότι η αντίδραση εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες της επιφάνειας από το τοίχωμα των αερίων καύσης. Ομοίως, καθώς το φορτίο μειώνεται η επιφάνεια επιστρέφει ενέργεια στο αέριο. Τέτοια αποθήκευση και απελευθέρωση αποθηκευμένης ενέργειας επίσης λαμβάνει χώρα σε πολύ μικρότερο βαθμό κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου.

4.1 Silicon Nitride, Si_3N_4

Το υλικό Silicon Nitride είναι ένα συνθετικό υλικό το οποίο συντίθεται μέσω διαφόρων μεθόδων χημικών αντιδράσεων και αποτελεί εναλλακτική επιλογή μόνωσης κυλίνδρων MEK. Μέρη του υλικού είναι πεπλεγμένα και δημιουργούνται μετά από χύτευση με τέτοιες μεθόδους ώστε να δημιουργήσουν ένα κεραμικό υλικό με ιδιαίτερες ιδιότητες. Το υλικό είναι χρώματος σκούρου γκρι προς μαύρο και μπορεί να γυαλιστεί ώστε να αποκτήσει πολύ λεία επιφάνεια. Υλικά silicon nitride υψηλής απόδοσης αναπτύχθηκαν για την επικάλυψη μερών κινητήρων εσωτερικής καύσης, όπως οι βαλβίδες και τα εμβολοχιτώνια και έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά.



Σχήμα 4.4: Βαλβίδα επικαλυμμένη με silicon nitride.

Το κόστος των κεραμικών υλικών προς το παρόν δεν έχει μειωθεί σε τέτοιο επίπεδο ώστε να τύχει ευρείας παραγωγής σε κινητήρες και στροβιλοϋπερπληρωτές.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες

- ✓ Υψηλή αντοχή σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών
- ✓ Υψηλή αντοχή στη θραύση
- ✓ Υψηλή σκληρότητα
- ✓ Υψηλή αντοχή στη φθορά, είτε λόγω πρόσκρουσης είτε λόγω τριβών
- ✓ Καλή αντοχή σε θερμικά "σοκ"
- ✓ Καλή χημική αντοχή

4.1.1 Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες

Μηχανικές	SI/Metric	SI/Metric
πυκνότητα	gm/cm ³	3.29
πορώδες	%	0
χρώμα	—	black
αντοχή σε λυγισμό	MPa	830
όριο ελαστικότητας	GPa	310
συντελεστής διάτμησης	GPa	—
συντελεστής όγκου	GPa	—
λόγος Poisson	—	0.27
αντοχή σε θλίψη	MPa	—
σκληρότητα	Kg/mm ²	1580
αντοχή σε θραύση K _{IC}	MPa•m ^{1/2}	6.1
μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (χωρίς φορτίο)	°C	1000
Θερμικές		
θερμική αγωγιμότητα	W/m•K	30
συντελεστής θερμικής εκτόνωσης	10 ⁻⁶ /°C	3.3
ειδική θερμότητα	J/Kg•K	—

4.2 Partially Stabilized Zirconia (PSZ)

Το PSZ (partially stabilized zirconia) είναι το πιο γνωστό από τα κεραμικά υλικά καθώς είναι και σκληρό (ανθεκτικό σε θλίψη) και ανθεκτικό στη θραύση σε θερμοκρασία δωματίου. Επιπλέον το ιδανικό μέγεθος κόκκου του υλικού, του προσδίδει τέλεια επιφάνεια και την ικανότητα να διατηρεί αιχμηρές άκρες. Χρησιμοποιείται στη μόνωση διάφορων τμημάτων ενός αδιαβατικού κινητήρα Diesel, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Εγχυτήρες καυσίμου κατασκευασμένοι από PSZ.

Παρ' ότι το PSZ συγκρατεί πολλές ιδιότητες, όπως αντοχή στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες, παρουσιάζει δομικές αλλαγές οι οποίες μπορούν να μειώσουν τη θερμοκρασία χρήσης του σε μόλις 500 °C. Επίσης γίνεται καλός αγωγός του ηλεκτρισμού καθώς πλησιάζει σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Το PSZ έχει κρεμώδες χρώμα και η σύνθεσή του αποτελείται από Zirconia αναμεμιγμένο με περίπου 10% MgO και έχει υψηλή αντοχή, ιδιότητα που διατηρεί και σε ακραίες θερμοκρασίες. Είναι λίγο φθηνότερο από τα υπόλοιπα υλικά που χρησιμοποιούνται με ανάμιξη Zirconia (όπως TZP, κυβικό Zirconia), καθώς έχει μεγαλύτερο μέγεθος κόκκου από τα άλλα υλικά.

4.2.1 Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες

PROPERTY	UNITS	VALUE
Μηχανικές		
πυκνότητα	gm/cm ³	5.75
σκληρότητα	Knoop	1120-1300
αντοχή σε εφελκυσμό	kpsi	65
όριο ελαστικότητας	psi x 10 ⁶	29-30
αντοχή σε λυγισμό	kpsi	100
αντοχή σε θλίψη	kpsi	268
λόγος Poisson	-	0.23-0.31
αντοχή σε θραύση	MPa M ^{1/2}	12
Θερμικές		
συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	x10 ⁻⁶ /°C	10.1
θερμική αγωγιμότητα	W/mK	1.8-3.0
ειδική θερμότητα	cal/g°C	1
μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	°C	1100
αντοχή σε διαφορά θερμοκρασίας	°C diff.	400
Όλες οι ιδιότητες αναφέρονται σε θερμοκρασία δωματίου.		

Συγκριτικά ο χυτοσίδηρος έχει θερμική αγωγιμότητα 54 W/mK και το αλουμίνιο 180 W/mK. Συγκρίνοντας αυτές τις τιμές διαπιστώνεται η σημασία της χρήσης των κεραμικών υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

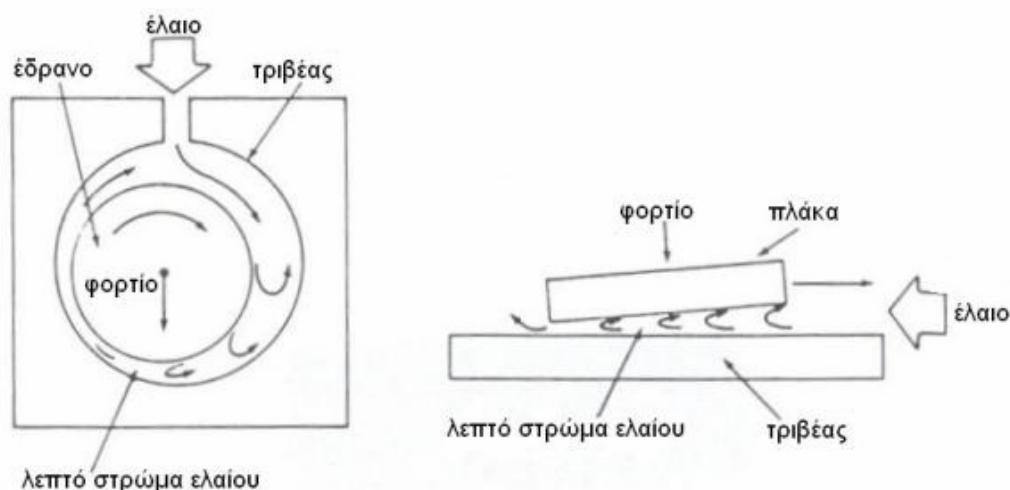
5.1 Εισαγωγή

Δεν είναι όλο το έργο που μεταφέρεται στο έμβολο από το αέριο που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο διαθέσιμο στην στροφαλοφόρο άτρακτο. Εκείνο το μέρος του έργου που δεν είναι διαθέσιμο καλείται συνήθως απώλειες τριβής. "Διασκορπίζεται" με ποικίλους τρόπους εντός του κινητήρα και των βοηθητικών εξαρτημάτων του κινητήρα. Το έργο των τριβών είναι ένα αρκετά μεγάλο μέρος του ενδεικνύμενου έργου, που 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.

5.2 Λιπαίνουσα τριβή

Ένα αρχικό ζήτημα για να κατανοήσουμε την τριβή μεταξύ δύο λιπαινόμενων επιφανειών είναι η ευρεία παραλλαγή στο μέγεθος των δυνάμεων που σχετίζονται. Κατά συνέπεια, μπορούν να εμφανιστούν διάφορες περιπτώσεις λίπανσης. Το Σχήμα 5.1 δείχνει τις συνθήκες λειτουργίας δυο κοινών γεωμετριών για τα μέρη που λιπαίνονται, ένα έδρανο και έναν τριβέα κύλισης (ρουλεμάν).



Σχήμα 5.1: Σχηματικό διάγραμμα εδράνου και τριβέα κύλισης

Οι διάφορες περιπτώσεις λιπαινόμενης τριβής μπορούν να διευκρινιστούν με τη βοήθεια του διαγράμματος Stribeck που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2, όπου ο συντελεστής τριβής f (πηλίκο εφαπτομένης δύναμης προς κανονική δύναμη) για ένα έδρανο βάσης ορίζεται συναρτήσει μιας αδιάστατης παραμέτρου $\mu N/\sigma$, όπου:

- μ είναι το δυναμικό ιξώδες του λιπαντικού
- N η ταχύτητα περιστροφής του άξονα
- σ η δύναμη φόρτισης ανά μονάδα επιφάνειας

Για κυλιόμενες επιφάνειες η αδιάστατη παράμετρος γίνεται $\mu U/(sb)$, όπου:

- U είναι η σχετική ταχύτητα των δύο επιφανειών και
- b το πλάτος της κυλιόμενης πλάκας στην κατεύθυνση της κίνησης

Ο συντελεστής τριβής μπορεί να εκφραστεί ως:

$$f = \alpha f_s + (1-\alpha) f_L, \text{ όπου} \quad (5.1)$$

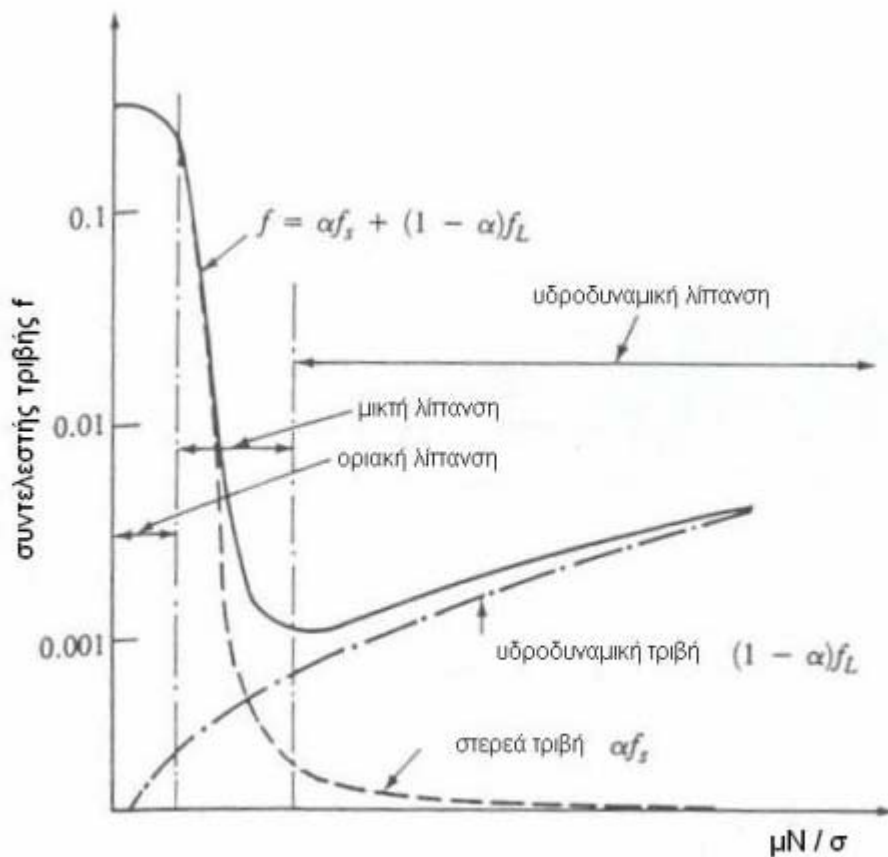
- f_s είναι ο συντελεστής ξηράς τριβής μετάλλου προς μέταλλο
- f_L είναι ο υδροδυναμικός συντελεστής τριβής
- α είναι η σταθερά επαφής μετάλλου προς μέταλλο που ποικίλλει μεταξύ 0 και

1.

- Όταν $\alpha > 1$ τότε $f > f_s$ και η τριβή καλείται οριακή (boundary), δηλαδή κοντά στη στερεά τριβή. Το λεπτό στρώμα λιπαντικού μειώνεται σε ένα ή μερικά μοριακά στρώματα και δεν μπορεί να αποτρέψει την μέταλλο προς μέταλλο επαφή μεταξύ των επιφανειών.

- Όταν $\alpha > 0$, τότε $f > f_L$ και η τριβή καλείται υδροδυναμική ή ιξώδης. Το στρώμα λιπαντικού είναι αρκετά παχύ για να χωρίσει εντελώς τις επιφάνειες στη σχετική κίνηση.

- Μεταξύ αυτών των περιπτώσεων υπάρχει ένα μικτό ή μερικό καθεστώς λίπανσης όπου εμφανίζεται η μετάβαση από την οριακή στην υδροδυναμική λίπανση. Ενώ η γραφική παράσταση 5.2 ισχύει, γενικά, για τα έδρανα βάσης, αυτή η περίπτωση ισχύει για οποιοδήποτε ζευγάρι μηχανικών μερών σχετικής κίνησης με το λιπαντικό ενδιάμεσά τους.

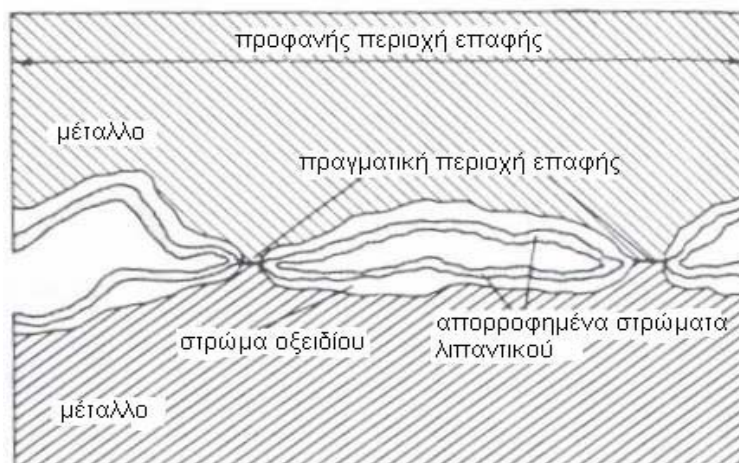


Σχήμα 5.2: Διάγραμμα Stribeck για έδρανο βάσης: συντελεστής τριβής συναρτήσει αδιαστατοποιημένης παραμέτρου $\mu N / \sigma$.

Υπό τους όρους της οριακής λίπανσης, η τριβή μεταξύ δύο επιφανειών στη σχετική κίνηση καθορίζεται από τις ιδιότητες της επιφάνειας καθώς επίσης και από τις ιδιότητες του λιπαντικού. Οι σημαντικές ιδιότητες επιφάνειας είναι η τραχύτητα, η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η πλαστικότητα, η δύναμη τριβής, η θερμική αγωγιμότητα, και η υγροποίηση όσον αφορά το λιπαντικό. Οι σημαντικές ιδιότητες του λιπαντικού είναι κυρίως οι επιφανειακές ή οι χημικές, οι οποίες υπερισχύουν της δυνατότητας των μορίων του λιπαντικού (ή των πρόσθετων ουσιών) να συνδεθούν με τις στερεές επιφάνειες. Το Σχήμα 5.3 δείχνει δύο επιφάνειες κάτω από συνθήκες οριακής λίπανσης. Λόγω της τραχύτητας των επιφανειών η πραγματική περιοχή επαφής είναι πολύ μικρότερη από την προφανή περιοχή επαφής.

Για ανόμοια υλικά οι ιδιότητες του πιο αδύνατου υλικού κυριαρχούν στη συμπεριφορά τριβής. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3 από τη στιγμή που οι επιφάνειες καλύπτονται από στρώματα οξειδίου, η δύναμη τριβής του υλικού είναι αποτέλεσμα

της δύναμης τριβής της επιφάνειας του στρώματος.



Σχήμα 5.3: Δυο επιφάνειες σε σχετική κίνηση και συνθήκες οριακής λίπανσης.

Κάτω από τις συνθήκες οριακής λίπανσης ο συντελεστής τριβής είναι ουσιαστικά ανεξάρτητος της ταχύτητας. Η οριακή λίπανση εμφανίζεται μεταξύ των μηχανικών μερών κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και της διακοπής λειτουργίας (έδρανα, έμβολα και ελατήρια εμβόλων) και κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας στα ελατήρια του εμβόλου στα σημεία της επαφής των ελατηρίων του εμβόλου με το τοίχωμα του κυλίνδρου στα ΑΝΣ και ΚΝΣ, μεταξύ βαριά "φορτωμένων" μερών και μεταξύ αργά κινουμένων μερών όπως τα στελέχη των βαλβίδων, τα ζύγωθρα και τα γρανάζια και οι αλυσίδες χρονισμού στροφαλοφόρου άξονα.

Οι συνθήκες υδροδυναμικής λίπανσης εμφανίζονται όταν η μορφή και η σχετική κίνηση των κυλιόμενων επιφανειών διαμορφώνουν ένα υγρό λεπτό στρώμα στο οποίο υπάρχει ικανοποιητική πίεση για να κρατήσει τις επιφάνειες χωρισμένες. Η αντίσταση εμφανίζεται στα αποτελέσματα κίνησης από τις δυνάμεις τριβής μέσα στο υγρό στρώμα, και όχι από την αλληλεπίδραση μεταξύ των παρατυπιών των επιφανειών όπως συνέβαινε υπό συνθήκες οριακής λίπανσης.

Η πλήρης υδροδυναμική λίπανση ή ιξώδης τριβή είναι ανεξάρτητη από το υλικό ή την τραχύτητα των μερών και εξαρτάται μόνο από το ιξώδες του λιπαντικού. Η υδροδυναμική λίπανση εμφανίζεται μεταξύ δύο συγκλίνοντων επιφανειών που κινούνται σε σχετικά υψηλή ταχύτητα η μια ως προς την άλλη υπό περιορισμένο φορτίο έτσι ώστε κάθε φορά να μπορεί να διαμορφωθεί ένα λεπτό στρώμα ελαίου. Αυτός ο τύπος λίπανσης παρουσιάζεται στα έδρανα κινητήρων, μεταξύ του χιτωνίου του εμβόλου κάτω από το κάτω ελατήριο και του χιτωνίου του κυλίνδρου και μεταξύ των ελατηρίων του εμβόλου και των χιτωνίων για υψηλές ταχύτητες ολίσθησης.

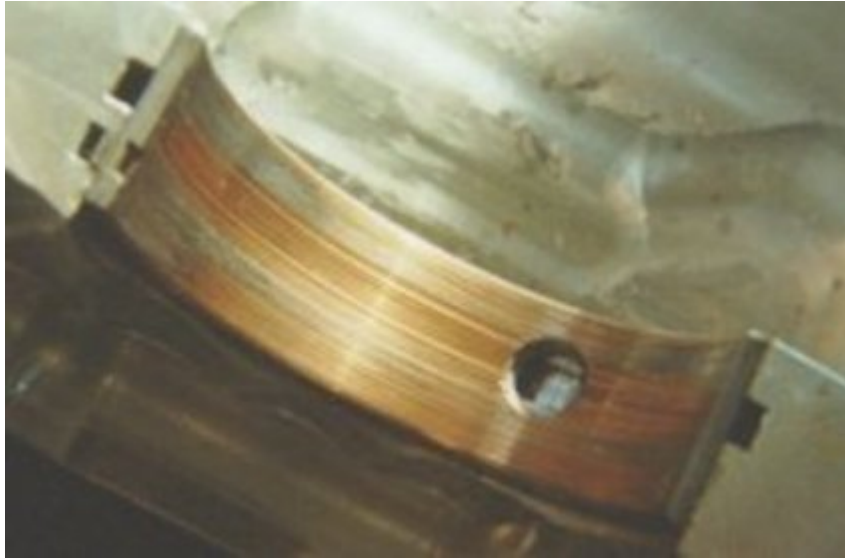
Η υδροδυναμική λίπανση παύει όταν το πάχος του λεπτού στρώματος ρευστού γίνεται σχεδόν ίδιο με το ύψος της τραχύτητας της επιφάνειας. Στην ιξώδη τριβή προστίθεται η μέταλλο προς μέταλλο στερεά τριβή στις αιχμές της τραχύτητας. Τότε συνυπάρχουν και οι συνθήκες υδροδυναμικής και οριακής λίπανσης. Η υφή της επιφάνειας είναι αυτή που ελέγχει τη μετάβαση από υδροδυναμική σε μικτή λίπανση. Για παράδειγμα σε τραχύτερες επιφάνειες η μετάβαση από υδροδυναμική σε μικτή λίπανση πραγματοποιείται σε χαμηλότερα φορτία. Το απότομο φορτίο ή οι μεταβολές της ταχύτητας ή οι μηχανικές δονήσεις μπορούν να αναγκάσουν την εμφάνιση αυτής της μετάβασης. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται μέσα στα έδρανα του διωστήρα και της στροφαλοφόρου ατράκτου, όπου η περιοδική μέταλλο προς μέταλλο επαφή είναι αποτέλεσμα των ξαφνικών "σπασιμάτων" (break-up) στο στρώμα λιπαντικού ελαίου. Η περιοχή επαφής μεταξύ των ελατηρίων του εμβόλου και των κυλίνδρων είναι μια ζώνη όπου λόγω των ξαφνικών αλλαγών στην ταχύτητα, το φορτίο και τη θερμοκρασία, η λίπανση είναι μικτού τύπου. Διακοπτόμενες μέταλλο προς μέταλλο επαφές εμφανίζονται ως αποτέλεσμα των "σπασιμάτων" στο λεπτό στρώμα του λιπαντικού ελαίου.

5.3 Λίπανση

Το σύστημα λίπανσης 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.

4. Αφαίρεση όλων των επιβλαβών ακαθαρσιών από τις λιπαινόμενες περιοχές.
5. Περιορισμός της διαρροής αερίου και ελαίου (ειδικά στην περιοχή των ελατηρίων) σε ένα αποδεκτό κατώτατο επίπεδο.

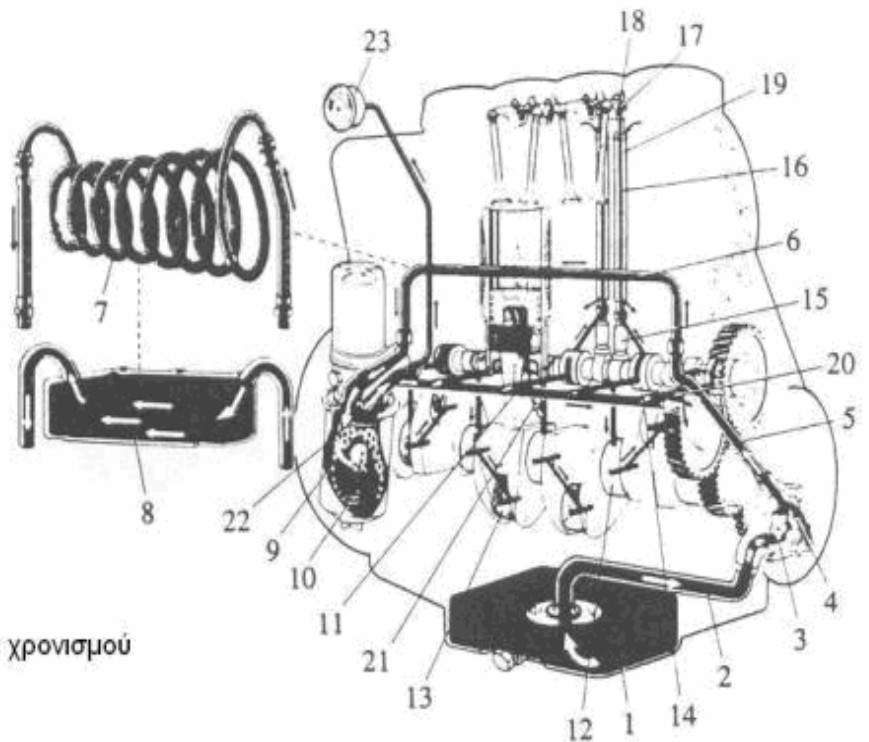


Σχήμα 5.4: Φθορά εμβόλου λόγω έλλειψης λίπανσης.

5.4 Συστήματα λίπανσης

Τα κύρια κινούμενα μέρη ενός κινητήρα λιπαίνονται με την εισαγωγή ελαίου από ένα σύστημα υπό πίεση. Ένα παράδειγμα ενός συστήματος λίπανσης για έναν αερόψυκτο κινητήρα Diesel παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5.

- 1 λεκάνη ελαίου
- 2 σωλήνας αναρρόφησης
- 3 αντλία λαδιού
- 4 βαλβίδα ελέγχου πίεσης ελαίου
- 5 σωλήνας πίεσης
- 6 παρακαμπτήριος σωλήνας
- 7 σπειροειδής σωλήνας ψύξης ελαίου ή
- 8 ψυκτήρας ελαίου
- 9 φίλτρο ελαίου ορθογώνιου τύπου
- 10 βαλβίδα ασφαλείας
- 11 κύριο κύκλωμα λίπανσης
- 12 έδρανο βάσης
- 13 έδρανο κάτω κεφαλής διωστήρα
- 14 έδρανα εκκεντροφόρου
- 15 ωστήρια
- 16 ωστήριο βάρκτρο
- 17 τριβέας ζυγώθρου
- 18 μετρητική διάταξη
- 19 αγωγός ζυγώθρου
- 20 οπή ώστε να " ψεκάζονται " τα γρανάζια χρονισμού
- 21 ακροφύσιο ψύξης εμβόλου
- 22 αισθητήρας μέτρησης πίεσης ελαίου
- 23 μετρητής πίεσης ελαίου



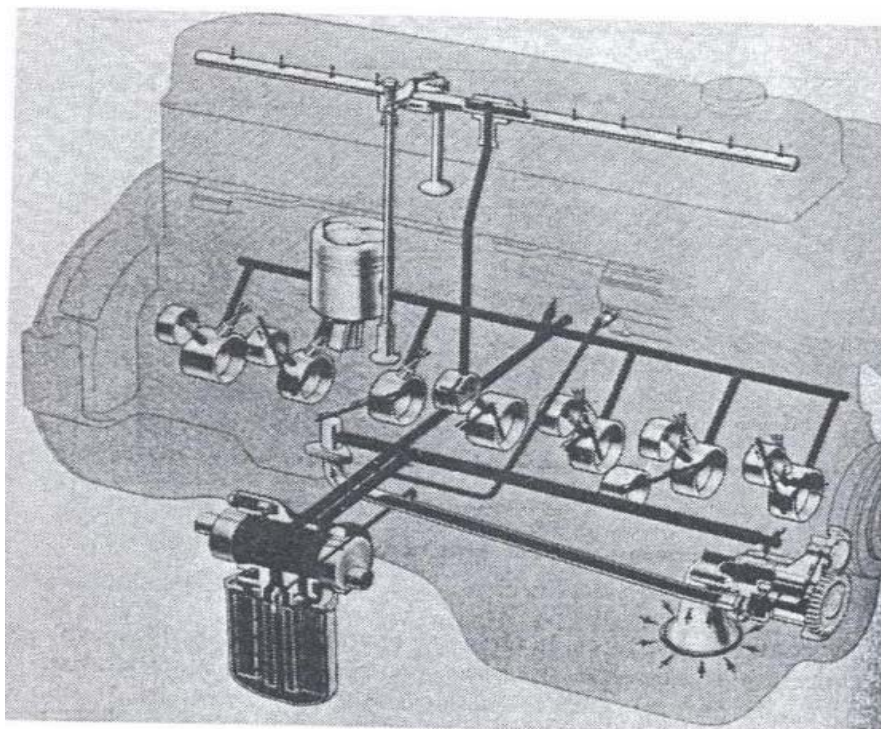
Σχήμα 5.5: Σύστημα λίπανσης για αερόψυκτο κινητήρα Diesel άμεσης έγχυσης.

Η αντλία ελαίου μεταφέρει το λιπαντικό από τη λεκάνη ελαίου («κάρτερ») του κινητήρα και μέσω μιας βαλβίδας ελέγχου το οδηγεί στον ελαιοψυκτήρα. Το λιπαντικό περνά έπειτα μέσα από το φίλτρο στο κυρίως κύκλωμα ελαίου. Από το κυρίως κύκλωμα, το λιπαντικό διακλαδίζεται στο έδρανο βάσης, τα έδρανα κάτω κεφαλής διωστήρα και τα έδρανα του εκκεντροφόρου άξονα. Το λιπαντικό επίσης διοχετεύεται στην αντλία έγχυσης καυσίμου. Μέσω ενός περάσματος εντός των εδράνων του εκκεντροφόρου, το λιπαντικό ρέει προς την περιοχή μεταξύ των ωστηρίων. Καθώς το λιπαντικό περνά από τα ωστήρια και την περιοχή μεταξύ ωστηρίων, στη συνέχεια κατευθύνεται προς τα πάνω κατά τη διάρκεια της κίνησης των ωστήριων βάρκτρων, έτσι ώστε τα ζύγωθρα και τα στελέχη των βαλβίδων να λιπαίνονται "παλμωδικά" μέσω της κίνησης των ωστήριων βάρκτρων και των διωστήρων. Για την ψύξη των εμβόλων και τη λίπανση των κυλίνδρων, το λιπαντικό έλαιο ρέει από την κάτω μεριά του εμβόλου μέσω των ακροφυσίων που συνδέονται με τα έδρανα βάσης. Οι συμπιεζόμενες, μέσω ελατηρίου, σφαιρικές βαλβίδες που ενσωματώνονται στα ακροφύσια διακόπτουν την ψύξη σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα για να διασφαλίσουν ότι η πίεση του ελαίου παραμένει επάνω από ένα ασφαλές επίπεδο. Τα γρανάζια από τον κύριο μηχανισμό χρονισμού λιπαίνονται καθώς ψεκάζονται

(splash lubricated). Το λιπαντικό έλαιο επιστρέφει από την αντλία εγχύσεως και το κάλυμμα του θαλάμου του ζυγώθρου στην λεκάνη ελαίου.

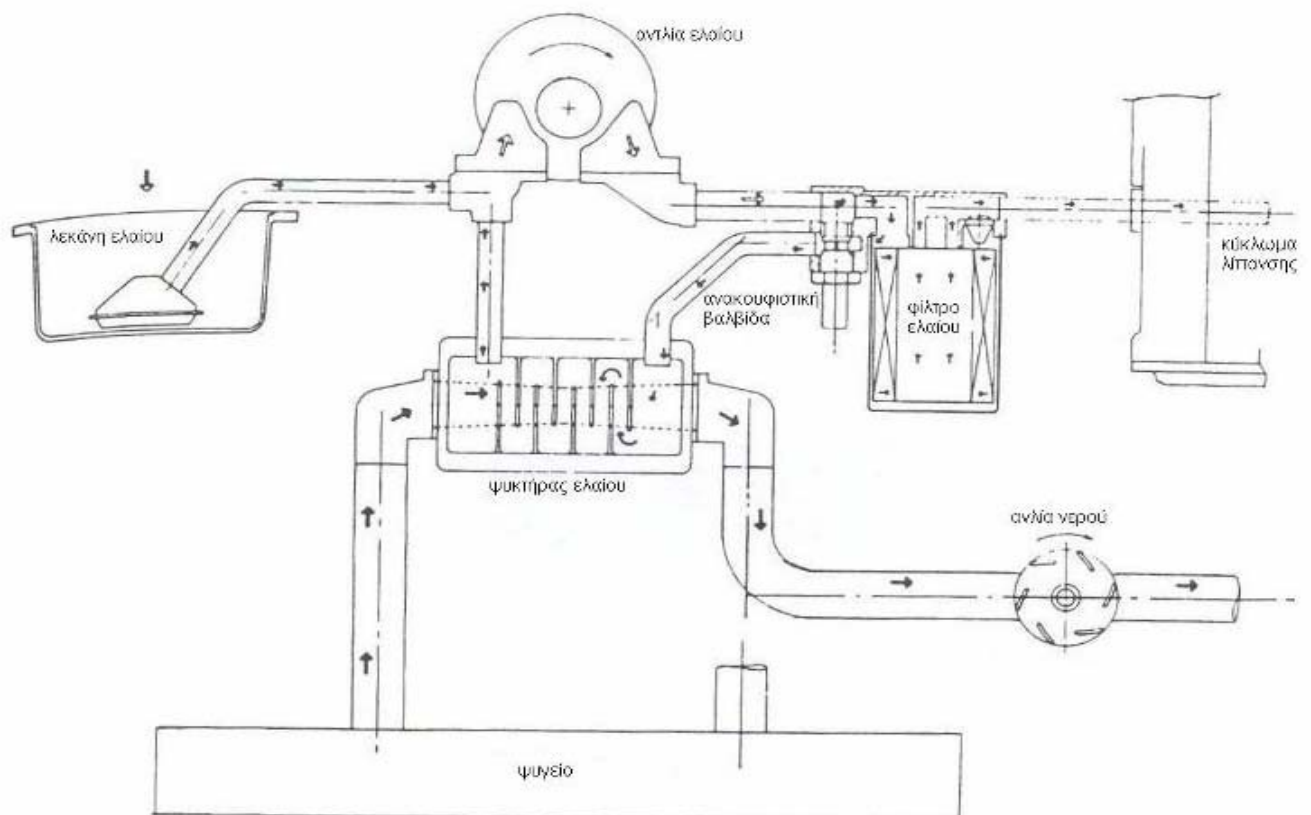
Επίσης, μέρος ενός συστήματος λίπανσης κινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6. Το λιπαντικό ρέει από τη λεκάνη ελαίου μέσω ενός πλεγματού φίλτρου και μέσω μιας πολυλοβοειδούς αντλίας θετικής μετατόπισης. Η αντλία οδηγείται από οδοντωτό ιμάντα από την στοφαλοφόρο άτρακτο, όπως θα περιγραφεί σε επόμενο Κεφάλαιο. Με τη βοήθεια της αντλίας το έλαιο διέρχεται από το ψυγείο λαδιού και από μια σειρά φίλτρων. Τα φίλτρα ελαίου πρέπει να επιτρέπουν την πλήρη ροή από την αντλία, και να ενσωματώνουν ένα σύστημα πίεσης – ανακούφισης στην περίπτωση που το φίλτρο μπλοκάρει. Τα φίλτρα μπορούν να αφαιρέσουν σωματίδια διαμέτρου 5μm και μικρότερα.

Η κύρια ροή από το φίλτρο κατευθύνεται στο κυρίως κύκλωμα λίπανσης και από εκεί στα 7 έδρανα βάσης τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 5.6. Το λιπαντικό περνά στα έδρανα βάσης μέσω των διατρήσεων στην στοφαλοφόρο άτρακτο. Το λιπαντικό από τα έδρανα βάσης περνά στα έδρανα του εκκεντροφόρου άξονα, και επίσης εγχύεται μέσα στους κυλίνδρους για να βοηθήσει την ψύξη των εμβόλων (όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο σύστημα λίπανσης). Μέρος της ροής λαμβάνεται επίσης από το κεντρικό έδρανο του εκκεντροφόρου άξονα για να λιπάνει το σύστημα βαλβίδων στην κυλινδροκεφαλή, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 5.6.



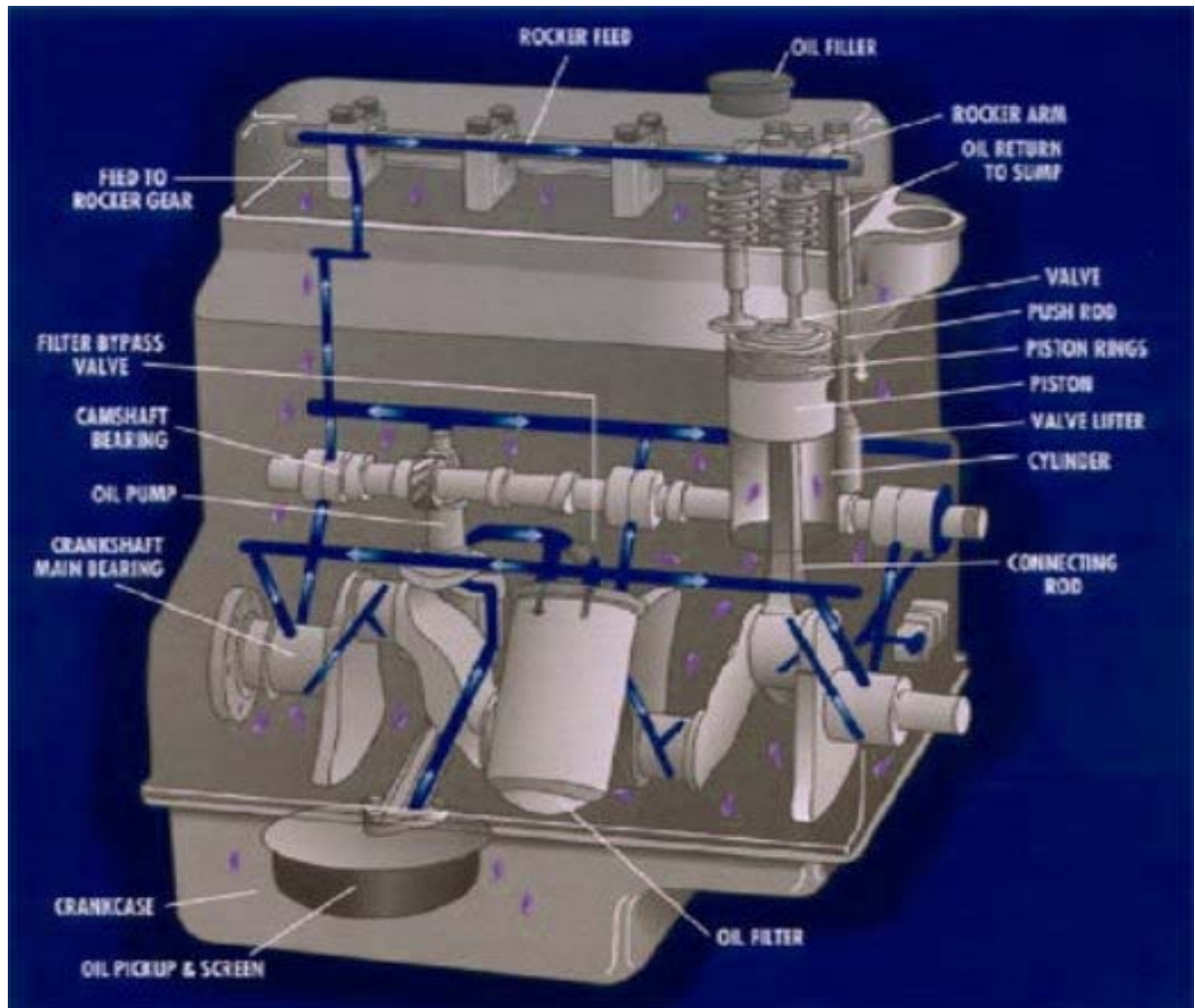
Σχήμα 5.6: Ροή λιπαντικού ελαίου στα κύρια έδρανα βάσης του κινητήρα.

Ένα εναλλακτικό κύκλωμα λίπανσης (από κινητήρα V12, όγκου εμβολισμού 5 λίτρων) παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.7. Η ημισεληνοειδής αντλία ελαίου τοποθετείται απευθείας στην στροφαλοφόρο άτρακτο, σε χώρο που δημιουργείται στο μέτωπο του στροφαλοθαλάμου (κάρτερ) μεταξύ των δύο σειρών των κυλίνδρων. Με οποιαδήποτε σταθερή αντλία μετατόπισης που οδηγείται άμεσα από τον κινητήρα, η τροφοδοσία από την αντλία είναι υπερβολικά μεγάλη στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα εάν η αντλία είναι επαρκούς μεγέθους για να παρέχει ικανοποιητικό λιπαντικό στις χαμηλές ταχύτητες. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να γίνει πλεονέκτημα με τη χρησιμοποίηση της ροής από την βαλβίδα ανακούφισης, η οποία εκτρέπεται μέσα από το ψυγείο ελαίου. Κατά συνέπεια στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής, όταν η ψύξη δι'ελαίου απαιτείται, η ροή θα είναι η μεγαλύτερη μέσω του ψυγείου ελαίου. Η επιστροφή λιπαντικού ελαίου από το ψυγείο πραγματοποιείται προς την εισαγωγή της αντλίας, ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια τη ροή ελαίου στο σωλήνα επιστροφής και ελαχιστοποιώντας τη θερμοκρασία ελαίου στην αντλία. Το λιπαντικό ψύχεται από το ψυκτικό μέσο που έρχεται απευθείας από το ψυγείο του κινητήρα, προτού εισαχθεί στην αντλία νερού.

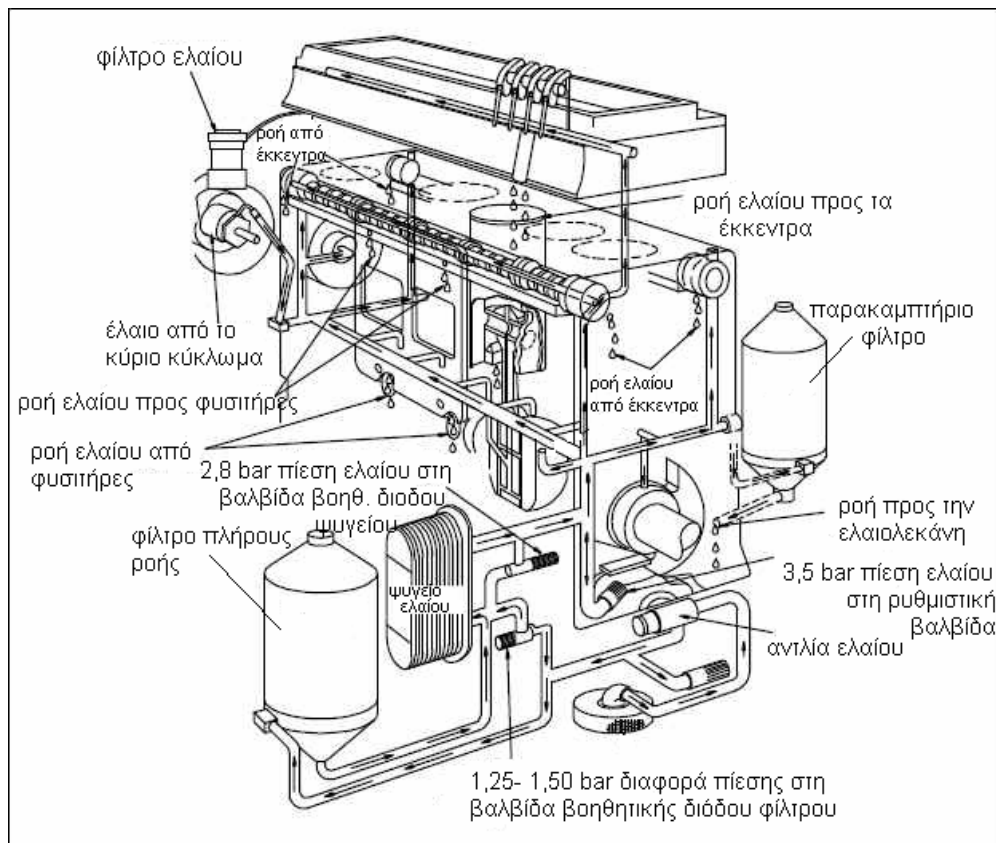


Σχήμα 5.7: Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος του ψυκτήρα ελαίου για κινητήρα Otto V12 όγκου εμβολισμού 5 λίτρων.

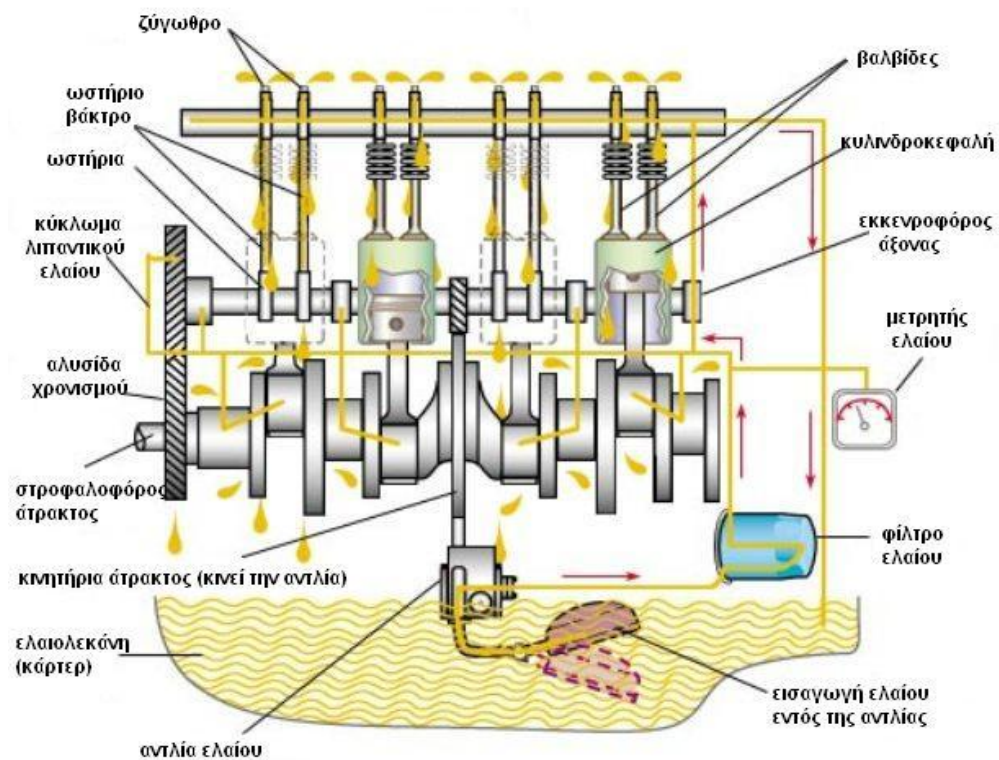
Στα Σχήματα 5.8α και 5.8β παρουσιάζονται ακόμα δύο συστήματα λίπανσης για κινητήρες Diesel, όπου φαίνεται χαρακτηριστικά η ροή του λιπαντικού ελαίου σε όλα τα μέρη των δύο κινητήρων. Επίσης στο Σχήμα 5.8β παρουσιάζονται και χαρακτηριστικές τιμές πίεσης ελαίου στο σύστημα λίπανσης. Τέλος στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται ένα σύστημα λίπανσης για κινητήρα Otto όπου φαίνονται χαρακτηριστικά ορισμένα τμήματα του κινητήρα και ο τρόπος με τον οποίο το λιπαντικό έλαιο τα προσεγγίζει, όπως τα ζύγωθρα και τα ωστήρια.



Σχήμα 5.8α: Ροή ελαίου εντός κινητήρα Diesel, όπου φαίνεται ο τρόπος λίπανσης σε όλα τα τμήματα του κινητήρα.



Σχήμα 5.8β: Ροή ελαίου εντός κινητήρα Diesel, όπου φαίνονται χαρακτηριστικές τιμές πίεσης του ελαίου.



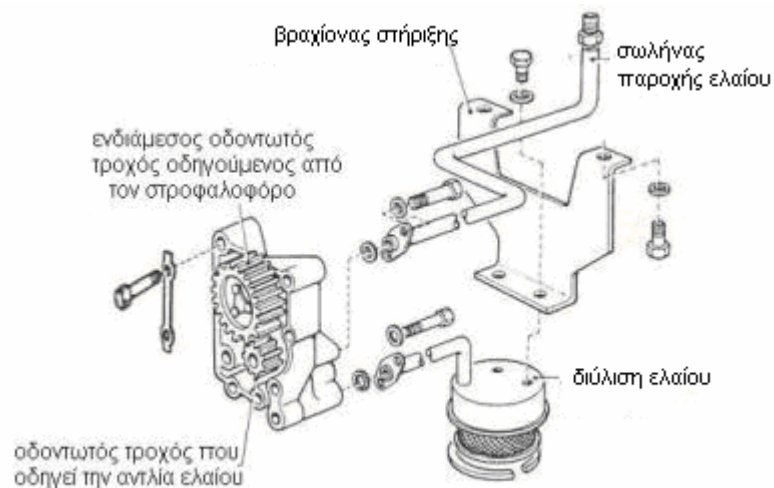
Σχήμα 5.9: Ροή λιπαντικού ελαίου σε κινητήρα Otto.

5.5 Λίπανση και φθορά βαλβίδων

Είναι σήμερα καθολική πρακτική να εσωκλείονται οι βαλβίδες και το σύστημα βαλβίδων και να κυκλοφορεί το λιπαντικό πέρα από τις άκρες των ελατηρίων όλων των βαλβίδων. Εδώ ένα δύσκολο πρόβλημα είναι να παρασχεθεί αρκετή λίπανση στα στελέχη των βαλβίδων χωρίς την εμφάνιση υπερβολικής κατανάλωσης λιπαντικού. Η απώλεια ελαίου μέσω των οδηγών των βαλβίδων εισαγωγής είναι ένα ειδικό πρόβλημα για τους κινητήρες Otto που η ρυθμιστική δικλίδα είναι ανοικτή τις περισσότερες φορές κατά τη λειτουργία, όπως στην περίπτωση των επιβατικών αυτοκινήτων. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με ανοικτή τη ρυθμιστική δικλίδα υπάρχει μεγάλη διαφορά πίεσης μεταξύ του περιβλήματος βαλβίδας και του αυλού εισαγωγής. Ο έλεγχος αυτής της μορφής κατανάλωσης ελαίου επιτυγχάνεται με την αποφυγή οποιασδήποτε συσσώρευσης ελαίου, το οποίο θα βυθίσει την κορυφή του οδηγού βαλβίδων. Η λίπανση των στελεχών των βαλβίδων επιτυγχάνεται με τον "παφλασμό" από τα ελατήρια, τα έκκεντρα και τα ζύγωθρα. Πολλοί κινητήρες χρησιμοποιούν ένα δακτύλιο στεγάνωσης του λιπαντικού ή μια μεταλλική «ομπρέλα» στην κορυφή του οδηγού βαλβίδων ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα απώλειας ελαίου μέσω του οδηγού.

5.6 Αντλίες ελαίου

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση κίνησης σε μια αντλία λιπαντικού ελαίου. Μερικές κινούνται μέσω οδοντωτών τροχών από την στροφαλοφόρο άτρακτο. Το Σχήμα 5.10 δείχνει πως μια αντλία παίρνει κίνηση από την στροφαλοφόρο μέσω μιας οδόντωσης. Η αντλία τύπου οδόντωσης ή κάποιος παρόμοιος τύπος είναι συνήθως η καλύτερη επιλογή επειδή, όπως για τον συμπιεστή θετικής μετατόπισης, το ποσοστό ροής της τείνει να είναι ανεξάρτητο της πίεσης εξόδου.

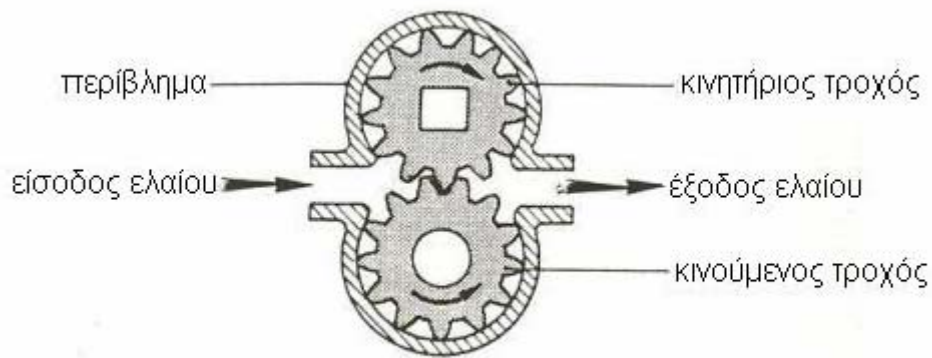


Σχήμα 5.10: Οδηγός αντλίας ελαίου για κινητήρα Diesel.

Για ένα δεδομένο ποσοστό ροής αυτή η πίεση θα ποικίλει αναλόγως με τη φθορά στον κινητήρα και την κατάσταση του φίλτρου ελαίου. Το απαιτούμενο ποσοστό ροής εξαρτάται από λεπτομέρειες του σχεδιασμού του κινητήρα καθώς επίσης και από το μέγεθος και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι εάν χρησιμοποιείται για τα έμβολα ψύξη με λιπαντικό. Χαρακτηριστικά ποσοστά ροής ελαίου για κινητήρα Diesel με έμβολα που ψύχονται και με νέα έδρανα είναι 0,0025 με 0,0035 σε κατ' όγκο αναλογία ελαίου στην μετατόπιση εμβόλου \times rpm. Για να υπερκεραστούν τα προβλήματα φθοράς, η ικανότητα των αντλιών πρέπει να είναι διπλάσια από αυτές τις τιμές. Οι πιέσεις που χρησιμοποιούνται στα σημεία κίνησης των τριβών είναι συνήθως μεταξύ 3,5 και 7 bar.

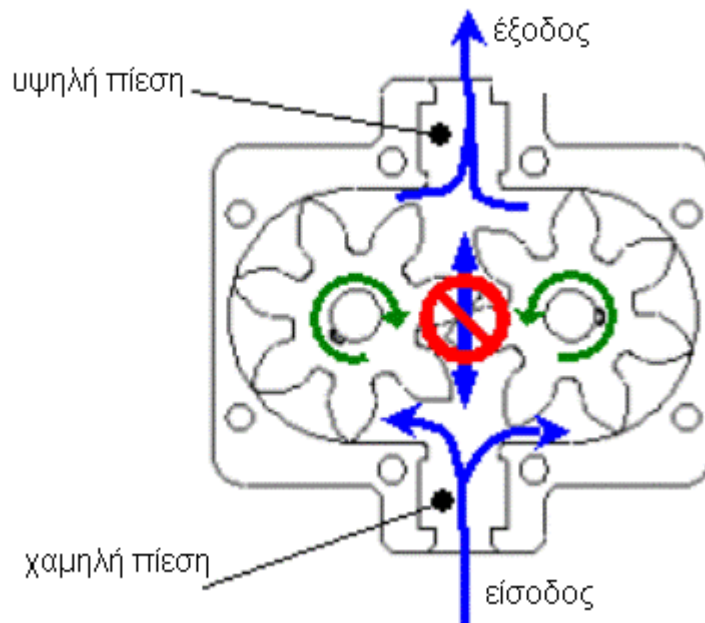
5.6.1 Αντλία οδόντωσης

Ο τύπος αυτός είναι πολύ συνηθισμένος και περιλαμβάνει δυο οδοντωτούς τροχούς, οι οποίοι περιστρέφονται εντός ενός κλειστού περιβλήματος όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.11 και 5.12. Ο ένας τροχός κινείται από τον εκκεντροφόρο άξονα και κινεί τον άλλο τροχό καθώς βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπαφή.



Σχήμα 5.11: Αντλία οδόντωσης

Το λάδι «τραβιέται» από την λεκάνη ελαίου από τη μια πλευρά του περιβλήματος και κάθε οδοντωτός τροχός παγιδεύει μια μικρή ποσότητα ελαίου μεταξύ των δοντιών του και του περιβλήματος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Το λιπαντικό εγκαταλείπει την αντλία από το πέρασμα εξόδου της υπό πίεση αντλίας και οδηγείται στο σύστημα λίπανσης.



Σχήμα 5.12: Παρουσιάζεται ότι το λιπαντικό έλαιο δεν πρέπει να διέρχεται μεταξύ των οδοντωτών τροχών.

Αυτός ο τύπος αντλίας είναι απλός, και αποτελεσματικός αλλά εξαρτάται για τη λειτουργία του στην πολύ μικρή απόσταση εφαρμογής των οδοντωτών τροχών με το περίβλημα. Η αντλία θα πρέπει να ελέγχεται ανά περιόδους για τυχόν φθορές στους

τροχούς και για υπερβολική πλεύση των τροχών εντός του περιβλήματος, καθώς αυτή η φθορά μπορεί να οδηγήσει σε ανικανότητα διατήρησης της πίεσης ελαίου κυρίως σε χαμηλές ταχύτητες. Κάποιοι κινητήρες έχουν δυο αντλίες, με τη μια να λειτουργεί ως αντλία τροφοδοσίας και την άλλη ως αντλία σάρωσης. Συνήθως κινούνται από ένα κοινό άξονα και βρίσκονται και οι δυο αντλίες εντός του ίδιου περιβλήματος. Η αντλία σάρωσης χρησιμοποιείται για να απορροφήσει το πλεονάζον έλαιο που μπορεί να συγκεντρωθεί στα ρηχά τμήματα της λεκάνης ελαίου και να το οδηγήσει πίσω στην κεντρική δεξαμενή ελαίου.

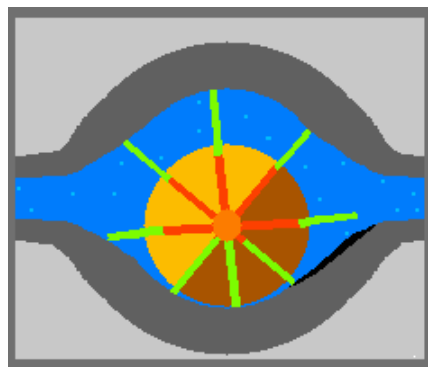
Ένα άλλο είδος αυτού του τύπου αντλίας είναι, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.13, ο ένας οδοντωτός τροχός να έχει εσωτερική οδόντωση. Η τρόπος λειτουργίας της αντλίας και στις δυο περιπτώσεις είναι ο ίδιος.



Σχήμα 5.13: Οδοντωτή αντλία με κινητήριο τροχό εσωτερικής οδόντωσης.

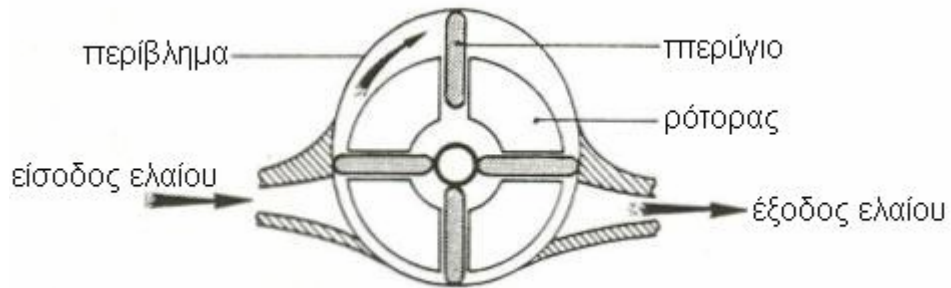
5.6.2 Πτερυγωτή αντλία

Η πτερυγωτή αντλία φαίνεται στα Σχήματα 5.14 και 5.15.

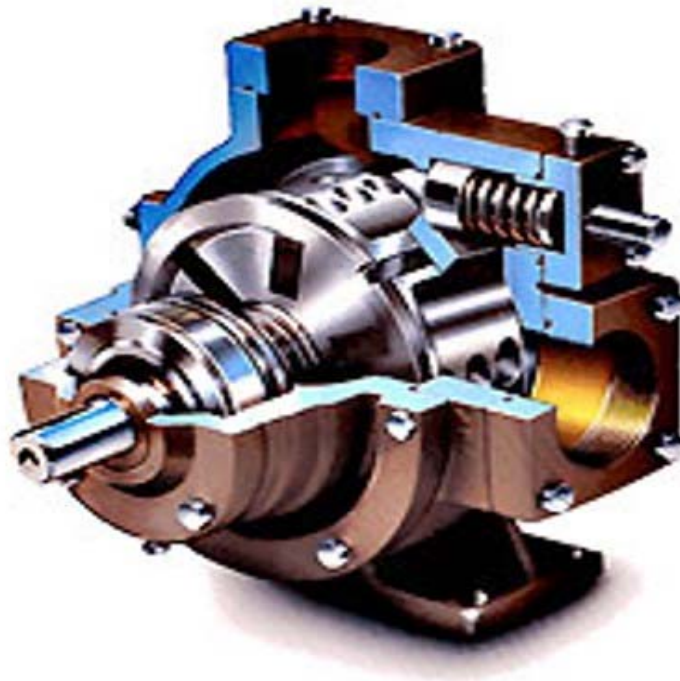


Σχήμα 5.14: Πτερυγωτή αντλία με ελατήρια στην βάση των πτερυγίων.

Στην αντλία αυτή το λιπαντικό εισέρχεται από τον αυλό εισαγωγής και μεταφέρεται μεταξύ των τμημάτων των στρεφόμενων πτερυγίων και του περιβλήματος. Το έλαιο εγκαταλείπει την αντλία από τον αυλό εξαγωγής υπό την πίεση αντλίας. Τα πτερύγια πρέπει να είναι εφοδιασμένα με ένα ελατήριο ώστε να διατηρείται η επαφή με το περίβλημα ή θα εξαρτώνται από τη φυγόκεντρο δύναμη για τη λειτουργία τους.



(a)

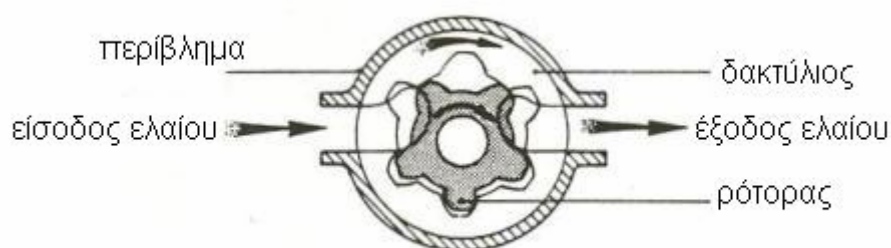


(b)

Σχήμα 5.15: (a)Σχηματικό διάγραμμα πτερυγωτής αντλίας
(b)Πτερυγωτή αντλία

5.6.3 Αντλία εκκέντρου

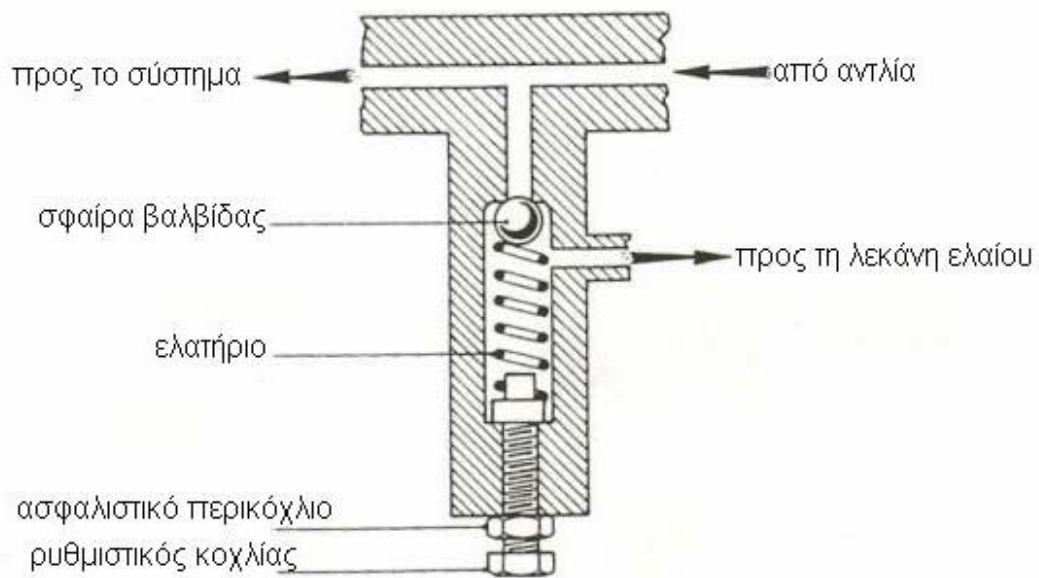
Ο τύπος της αντλίας αυτής φαίνεται στο Σχήμα 5.16. Η αντλία αυτή συνήθως περιλαμβάνει έναν πολυλοβοειδή ρότορα εκκεντρικά τοποθετημένο εντός ενός δακτυλίου που παρέχει εσωτερικούς λοβούς ώστε να συνεργάζεται με τον ρότορα. Ο δακτύλιος έχει συνήθως έναν παραπάνω λοβό από τον ρότορα. Ο δακτύλιος περιστρέφεται εντός της κυκλικής οπής του περιβλήματος της αντλίας. Η διαδικασία άντλησης πραγματοποιείται με την προοδευτική αύξηση και μείωση του διάκενου μεταξύ κάθε ζεύγους λοβών καθώς περιστρέφονται. Η αντλία αυτή κινείται είτε από την στροφαλοφόρο άτρακτο είτε από τον εκκεντροφόρο άξονα.



Σχήμα 5.16: Αντλία εκκέντρου

5.7 Ανακουφιστική βαλβίδα

Οι αντλίες ελαίου είναι σχεδιασμένες να παρέχουν μια συγκεκριμένη ποσότητα ελαίου σε προκαθορισμένη πίεση κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα στο ρελαντί. Όμως, σε υψηλότερες ταχύτητες η πίεση παροχής της αντλίας είναι υπερβολικά υψηλή οπότε είναι αναγκαίο κάποιο μέσο ώστε να «ανακουφιστεί» κάποια από αυτή τη πίεση για να αποφευχθεί η υπερβολική κατανάλωση λιπαντικού αλλά και ζημιές στη στεγανότητα και στα έδρανα. Η ανακούφιση της πίεσης επιτυγχάνεται με τη χρήση ανακουφιστικής βαλβίδας (Σχήμα 5.17) ενσωματωμένης στο σύστημα. Το σύστημα της βαλβίδας αποτελείται από μια μπάλα ή από ένα έμβολο, το οποίο "κάθεται" πάνω σε ένα ελατήριο και το όλο σύστημα βρίσκεται εντός περιβλήματος συνδεδεμένο στον κεντρικό τροφοδότη από την αντλία ελαίου.



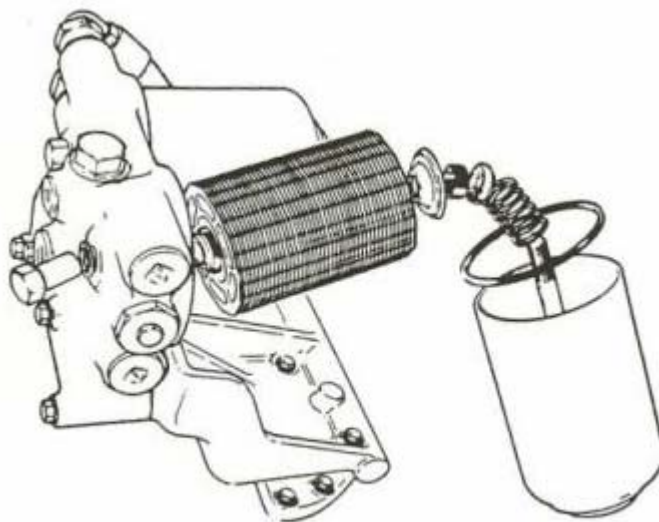
Σχήμα 5.17: Ανακουφιστική βαλβίδα με ελατήριο.

Η λειτουργία της βαλβίδας αυτής είναι η ακόλουθη: Καθώς ο κινητήρας είναι σταματημένος το ελατήριο κρατάει τη βαλβίδα κλειστή, δηλαδή τη σφαίρα στη θέση της. Κατά την εκκίνηση του κινητήρα η βαλβίδα παραμένει κλειστή ή ανοίγει ελαφρώς αναλόγως της πίεσης ελαίου και της τάσης του ελατηρίου. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και αυξάνεται και η πίεση του ελαίου, η βαλβίδα ανοίγει περαιτέρω και το επιπλέον λιπαντικό έλαιο περνάει μέσω ενός βοηθητικού αγωγού πίσω στην λεκάνη ελαίου. Η σωστή φόρτιση του ελατηρίου γίνεται μέσω ενός ρυθμιστικού κοχλίας και ενός ασφαλιστικού περικοχλίου. Εάν ο κοχλίας είναι στραμμένος προς τα μέσα, η πίεση προς το ελατήριο αυξάνεται, οπότε απαιτείται υψηλότερη πίεση ελαίου. Στρέφοντας τον κοχλίας προς τα έξω η πίεση προς το ελατήριο μειώνεται, οπότε η βαλβίδα μετακινείται από τη θέση της με χαμηλότερη πίεση λιπαντικού ελαίου.

5.8 Φίλτρα ελαίου

Υπάρχουν δυο γενικοί τύποι φίλτρων ελαίου που χρησιμοποιούνται. Και οι δυο τύποι τοποθετούνται στην περιοχή του συστήματος λίπανσης που βρίσκεται υπό

πίεση. Το αποτελεσματικό φιλτράρισμα ελαίου είναι ουσιαστικό για όλους τους κινητήρες.



Σχήμα 5.18: Τυπική συσκευή φίλτρου ελαίου.

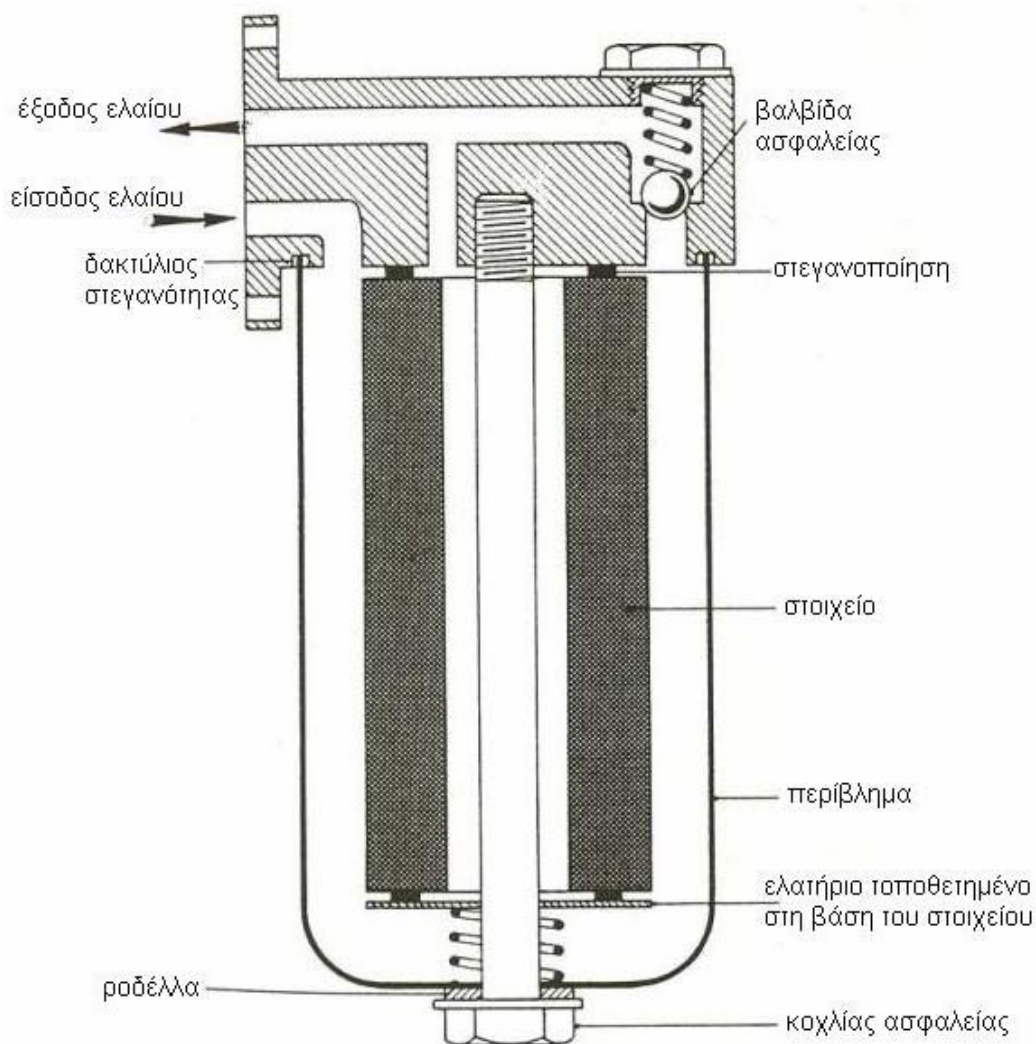
5.8.1 Παρακαμπτήριο φίλτρο

Αυτός ο τύπος φίλτρου τοποθετείται μεταξύ του κυρίου κυκλώματος λιπαντικού και της λεκάνης ελαίου και λαμβάνει μόνο μια μικρή ποσότητα ελαίου από την αντλία. Μετά το φιλτράρισμα το λιπαντικό επιστρέφει πίσω στην λεκάνη ελαίου. Ένα μικρό στόμιο μέτρησης χρησιμοποιείται στο σωλήνα τροφοδοσίας ελαίου προς το φίλτρο ώστε να ελέγχεται η ποσότητα του λιπαντικού που ρέει στη μονάδα, που είναι περίπου 1/10 της απόδοσης της αντλίας και η ολική ποσότητα του λιπαντικού της λεκάνης ελαίου φιλτράρεται περίπου 20 φορές την ώρα για κανονικές ταχύτητες περιστροφής. Η πτώση πίεσης ελαίου δεν είναι τόσο σημαντική για αυτόν τον τύπο όσο για τον τύπο πλήρους ροής, καθώς το λιπαντικό επιστρέφει στην λεκάνη ελαίου αφού φιλτραριστεί. Στον τύπο πλήρους ροής μια πιθανή πτώση πίεσης θα είχε σαν αποτέλεσμα χαμηλή πίεση λιπαντικού ελαίου που διοχετεύεται στα έδρανα.

5.8.2 Φίλτρο πλήρους ροής

Αυτός ο τύπος φίλτρου τοποθετείται μεταξύ της αντλίας και του κυκλώματος λίπανσης και όλο το λιπαντικό από την αντλία διέρχεται μέσω του φίλτρου υπό

κανονικές συνθήκες λειτουργίας, προτού τροφοδοτηθεί μέσω του δικτύου προς τα έδρανα.

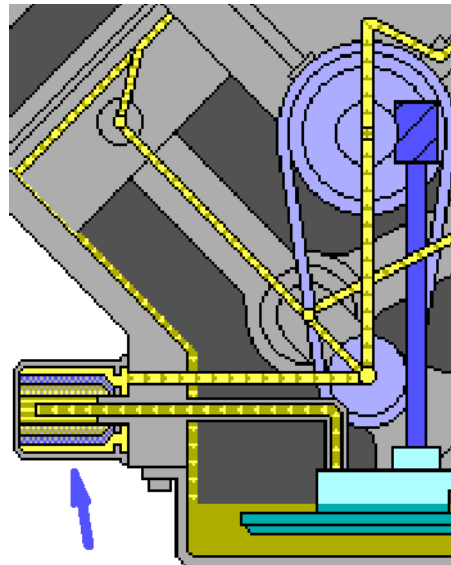


Σχήμα 5.19: Φίλτρο πλήρους ροής.

Ο σχεδιασμός του πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ αποτελεσματικού καθαρισμού και ποσότητας ροής του λιπαντικού. Εάν το στοιχείο είναι φραγμένο, υπάρχει μια βαλβίδα ασφαλείας ή μια διαρρύθμιση με ελατήριο τοποθετημένο στη βάση του στοιχείου που επιτρέπει το αφιλτράριστο έλαιο να οδηγηθεί προς το κύκλωμα λίπανσης και τα έδρανα. Το φίλτρο πλήρους ροής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.19.

Αυτός ο τύπος φίλτρου είναι σχεδιασμένος να παρέχει μικρή αντίσταση στη ροή λιπαντικού που το διαπερνά, καθώς βρίσκεται στην κύρια γραμμή τροφοδοσίας ελαίου και μια πτώση πίεσης θα προκαλούσε μια χαμηλότερη πίεση διοχέτευσης ελαίου στα έδρανα. Όμως το φιλτράρισμα ξένων ουσιών θα περιορίζεται σε

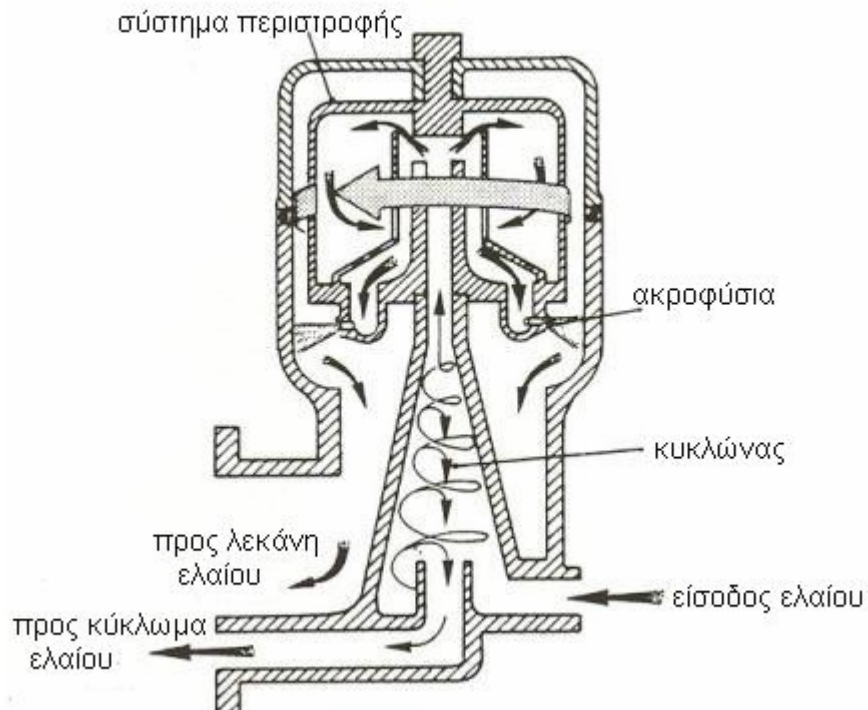
μεγαλύτερα σωματίδια από αυτά που φιλτράρονται από το φίλτρο παράκαμψης.



Σχήμα 5.20: Θέση φίλτρου πλήρους ροής σε κινητήρα Otto.

5.8.3 Φίλτρο φυγόκεντρου τύπου

Αυτός ο τύπος φίλτρου (Σχήμα 5.21) κινείται συνήθως από την πίεση του λιπαντικού ή κινείται μηχανικά από τον κινητήρα. Συνήθως χρησιμοποιείται με το παρακαμπτήριο σύστημα φιλτραρίσματος.



Σχήμα 5.21: Φίλτρο φυγόκεντρου.

Το φίλτρο αυτό βασίζεται στην αρχή της φυγόκεντρου δύναμης. Το έλαιο τροφοδοτείται σε μια περιστρεφόμενη λεκάνη που περιστρέφεται με πολύ υψηλή ταχύτητα και το έλαιο μαζί με τις ξένες ουσίες πετάγεται προς τα έξω προς την εσωτερική επιφάνεια του περιβλήματος. Οι ξένες ουσίες έχουν υψηλότερη πυκνότητα και κολλάνε στο περίβλημα αφού έχουν οδηγηθεί προς αυτό υπό την επήρεια της φυγόκεντρου δύναμης. Το έλαιο που έχει την χαμηλότερη πυκνότητα οδηγείται λόγω φυγόκεντρου προς την εσωτερική επικάλυψη του περιβλήματος και μετέπειτα επιστρέφει πίσω στην λεκάνη ελαίου σε καθαρή κατάσταση.

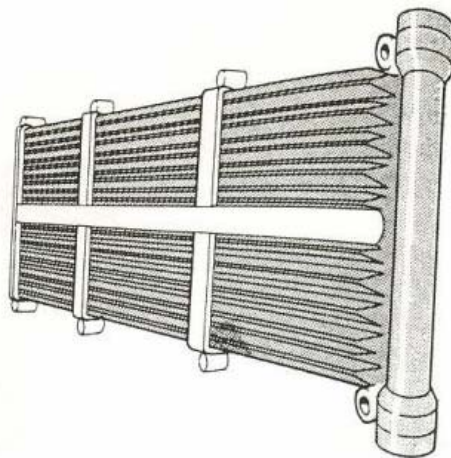
Κάποια φίλτρα είναι σχεδιασμένα ώστε να επιτρέπουν την αφαίρεση των ξένων ουσιών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας, αλλά είναι πιο συνηθισμένα αυτά που καθαρίζονται όταν δεν βρίσκονται σε λειτουργία.

5.9 Ψυγεία ελαίου

Είναι απαραίτητη η ύπαρξη ψυγείων λιπαντικού ελαίου σε ορισμένα οχήματα ώστε να αποφευχθούν οι βλαβερές υψηλές θερμοκρασίες ελαίου κατά τη διάρκεια ακραίων συνθηκών λειτουργίας. Το λιπαντικό διέρχεται μέσα από το ψυγείο στο οποίο η θερμότητα εξάγεται μέσω της αρχής συναλλαγής θερμότητας.

5.9.1 Τύπος ψύξης με αέρα

Το λιπαντικό έλαιο αντλείται από τη λεκάνη ελαίου, διέρχεται μέσα από το ψυγείο και επιστρέφει πίσω στην ελαιολεκάνη.

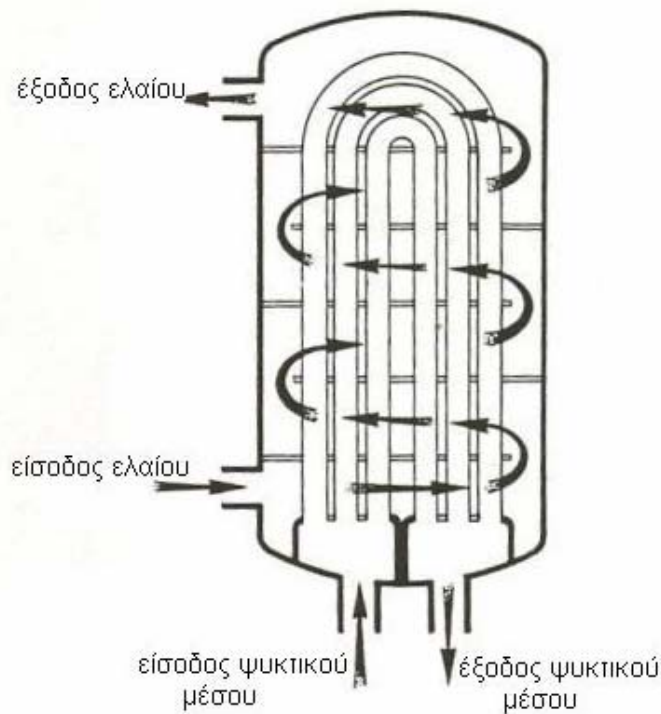


Σχήμα 5.22: Ψυγείο λιπαντικού ελαίου με αέρα.

Μια ξεχωριστή λεκάνη ελαίου χρησιμοποιείται συνήθως για το σκοπό αυτό καθώς και το φίλτρο και η ανακουφιστική βαλβίδα είναι ενσωματωμένα στο κύκλωμα. Ο αέρας που περνάει από την εξωτερική πλευρά των πτερυγών σωλήνων του φυγείου μειώνει τη θερμοκρασία ελαίου. Ένα τέτοιο φυγείο φαίνεται στο Σχήμα 5.22.

5.9.2 Τύπος ψύξης με ψυκτικό μέσο

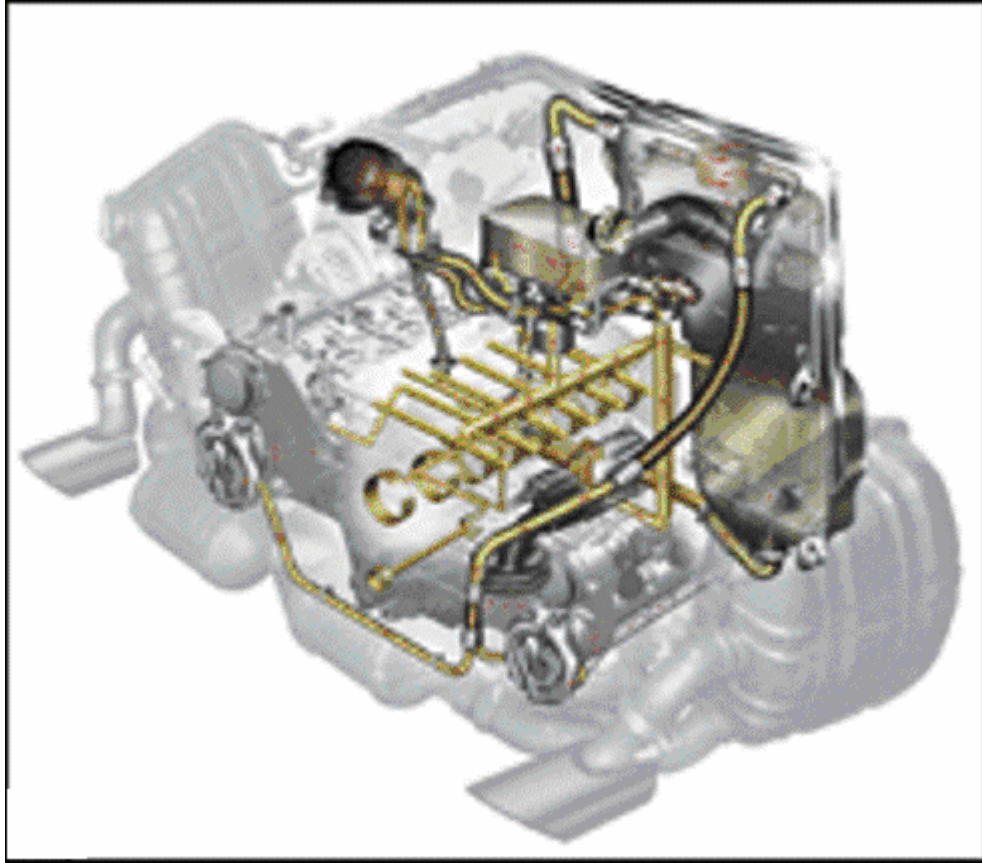
Στο σύστημα αυτό το λάδι ψύχεται από το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται στο σύστημα ψύξης του κινητήρα. Ένα τέτοιο φυγείο παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.23. Αυτός ο τύπος φυγείου προϋποθέτει ότι ο κινητήρας θα φθάσει τη θερμοκρασία λειτουργίας του πολύ γρήγορα μετά την εκκίνηση.



Σχήμα 5.23: Ψυγείο λιπαντικού ελαίου με χρήση ψυκτικού μέσου.

5.10 Σύστημα ξηρού κάρτερ

Το ξηρό σύστημα λεκάνης ελαίου (κάρτερ) είναι ένα πολύ αποδοτικό σύστημα λίπανσης για κινητήρες εσωτερικής καύσης και χρησιμοποιείται κυρίως σε αγωνιστικούς κινητήρες (Σχήμα 5.24).



Σχήμα 5.24: Ξηρό σύστημα λεκάνης ελαίου σε κινητήρα boxer. Σπάνια εξαίρεση χρήσης του συστήματος σε κινητήρα επιβατικού αυτοκινήτου.

Προκειμένου να υπάρξει μια καλή κατανόηση της ξηρής λεκάνης ελαίου, αρχικά θα εξετάσουμε το υγρό σύστημα λεκάνης ελαίου. Τα υγρά συστήματα λίπανσης ελαιολεκάνης χρησιμοποιούνται στο 99% των συμβατικών κινητήρων αυτοκινήτων. Χρησιμοποιείται μια συμβατική κοιλότητα αποθήκευσης ελαίου (oil pan) με μετρητή στάθμης, όπου αποθηκεύεται το λιπαντικό και παρέχεται στην αντλία ελαίου. Το λιπαντικό απορροφάται μέσω ενός σωλήνα από την αντλία ελαίου, όπου φιλτράρεται και παρέχεται στον κινητήρα υπό πίεση.

Ενώ το σύστημα αυτό είναι επαρκές για καθημερινή χρήση, παρουσιάζει προβλήματα υπό συνθήκες αγώνων. Εκτός από το μέγεθος της κοιλότητας αποθήκευσης ελαίου, το λιπαντικό "στριμώνχεται" στα άκρα καθώς υφίσταται ισχυρές πλευρικές δυνάμεις και δυνάμεις επιτάχυνσης / επιβράδυνσης, οπότε το λιπαντικό απλά "σέρνεται" στις άκρες και μακριά από τον σωλήνα αναρρόφησης.

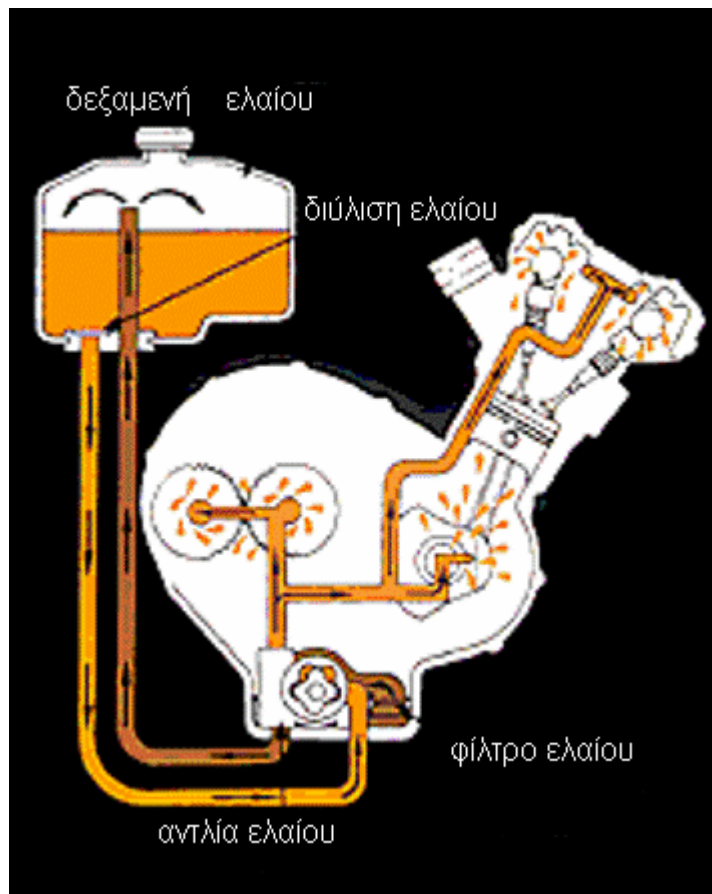
Εκτός από τη προφανή απώλεια πίεσης, οδηγούμαστε επίσης και σε μείωση της ιπποδύναμης, καθώς επίσης και στον αερισμό του ελαίου. Αυτοί είναι οι λόγοι που

αναπτύχθηκαν τα ξηρά συστήματα λεκάνης ελαίου.

Ο κύριος σκοπός του ξηρού συστήματος λεκάνης ελαίου είναι να αποθηκεύεται όλο το λιπαντικό σε μια ξεχωριστή δεξαμενή. Αυτή η δεξαμενή είναι συνήθως "μακρόστενη" και στρογγυλή ή στενή και ειδικά σχεδιασμένη με εσωτερικά διαφράγματα (ελάσματα) και μια έξοδο λιπαντικού (για ανεφοδιασμό) στο κατώτατο σημείο.

Η αντλία ξηρού συστήματος λεκάνης ελαίου έχει τουλάχιστον 2 στάδια και πολλές φορές ακόμα και 5 ή και 6 στάδια. Το ένα στάδιο είναι για την πίεση και παρέχεται στο λιπαντικό από την κάτω πλευρά της δεξαμενής, και μαζί με ένα ρυθμιστή πίεσης παρέχει το λιπαντικό υπό πίεση μέσω ενός φίλτρου στον κινητήρα. Τα υπόλοιπα στάδια «καθαρίζουν» το λιπαντικό από την κοιλότητα αποθήκευσης ελαίου (oil pan) του ξηρού συστήματος λεκάνης ελαίου και επιστρέφουν το λιπαντικό (και τον αέρα) στη κορυφή της δεξαμενής. Ο ψυκτήρας λιπαντικού ελαίου τοποθετείται συνήθως ευθύγραμμα μεταξύ των εξόδων των «καθαριστών» και της δεξαμενής. Η αντλία ελαίου οδηγείται συνήθως από ένα ιμάντα χρονισμού με τροχαλίες, από το μέτωπο της στροφαλοφόρου ατράκτου και με την μισή περίπου ταχύτητα περιστροφής του στροφάλου.

Η αντλία ξηρής λεκάνης ελαίου σχεδιάζεται με πολλαπλά στάδια, για να εξασφαλίσει ότι όλο το λιπαντικό «καθαρίζεται» από την κοιλότητα αποθήκευσης ελαίου. Αυτό οδηγεί επίσης και στην αφαίρεση του υπερβολικού αέρα από τον στροφαλοθάλαμο (κάρτερ), και είναι ο λόγος που καλούνται «ξηρά συστήματα λεκάνης ελαίου» επισημαίνοντας ότι η κοιλότητα αποθήκευσης ελαίου είναι ουσιαστικά ξηρή. Στο Σχήμα 5.25 φαίνονται οι διαφορές μεταξύ του ξηρού συστήματος λεκάνης ελαίου και υγρού συστήματος λεκάνης ελαίου.



Σχήμα 5.25: Παρουσιάζεται χαρακτηριστικά η ξεχωριστή δεξαμενή στο σύστημα ξηρού κάρτερ.

Η αυξημένη αξιοπιστία του κινητήρα λόγω της διατήρησης της πίεσης ελαίου που παρέχεται από το ξηρό σύστημα λεκάνης ελαίου είναι ο λόγος που εφευρέθηκαν τα ξηρά συστήματα. Τα άλλα οφέλη που αναφέρθηκαν νωρίτερα είναι:

- Πιο ρηχή κοιλότητα αποθήκευσης ελαίου, που επιτρέπει στον κινητήρα να βρίσκεται χαμηλότερα (χαμηλό κέντρο βάρους).
- Αύξηση ιπποδύναμης λόγω μικρότερου ιξώδους.
- Λιπαντικό χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Συμπερασματικά, το ξηρό σύστημα λεκάνης ελαίου προήλθε από την ανάγκη να διατηρηθεί η πίεση ελαίου, και εξελίχθηκε σε ένα πολύ περίπλοκο σύστημα που αυξάνει την αξιοπιστία, την ιπποδύναμη, αλλά και επιτρέπει χαμηλότερο κέντρο βάρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ Μ.Ε.Κ.

6.1 Εισαγωγή στα είδη λιπαντικών

6.1.1 Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός λιπαντικού.

Οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί μια ουσία που προορίζεται για λιπαντικό είναι:

➤ A) Να έχει κατάλληλο ιξώδες, αλλά και να διατηρεί κατά το δυνατό ανεπηρέαστο στις μεταβολές της θερμοκρασίας, που το λιπαντικό θα συναντήσει στις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κινητήρα. Δεν αρκεί να έχουμε στον κινητήρα μας λιπαντικό με κατάλληλο ιξώδες κατά την εκκίνηση. Όταν ο κινητήρας ζεσταθεί, ύστερα από ορισμένο χρόνο λειτουργίας, πρέπει το ιξώδες του λιπαντικού να παραμένει αρκετά υψηλό, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος εκθλίψεως της λιπαντικής μεμβράνης. Όταν το ιξώδες είναι μεγαλύτερο από το κανονικό δυσχεραίνει την εκκίνηση του κινητήρα και προκαλεί απώλεια ισχύος και μείωση του βαθμού αποδόσεως. Αντίθετα, χαμηλό ιξώδες δεν εξασφαλίζει πάντοτε τη λιπαντική μεμβράνη που απαιτείται ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες. Την απαίτηση για τη μέγιστη δυνατή σταθερότητα του ιξώδους στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εξασφαλίζει η άλλη ιδιότητα του λιπαντικού, που εκφράζει με το δείκτη ιξώδους.

➤ Β) Να μην έχει διαβρωτική επίδραση στις μεταλλικές επιφάνειες τις οποίες λιπαίνει. Αποστολή των λιπαντικών είναι προστασία των μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση. Κατά κανόνα τα ορυκτέλαια ικανοποιούν τέλεια αυτή τη βασική απαίτηση.

➤ Γ) Να έχει ικανοποιητική πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες τις οποίες λιπαίνει, ώστε η προστασία τους από τη διάβρωση να συνεχίζεται και όταν ο κινητήρας δε λειτουργεί.

➤ Δ) Να έχει χημική σταθερότητα, για να μην αλλοιώνεται από τους παράγοντες που συναντά κατά τη λειτουργία του κινητήρα και που είναι: ο ατμοσφαιρικός αέρας, το νερό, τα μέταλλα, τα καυσαέρια και οι συχνές εναλλαγές της θερμοκρασίας. Η αλλοίωση του λιπαντικού από τους παράγοντες αυτούς εκδηλώνεται με τους εξής κυρίως τρόπους:

1. Εμφάνιση ιλύος (λάσπης) και ασφαλικών καταλοίπων.
2. Προϊόντα αλλοιώσεως με διαβρωτική δράση στα μέταλλα(όξινα συστατικά).
3. Αύξηση του ιξώδους. Η αύξηση όμως αυτή πιθανόν να μην εκδηλώνεται, γιατί μπορεί το λιπαντικό να μολύνεται με καύσιμο, το οποίο σε πολλές περιπτώσεις, έχει μικρότερο ιξώδες από το λιπαντέλαιο, ενώ σε άλλα μεγαλύτερο, οπότε το αυξημένο ιξώδες θα οφειλόταν στο υψηλό ιξώδες του καυσίμου που υπεισέρχεται στο λιπαντέλαιο.

Τις παραπάνω απαιτήσεις εξασφαλίζουμε με τους εξής κυρίως τρόπους:

- α) Την καλή συντήρηση του κινητήρα.
- β) Την επιλογή του κατάλληλου λιπαντικού, του οποίου η καταλληλότητα επηρεάζεται από την επιλογή των πρώτων υλών.
- γ) Την κατάλληλη επεξεργασία και
- δ) Την ανάμιξη με κατάλληλα χημικά πρόσθετα (additives).

6.1.2 Παραγωγή και επεξεργασία ορυκτελαίων

6.1.2.1 Κατεργασίες με διαλύτες

Ανάλογα με την πετρελαιοπηγή από την οποία προέρχεται, το φυσικό πετρέλαιο περιέχει διάφορα είδη υδρογονανθράκων (παραφινικοί, αρωματικοί, ναφθενικοί κλπ.) ορισμένοι από τους οποίους δεν είναι κατάλληλοι ως συστατικά των λιπαντελαίων και πρέπει να απομακρύνονται. Η απομάκρυνση των ανεπιθύμητων αυτών συστατικών, που είναι κυρίως οι ασφαλτικοί και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, γίνεται με

εκχύλιση με διαλύτες που εκλεκτικά τους διαλύουν, αφήνοντας τα εκλεκτής ποιότητας ναφθενικά και παραφινικά συστατικά ανέπαφα.

Το εξευγενισμό προϊόν, που έχει ως βάση ναφθενικούς και παραφινικούς υδρογονάνθρακες, διακρίνεται για την αντοχή του σε οξειδωση και την υψηλή τιμή του δείκτη ιξώδους. Αποτελεί τη βάση για την παραγωγή των υψηλής ποιότητας λιπαντελαίων, που διατίθενται στο εμπόριο ως λιπαντικά για βαριές απαιτήσεις (Heavy Duty), αφού ενισχυθεί με κατάλληλα πρόσθετα.

Για την εκχύλιση χρησιμοποιούνται συνήθως η φουρφουράλη, ένας οργανικός διαλύτης που παράγεται από πίτουρα. Ο διαλύτης εισάγεται στον πύργο εκχυλίσεως ή σε περιστρεφόμενες εκχυλιστικές συσκευές από το επάνω μέρος, ενώ από κάτω καταθλίβεται το λάδι που προορίζεται για εξευγενισμό.

Έτσι ο διαλύτης, που είναι βαρύτερος από το λάδι, οδεύει σε αντίστροφη προς το λάδι ροή, δηλαδή από πάνω προς τα κάτω. Έτσι έρχεται σε πλήρη επαφή με το λάδι που ανεβαίνει από κάτω προς τα πάνω, αφαιρώντας απ' αυτό με εκχύλιση όλα τα ανεπιθύμητα συστατικά. Μέσα στον πύργο εκχυλίσεως βρίσκονται μεταλλικά ελάσματα τοποθετημένα παράλληλα, ώστε να φέρνουν σε πληρέστερη επαφή το λάδι με το διαλύτη. Ο διαλύτης με τα κατάλοιπα που έχει εκχυλίσει οδηγείται από το κάτω μέρος του πύργου σε μονάδα ανακτήσεως του διαλύτη με απόσταση. Το εξευγενισμένο λιπαντικό παραλαμβάνεται από την κορυφή του πύργου και διαχωρίζεται, επίσης με απόσταση, από τη μικρή ποσότητα διαλύτη που περιέχει.

6.1.2.2 Αποχρωματισμός

Συχνά τα ορυκτέλαια μετά τις παραπάνω κατεργασίες έχουν βαθύ καστανόμαυρο χρώμα που οφείλεται σε διάφορες χρωστικές ουσίες, τις οποίες περιέχουν. Μαζί μ' αυτές συνυπάρχουν και άλλα ανεπιθύμητα συστατικά, δηλαδή ανθρακούχα κατάλοιπα, ίχνη οξέων, θειούχες ενώσεις, ρητίνες κλπ. Το λάδι από τα συστατικά αυτά απαλλάσσεται με κατεργασία με διηθητική γη. Η διηθητική γη είναι ένα είδος χώματος, που αποτελείται από πυριτικά άλατα αργιλίου και μαγνησίου, τα οποία ενεργοποιούνται με πύρωση στους 450° C. Έχουν την ικανότητα να συγκρατούν με εκλεκτική προσρόφηση τις χρωστικές ύλες και τα ανεπιθύμητα συστατικά, που περιέχει το λάδι. Το λάδι αναμιγνύεται με τη διηθητική γη και, μετά την προσρόφηση, απαλλάσσεται απ' αυτή με διήθηση σε φιλτροπρέσες. Για τον αποχρωματισμό εφαρμόζονται σήμερα και άλλες διαδικασίες, όπως είναι η κατεργασία με υδρογόνο.

6.1.2.3 Χημικά πρόσθετα (additives)

Στην τελική φάση παραγωγής των ορυκτελαίων γίνεται η ανάμιξή τους με ορισμένες ουσίες, που λέγονται πρόσθετα ή προσθέματα ή βελτιωτικά (additives). Σκοπός τους είναι να προσδώσουν στο παραγόμενο λιπαντικό ιδιότητες που δεν είχε ή να βελτιώσουν τις αρχικές του ιδιότητες. Η πετρελαιοβιομηχανία διαθέτει σήμερα πολλά τέτοια χημικά πρόσθετα, που μπορεί να ανταποκριθούν σε όλες τις απαιτήσεις λιπάνσεως των σύγχρονων κινητήρων, που μέρα με τη μέρα γίνονται όλο και μεγαλύτερες. Δεν είναι υπερβολή να λεχθεί ότι για κάθε ειδική απαίτηση υπάρχει το κατάλληλο χημικό πρόσθετο. Βέβαια, τα χημικά πρόσθετα επιβαρύνουν σημαντικά το κόστος των παραγομένων λιπαντικών, όμως η επιβάρυνση αυτή αντισταθμίζεται από την παράταση ζωής των λιπαντικών και από την καλύτερη απόδοσή τους. Έτσι η φθορά του κινητήρα είναι μικρότερη και συνεπώς μικρότερο είναι και το κόστος της συντηρήσης.

Σε άλλες περιπτώσεις τα χημικά πρόσθετα μειώνουν ακόμα και το κόστος διύλισης. Π.χ. το επιθυμητό σημείο ροής ορυκτελαίου, αντί να το επιτύχουμε με έντονη αποκήρωση, μπορούμε με λιγότερα έξοδα να το εξασφαλίσουμε προσθέτοντας σε μικρή αναλογία τα κατάλληλα χημικά πρόσθετα (ταπεινωτές σημείου ροής).

Τα σπουδαιότερα είδη χημικών προσθέτων είναι:

1. Βελτιωτικά δείκτη ιξώδους (V.I.improvers). Αν προστεθούν σε αναλογία 2-10% περιορίζουν τη μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία. Λιπαντέλαια με υψηλή τιμή δείκτη ιξώδους (V.I) είναι γνωστά ως viscostatic ή multigrade (πολλαπλού ιξώδους).

2. Ταπεινωτές σημείου ροής (Pour point derpressants) κατεβάζουν το σημείο ροής, δηλαδή την κατώτερη θερμοκρασία στην οποία το έλαιο μπορεί να ρέει. Συνεπώς, τα πρόσθετα αυτά έχουν αποφασιστική σημασία για την άνετη κυκλοφορία του λιπαντικού στο δίκτυο λιπάνσεως του κινητήρα. Η αναλογία με την οποία τα προσθέτουμε στο λάδι είναι από 0,1-1%.

3. Αντιρρυπαντικά πρόσθετα (detergents). Τα προσθέτουμε κυρίως στα λιπαντικά έλαια των MEK και έχουν σκοπό να εμποδίσουν τη ρύπανση των κυλίνδρων από τα σχηματιζόμενα εξανθρακώματα. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα των ουσιών αυτών να περιβάλλουν τα εξανθρακώματα με μια λεπτή μεμβράνη, εμποδίζοντας έτσι την επικάθησή τους στα εσωτερικά τοιχώματα των κυλίνδρων.

4. Αντιοξειδωτικά πρόσθετα (antioxidants). Επιβραδύνουν ή ακόμα και εμποδίζουν τελείως την οξείδωση του ελαίου, που θα κατάστρεφε τις λιπαντικές του

ικανότητες, ή ακόμα θα μπορούσε, με τα οξέα που παράγονται κατά την οξειδωση, να δράσει διαβρωτικά στις μεταλλικές επιφάνειες. Η αναλογία τους κυμαίνεται από 0,5-2%.

5. Χαλινωτές ή εμποδιστές διαβρώσεως (corrosion inhibitors). Εμποδίζουν τη διάβρωση των μετάλλων, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν το νερό ή τα προϊόντα οξειδώσεως του λαδιού. Αυτό οφείλεται στην υψηλή πολική έλξη που τα πρόσθετα αυτά διαθέτουν προς τις μεταλλικές επιφάνειες. Σχηματίζεται έτσι στις μεταλλικές επιφάνειες ένα συνεχές συνεκτικό στρώμα, που εμποδίζει την άμεση επαφή όλων των παραπάνω διαβρωτικών παραγόντων με τα μέταλλα.

6. Προληπτικά φθοράς (wear preventives). Είναι πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της φθοράς από την τριβή κάτω από συνθήκες οριακής λιπάνσεως. Μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

➤ Βελτιωτικά λιπαρότητας (oiliness agents). Πρόκειται για ουσίες που μειώνουν το συντελεστή τριβής.

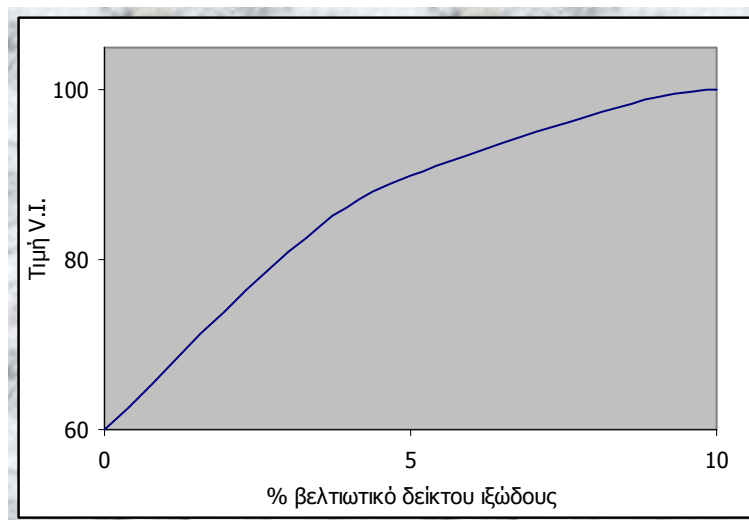
➤ Προληπτικά φθοράς για συνηθισμένη καταπόνηση.

➤ Προληπτικά φθοράς για πολύ υψηλές πιέσεις (extreme pressure additives). Λιπαντέλαια ενισχυμένα με τέτοια πρόσθετα φέρουν την ένδειξη E.P. (extreme pressure) και έχουν ιδιαίτερη σημασία για λίπανση των μειωτήρων στροφών των αμμοστροβίλων, όπου πράγματι αναπτύσσονται πολύ μεγάλες πιέσεις. Τα λιπαντέλαια αυτά είναι γνωστά ως TEP (Turbine extreme pressure).

Η βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων των ορυκτελαίων με χημικά πρόσθετα είναι ανάλογη με την ποσότητα του χημικού προσθέτου. Ενώ στην αρχή υπάρχει θεαματική βελτίωση, από ορισμένο ποσοστό αναλογίας και πέρα η βελτίωση είναι ασήμαντη και το όφελος αμφίβολο. Η βάση δηλαδή της αξίας ενός λιπαντικού είναι η ποιότητα της πρώτης ύλης από την οποία προέρχεται και η επεξεργασία που έχει προηγηθεί. Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.1 φαίνεται ότι για ένα βασικό λάδι με δείκτη ιξώδους 60, προσθέτοντας ένα βελτιωτικό δείκτη ιξώδους μέχρι 5% ανεβάζουμε τον V.I. στα όρια του 90. Για 10% προσθέτομε μόνο 10 μονάδες V.I. ακόμα, ενώ πέρα από το 10% η βελτίωση του δείκτη ιξώδους είναι σχεδόν αμελητέα.

Τα περισσότερα χημικά πρόσθετα μετά από ορισμένες ώρες λειτουργίας του κινητήρα εξαντλούνται ή καταστρέφονται. Η ανανέωσή τους μπορεί να γίνει, μόνο κατά την αναζωογόνηση του λιπαντικού, πράγμα που απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις. Μερική ενίσχυση του λιπαντικού γίνεται κατά τις τμηματικές συμπληρώσεις των ελαιοδεξαμενών με καινούργιο λάδι. Η ποσότητα του λαδιού, όμως, που προσθέτομε

πρέπει να είναι μικρή (λιγότερο από 10%της ποσότητας που η μηχανή περιέχει) και το λάδι στη δεξαμενή υποδοχής να είναι θερμό.



Σχήμα 6.1: Ποσοστό βελτίωσης του δείκτη ιξώδους.

6.1.3 Συνθετικά λιπαντικά

Τα λιπαντικά αυτής της κατηγορίας δεν προέχονται από το φυσικό πετρέλαιο, αλλά παράγονται συνθετικά.

Εφαρμόζονται σε περίπτωση που τα ορυκτέλαια δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των συνθηκών για τις οποίες προορίζονται. Η επιλογή των πρώτων υλών, αλλά και της διαδικασίας παραγωγής τους, επιτρέπουν την εξασφάλιση των ιδιοτήτων εκείνων, που μπορούν να ικανοποιήσουν τις ειδικές απαιτήσεις για κάθε περίπτωση λίπανσης. Παρά το υψηλό κόστος τους, η χρήση τους επεκτείνεται όλο και περισσότερο, γιατί το κόστος αυτό, αντισταθμίζεται από το κέρδος στη συντήρηση του κινητήρα και γενικότερα στην παράταση της ζωής του.

Από τα σπουδαιότερα είδη συνθετικών λιπαντικών είναι:

Εστέρες διβασικών οξέων

Πρόκειται για αλειφατικούς διεστέρες του γενικού τύπου:

$\text{ROOC}-(\text{CH}_2)_n-\text{COOR}$, από τους οποίους γνωστότερος είναι ο διισοοκτυλικός εστέρας του σεβακικού οξέος. Σπουδαιότερο προσόν τους είναι η εξαιρετική σταθερότητα του ιξώδους απέναντι στις μεταβολές της θερμοκρασίας, δηλαδή η πολύ μεγάλη τιμή του δείκτη ιξώδους. Έχουν επίσης ικανοποιητική χημική σταθερότητα, μικρή πτητικότητα και με τα πρόσθετα που περιέχουν δεν προκαλούν διαβρώσεις στα

μέταλλα. Το μειονέκτημα τους είναι ότι προσβάλλουν χρώματα και πλαστικά ή εξαρτήματα από λάστιχο, με τα οποία έρχονται σε επαφή. Χρησιμοποιούνται σε κινητήρες αεριωθουμένων αεροπλάνων, καθώς και για τη λίπανση ορισμένων οργάνων.

Οργανοφωσφορικοί εστέρες

Έχουν εξαιρετική λιπαρότητα και ικανοποιητικές τιμές δείκτη ιξώδους. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η ευπάθειά τους ως προς την υδρόλυση, από την οποία παράγεται το εξαιρετικό διαβρωτικό φωσφορικό οξύ. Έχουν καλή θερμική σταθερότητα ως τους 150°C. Χρησιμοποιούνται ως υδραυλικά έλαια.

Εστέρες του πυριτικού οξέος

Έχουν την καλύτερη τιμή δείκτη ιξώδους, δηλαδή τη μικρότερη μεταβολή ιξώδους με τη θερμοκρασία, από όλα τα συνθετικά λιπαντικά. Υστερούν και αυτά ως προς την ευπάθεια στην υδρόλυση, από την οποία παράγεται πυριτικό οξύ (SiO₂) που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές φθορές στους τριβείς τους οποίους λιπαίνουν. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή λιπαντικών λιπών (γράσσα) με μικρή πτητικότητα.

Σιλικόνες

Είναι ένα από τα γνωστά είδη συνθετικών λιπαντικών. Έχουν ως βάση προϊόντα πολυμερισμού των σιλοξανών, δηλαδή οργανοπυριτικών ενώσεων, από τις οποίες γνωστότερες είναι η διμεθυλοσιλαξόνη CH₃ SiO CH₃ και η μεθυλοφαινυλοσιλοξάνη CH₃ SiO C₆H₅.

Διακρίνονται για τα εξής χαρακτηριστικά:

- α) Εξαιρετικά υψηλές τιμές δείκτη ιξώδους
- β) Πολύ καλή αντοχή στην οξειδωση
- γ) Σταθερότητα στις υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 300 C)

Ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι ότι δεν αντέχουν σε μεγάλες πιέσεις που αναπτύσσονται από υψηλά φορτία τριβών και που μπορεί να προκαλέσουν την ζελατινοποίησή τους.

Στον Πίνακα 6.1 αναγράφονται τα κυριότερα γνωρίσματα και οι σπουδαιότερες εφαρμογές των συνθετικών λιπαντικών.

Ειδική κατηγορία συνθετικών λιπαντικών, είναι τα παραγόμενα με βάση συνθετικούς υδρογονάνθρακες, που προορίζονται για λίπανση MEK.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1

Κύρια χαρακτηριστικά των συνθετικών λιπαντικών

α/α	Είδος συνθετικού λιπαντικού	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						Εφαρμογές
		Σχέση ιξώδους & θερμοκρασίας	Αντοχή στην οξείδωση	Λιπαντικότητα	Θερμική σταθερότητα	Αντοχή στην υδρόλυση	Πτητικότητα	
1	Εστέρες Διβασικών οξέων	Πολύ Καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Μέτρια	χαμηλή	Λίπανση μηχανών αεριοθουμένων αεροπλάνων. Υδραυλικά υγρά. Λίπανση συσκευών και οργάνων. Γράσσο χαμηλής πτητικότητας
2	Εστέρες του φωσφορικού οξέος	Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Μέτρια	Μέτρια	Πολύ χαμηλή	Παρασκευή γράσων με χαμηλή πτητικότητα και μεγάλη λιπαντική ικανότητα
3	Εστέρες του Πυριτικού οξέος	Εξαιρετική	Μέτρια	Μέτρια	Εξαιρετική	Μέτρια	χαμηλή	Υγρά μεταφοράς θερμότητας. Υδραυλικά υγρά για υψηλές θερμοκρασίες
4	Σιλικόνες	Εξαιρετική	Εξαιρετική	Μέτρια	Καλή	Εξαιρετική	Πολύ χαμηλή	Λίπανση συσκευών, που απαιτούν ελάχιστη μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία. Παρασκευή γράσων μεγάλης αντοχής σε υψηλά φορτία

6.2 Γενικά για τα λιπαντικά των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.

Τα ορυκτέλαια που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των ΜΕΚ, εκτός από τα συνηθισμένα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά (ιξώδες, σημείο αναφλέξεως, σημείο ροής, σταθερότητα στη οξείδωση, σταθερότητα ιξώδους-θερμοκρασίας κλπ, των οποίων οι τιμές αναγράφονται στον πίνακα προδιαγραφών) πρέπει να έχουν και έντονες απορρυπαντικές ιδιότητες. Να μπορούν δηλαδή να απομακρύνουν από τις λιπαινόμενες επιφάνειες τα εξανθρακώματα που σχηματίζονται και επικάθονται σ' αυτές. Τα εξανθρακώματα αυτά σχηματίζονται συνήθως από την υπερθέρμανση του εμβόλου και έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών σ' αυτά, που οφείλονται στην κακή και ανομοιόμορφη μετάδοση της θερμότητας, την οποία προκαλούν τα

εξανθρακώματα. Για την αύξηση της απορρυπαντικότητας των λιπαντελαίων ΜΕΚ χρησιμοποιούνται κατάλληλα αντιρρυπαντικά πρόσθετα (detergents), που συμβάλλουν στη διατήρηση των επιφανειών των χιτωνίων και των εμβόλων καθαρών. Η υπερθέρμανση των εμβόλων εξάλλου, εκτός από τις ρωγμές μπορεί να προκαλέσει και “έκρηξη” στο στροφαλοθάλαμο, ιδίως όταν το λιπαντικό έλαιο περιέχει διαλυμένο καύσιμο από κακή λειτουργία των καυστήρων. Η “έκρηξη” στο στροφαλοθάλαμο αποφεύγεται με την καλή συντήρηση του κινητήρα ώστε οι καυστήρες να λειτουργούν ικανοποιητικά. Αποφεύγεται επίσης και με τη χρήση λιπαντικού καλής ποιότητας, δηλαδή ενισχυμένου με τα κατάλληλα αντιρρυπαντικά πρόσθετα, ώστε ο κινητήρας να διατηρείται καθαρός και να αποτρέπεται έτσι η υπερθέρμανση από τα εξανθρακώματα.

Εκτός από τα αντιρρυπαντικά πρόσθετα, τα λιπαντικά έλαια των Μ.Ε.Κ. ενισχύονται με :

- Βελτιωτικά δείκτη ιξώδους, που αυξάνουν την τιμή του δείκτη ιξώδους, δηλαδή περιορίζουν τη μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία.
- Αντιοξειδωτικά πρόσθετα, που περιορίζουν το βαθμό και την ταχύτητα οξειδώσεως, παρατείνοντας έτσι την χρήση τους.

Διακρίνονται **τρεις κατηγορίες λιπαντελαίων Μ.Ε.Κ.** :

α) Κοινά λάδια (regular): Χρησιμοποιούνται σε ολιγόστροφους κινητήρες με μικρά φορτία και γενικά όπου δεν προβλέπονται δυσμενείς συνθήκες λιπάνσεως. Τα έλαια αυτά δεν περιέχουν πρόσθετα.

β) Λάδια μερικώς ενισχυμένα (premium): Είναι ενισχυμένα με αντιοξειδωτικά πρόσθετα και επομένως κατάλληλα για τη λίπανση Μ.Ε.Κ. στις οποίες προβλέπονται συνθήκες με μέτρια καταπόνηση του λιπαντικού, τόσο από το φορτίο όσο και από τη θερμοκρασία. Στο εμπόριο φέρουν το συμβολισμό DG, όταν πρόκειται για λάδια πετρελαιοκινητήρων και MM όταν πρόκειται για λάδια βενζινοκινητήρων.

γ) Λάδια βαριών απαιτήσεων (heavy duty): Είναι ενισχυμένα με αντιοξειδωτικά και αντιρρυπαντικά πρόσθετα, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις πιο δυσμενείς συνθήκες λιπάνσεως, ως προς το φορτίο και τις θερμοκρασίες. Τα λάδια της κατηγορίας αυτής συμβολίζονται με MS για τους βενζινοκινητήρες, ενώ τα αντίστοιχα λάδια των κινητήρων Diesel συμβολίζονται με DS ή HD.

Ειδικότερα για τους πετρελαιοκινητήρες, ανάλογα με το τμήμα του πετρελαιοκινητήρα που πρόκειται να λιπάνουν, διακρίνονται σε:

α) Λάδια κυλινδρων ή κυλινδρέλαια (cylinder oils): Χρησιμοποιούνται μόνο για τη λίπανση των τοιχωμάτων των κυλινδρων, στις μηχανές εκείνες στις οποίες η λίπανση των κυλινδρων γίνεται χωριστά. Πρόκειται για τους κινητήρες με βάκτρο και ζύγωμα (crosshead engines), όπως είναι κατ' εξοχή οι αργόστροφες πετρελαιομηχανές που χρησιμοποιούνται στο εμπορικό ναυτικό.

β) Λάδια στροφαλοθαλάμων (crankcase oils): Χρησιμοποιούνται μόνο για τη λίπανση των τριβέων και την ψύξη των εμβόλων, και πάλι στις περιπτώσεις που η λίπανσή τους γίνεται χωριστά, ανεξάρτητα από τη λίπανση των κυλινδρων, δηλαδή στις αργόστροφες ναυτικές πετρελαιομηχανές.

Στις μικρές μηχανές μέσης και υψηλής ταχύτητας, που λειτουργούν χωρίς ζύγωμα, δηλαδή με διωστήρα (trunk piston engines), η λίπανση είναι ενιαία τόσο για τους κυλινδρους όσο και για τους τριβείς. Το δίκτυο λιπάνσεως είναι κοινό και η ποιότητα του λιπαντικού ενιαία, και καθορίζεται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Στις αργόστροφες ναυτικές πετρελαιομηχανές τα δίκτυα λιπάνσεως των κυλινδρων είναι ανεξάρτητα από το δίκτυο των τριβέων και φυσικά και τα λιπαντικά των δύο αυτών τμημάτων είναι διαφορετικά. Συνήθως τα κυλινδρέλαια είναι βαρύτερα από τα λάδια των ελαιοδεξαμενών (κάρτερ) και περισσότερο ενισχυμένα με αλκαλικά πρόσθετα για την εξουδετέρωση του θειικού οξέος που παράγεται κατά την καύση του πετρελαίου.

Η σύγκριση των ιδιοτήτων για τα λάδια κάρτερ σε σχέση με τα κυλινδρέλαια φαίνονται ενδεικτικά στον Πίνακα 6.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2

Σύγκριση βασικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων κινητήρων Diesel

Κύρια χαρακτηριστικά	Όρια τιμών	
	Λάδια κάρτερ	Λάδια κυλίνδρου
1) Ειδικό βάρος	0,885-0,881	0,943-0,948
2) Σημείο αναφλέξεως (Κ.Δ)	430-460oF (221-238oC)	500-510oF (260-265oC)
3) Σημείο ροής	5oF (-20oC)	0-10oF (-18 ως -12oC)
4) Ιξώδες		
α) SSU (100oF)	620-630	700-1100
SSU (210oF)	67-68	66-90
β) cSt (100oF)	133-135	150-235
cSt (210oF)	12-13	12-18
5) Δείκτη ιξώδους	88-90	73-85
6) Ολικός αριθμός βάσεως (TBN)	4-10	54-70

6.2.1 Απαιτήσεις λιπαντικών

Ο Πίνακας 6.3 απαριθμεί τις ιδιότητες που απαιτούνται από τα λιπαντικά των κινητήρων για να εκτελέσουν τις κύριες λειτουργίες των συστημάτων λίπανσης. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν να συνοψιστούν από τους ακόλουθους τίτλους:

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3

Απαιτούμενες ιδιότητες των λιπαντικών

ΚΥΡΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΠΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΕ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
Μείωση της αντίστασης τριβής	<p>A) Κατά τη διάρκεια κρύας εκκίνησης</p> <p>B) Μεταξύ εδράνων διωστήρα, στροφαλοφόρου και εδράνων. Μεταξύ εμβόλων ελατηρίων και κυλίνδρων.</p>	<p>A) Αρκετά χαμηλό ιξώδες ώστε να παρέχεται καλή άντληση.</p> <p>B) Το ελάχιστο ιξώδες χωρίς το ρίσκο της μέταλλο-με-μέταλλο επαφής υπό ποικίλες συνθήκες θερμοκρασίας, ταχύτητας περιστροφής και φορτίου.</p> <p>Γ) Επαρκώς υψηλό ιξώδες σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς και καλές λιπαντικές ιδιότητες εκτός υδροδυναμικών συνθηκών.</p>
Προστασία από διάβρωση και φθορά	<p>A) Κατά τη διάρκεια διακοπής λειτουργίας ή κατά τη διάρκεια λειτουργίας σε χαμηλές θερμοκρασίες.</p> <p>B) Σε κανονική λειτουργία.</p>	<p>A) Προστασία μεταλλικών επιφανειών από τη διαβρωτική δράση των προϊόντων της αποσύνθεσης του καυσίμου (νερό, SO₂, HBr, HCl).</p> <p>B) Αντίσταση στην αποσύνθεση (οξειδωση, θερμική σταθερότητα).</p> <p>Γ) Καταπολέμηση της δράσης των προϊόντων αποσύνθεσης του λιπαντικού και του καυσίμου.</p> <p>Δ) Μείωση των συνεπειών της αναπόφευκτης μέταλλο-με-μέταλλο επαφής.</p> <p>Ε) Αντίσταση στο σχηματισμό επικαθίσεων που θα επηρεάσουν τη λίπανση.</p> <p>Στ) Συνεισφορά στην εξάλειψη της σκόνης και άλλων συστατικών μόλυνσης.</p>
Συνεισφορά στη Στεγανοποίηση	Στην περιοχή των ελατηρίων.	<p>A) Επαρκές ιξώδες σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή πτητικότητα.</p> <p>B) Αποφυγή συνεισφοράς στο σχηματισμό επικαθίσεων στις αυλακώσεις των ελατηρίων και αποτροπή σχηματισμού τους.</p> <p>Γ) Περιορισμός του ελατηρίου.</p>
Συνεισφορά στην ψύξη	Κυρίως στα έμβολα, τα ελατήρια και τα έδρανα του διωστήρα.	<p>A) Καλή θερμική σταθερότητα και αντίσταση στην οξειδωση.</p> <p>B) Χαμηλή πτητικότητα.</p> <p>Γ) Το ιξώδες δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλό.</p>

Σταθερότητα οξειδωσης

Η θερμοκρασία του ελαίου και των μερών του κινητήρα που έρχεται σε επαφή, η παρουσία οξυγόνου, η φύση των μεταλλικών επιφανειών και των συντριμμίων και τα προϊόντα της καύσης του καυσίμου, όλα επηρεάζουν την οξειδωση των συστατικών υδρογονανθράκων των λιπαντικών. Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι ο κύριος παράγοντας και ο ανώτερος αύλακας ελατηρίου του εμβόλου και ο στροφαλοθάλαμος είναι οι κρίσιμες περιοχές. Η θερμοκρασία στον ανώτερο αύλακα ελατηρίου μπορεί εύκολα να φθάσει τους 250° C. Το λιπαντικό όταν υπόκειται σε αυτές τις συνθήκες δεν μπορεί, μέσω της οξειδωσης, να συνεισφέρει στο σχηματισμό επικαθίσεων, ακόμα και μετά από μεγάλες περιόδους λειτουργίας. Αυτά τα αποθέματα θα μπορούσαν τελικά να οδηγήσουν στο να κολλήσουν τα ελατήρια που οδηγούν σε υπερβολικό κτύπημα. Σε υψηλές θερμοκρασίες οι επικαθίσεις συσχετίζονται με το οξειδωμένο μέρος του ελαίου.

Η θερμοκρασία ελαίου στον στροφοθάλαμο είναι 120° C με 130° C ή υψηλότερη. Το λιπαντικό που διατηρείται σε αυτή τη θερμοκρασία δεν μπορεί ούτε να διαμορφώσει οποιαδήποτε όξινα προϊόντα ικανά να "επιτεθούν" στα κράματα του ρουλεμάν, ούτε να διαμορφώσει τα αδιάλυτα προϊόντα για το σχηματισμό επικαθίσεων. Τα καλής ποιότητας ορυκτέλαια δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις θερμοκρασίες, οπότε χρησιμοποιούνται αντιοξειδωτικές και αντιδιαβρωτικές πρόσθετες ουσίες για να ελέγξουν αυτά τα προβλήματα. Ενώ τα αντιοξειδωτικά βοηθούν στη μείωση του σχηματισμού αποθέματος, οι πρόσθετες ουσίες απορρυπαντικού/διαλυτικού απαιτούνται για να διατηρήσουν οποιαδήποτε αδιάλυτα υλικά που διαμορφώνονται μέσω της οξειδωσης σε αναστολή.

Διαλυτότητα

Εκτός από τις επικαθίσεις που διαμορφώνονται στο θάλαμο καύσης, οι επικαθίσεις στο λάδι ελέγχονται από την διαλυτότητά του. Το ποσό των επικαθίσεων που σχηματίζονται εξαρτάται από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται, την ποιότητα της καύσης, τη θερμοκρασία του λιπαντικού και του ψυκτικού μέσου και από την αποτελεσματικότητα της σφράγισης του αερίου στα ελατήρια του εμβόλου. Η διαλυτική ικανότητα δίνεται στα ορυκτέλαια από τις πρόσθετες ουσίες. Η λειτουργία της διαλυτικής πρόσθετης ουσίας είναι να μειωθεί το ποσό των επικαθίσεων που σχηματίζονται και να καταστεί η αφαίρεσή τους ευκολότερη.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες οι επικαθήσεις είναι κυρίως υποπροϊόντα της καύσης, και η διαλυτική λειτουργία είναι να τις κρατήσει σε διαθεσιμότητα και λύση με το λιπαντικό έλαιο. Σε υψηλές θερμοκρασίες οι επικαθήσεις προέρχονται από τα οξειδωμένα μέρη του ελαίου. Εδώ η διαλυτική λειτουργία είναι να κρατηθούν αυτά τα προϊόντα σε διαθεσιμότητα και να εμποδιστούν οι αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό βερνικόματος και λάκκων. Επιπλέον στους κινητήρες Diesel, η διαλυτικότητα βοηθά στην εξουδετέρωση των προϊόντων όξινης αντίδρασης από τις ενώσεις θείου στο καύσιμο.

Μείωση φθοράς

Η φθορά οφείλεται στα μεμονωμένα και συνδυασμένα αποτελέσματα της διάβρωσης, της προσκόλλησης (δηλαδή της επαφής μετάλλου προς μέταλλο) και τα γδαρσίματα.

Η διαβρωτική επίθεση από τα όξινα προϊόντα της καύσης είναι μια από τις κύριες αιτίες της φθοράς κυλίνδρων και ελατηρίων. Η επίδραση είναι χειρότερη για τις χαμηλές θερμοκρασίες των τοιχωμάτων των κυλίνδρων. Στους κινητήρες Diesel το θείο στο καύσιμο αυξάνει τη διαβρωτική φθορά. Η διαβρωτική φθορά αποτρέπεται αποτελεσματικά:

- Με τη χρήση των διαλυτικών ελαίων που εξουδετερώνουν τα διαβρωτικά οξέα.
- Με το σχεδιασμό του συστήματος ψύξης για να δώσει τις κατάλληλες θερμοκρασίες μετάλλων.

Η συγκολλητική φθορά έχει επιπτώσεις σε ορισμένα μέρη του κινητήρα. Στον ανώτερο κύλινδρο η μέταλλο προς μέταλλο επαφή μεταξύ εμβόλου, ελατηρίων και τοιχωμάτων του κυλίνδρου πραγματοποιείται κάθε φορά στην εκκίνηση του κινητήρα (κυρίως κατά τη διάρκεια της κρύας εκκίνησης) επειδή υπάρχει ανεπαρκές λιπαντικό στο υψηλότερο τμήμα του κινητήρα. Λιπαντικά με πρόσθετα κατά της φθοράς και χαμηλό ιξώδες στις χαμηλές θερμοκρασίες παρέχουν μια μερική θεραπεία. Η συγκολλητική φθορά εμφανίζεται σε τμήματα του κινητήρα όπως τα έκκεντρα, τα ωστήρια, τα γρανάζια κίνησης, τα ζύγωθρα βαλβίδων και τα στελέχη των βαλβίδων.

Το γδάρισμα προκύπτει από την παρουσία ατμοσφαιρικής σκόνης και τα μεταλλικά συντρίμια, από τη διαβρωτική και συγκολλητική φθορά εντός του λιπαντικού. Το αποδοτικό φιλτράρισμα του αέρα είναι επομένως το πιο σημαντικό. Επίσης σημαντική είναι και η αποβολή των ακαθαρσιών από το σύστημα λίπανσης μέσω φιλτραρίσματος και η περιοδική αλλαγή λιπαντικού.

Ιξώδες

Για χαμηλή αντίσταση στο λυγισμό, ευκολία εκκίνησης και γρήγορη διανομή λιπαντικού ενώ ο κινητήρας είναι κρύος, απαιτείται ένα χαμηλό ιξώδες ελαίου στις χαμηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες. Όταν ο κινητήρας (και το λάδι) θερμαίνονται πλήρως, το ιξώδες στην κατάλληλη κλίμακα είναι σημαντικό για την επαρκή σφράγιση του εμβόλου, την αποδεκτή κατανάλωση λιπαντικού και τις χαμηλές απώλειες τριβής. Επομένως το ιξώδες του λαδιού είναι σημαντικό και στις χαμηλές και στις κανονικές θερμοκρασίες μηχανών (περίπου 473° C). Το ιξώδες των λιπαντικών μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ελάχιστη θερμοκρασία ροής (pour point), το ιξώδες και ο δείκτης ιξώδους χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τη συμπεριφορά ενός λιπαντικού για αυτές τις πτυχές της λειτουργίας ενός κινητήρα.

Η ελάχιστη θερμοκρασία ροής (pour point) καθορίζεται με την ψύξη ενός δείγματος λιπαντικού σε ένα δοκιμαστικό δοχείο, καθώς το δοχείο περιστρέφεται από τον κατακόρυφο άξονα στον οριζόντιο, μέχρι καμία αντιληπτή μετακίνηση λαδιού να εμφανίζεται εντός 5sec. 5° C πάνω από αυτή τη θερμοκρασία ορίζεται η ελάχιστη θερμοκρασία ροής (pour point).

Το ιξώδες των λιπαντικών καθορίζεται με τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για έναν διευκρινισμένο όγκο λιπαντικού να περάσει έναν τριχοειδή σωλήνα ή ένα στόμιο, που βρίσκεται σε ένα λουτρό νερού σταθερής θερμοκρασίας.

Το κινηματικό ιξώδες ν ($\nu = \mu/\rho$) καθορίζεται με αυτή τη μέθοδο. Η χρήση ενός σωλήνα Saybolt με στόμιο διευκρινισμένης διαμέτρου είναι η τυποποιημένη πρακτική αμερικάνικης μέτρησης. Το ιξώδες δίνεται έπειτα από το χρόνο t (σε sec) που απαιτείται για να ρέουν 60 m³ λιπαντικού και εκφράζεται σε καθολικά δευτερόλεπτα Saybolt, SUS. Η κατά προσέγγιση μετατροπή σε centistokes (1centistoke= 10⁻⁶ m²/sec) μπορεί να ληφθεί ως:

$$\nu = at - b/t \quad (6.1)$$

όπου για:

- 34sec < t < 115, a=0,224 και b=185
- 115sec < t < 215, a=0,223 και b=155
- t > 215sec, a=0,2158 και b=0

Το ιξώδες των λιπαντικών μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Δεδομένου ότι τα λιπαντικά κινητήρων πρέπει να λειτουργήσουν πέρα από ένα εύρος θερμοκρασιών, ένα μέτρο του ποσοστού μείωσης είναι σημαντικό. Ο δείκτης ιξώδους,

ένας εμπειρικός αριθμός που δείχνει την επίδραση των αλλαγών θερμοκρασίας στο ιξώδες, χρησιμοποιείται για αυτό το λόγο. Ένας χαμηλός δείκτης ιξώδους δείχνει μια σχετική μεγάλη αλλαγή του ιξώδους με τη θερμοκρασία. Για να αυξηθεί ο δείκτης ιξώδους, τα λιπαντικά ενσωματώνουν πρόσθετες ουσίες, οι οποίες αποκαλούνται «βελτιωτές ιξώδους-δεικτών». Αυτές είναι ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους ($MB = 10^3$ με 10^4), των οποίων η αρχική λειτουργία είναι η μείωση της μεταβολής του ιξώδους με τη θερμοκρασία.

6.2.2 Κατάταξη των λιπαντικών ως προς το ιξώδες

Τόσο μεγάλη είναι η σημασία του ιξώδους ενός λιπαντικού, ώστε να αποτελεί βασικό γνώρισμα κατάταξης σε κατηγορίες, ανάλογα με την τιμή του. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται μια αυθαίρετη κλίμακα, γνωστή ως κλίμακα SAE. Την κλίμακα αυτή υπέδειξε η αμερικανική εταιρεία μηχανικών αυτοκινήτου (SAE : Society of Automotive Engineers) και μετά τις ΗΠΑ την υιοθέτησαν όλες σχεδόν οι χώρες του κόσμου. Η κλίμακα SAE, αρχίζει από το 5, που αντιστοιχεί σε ένα πολύ λεπτόρρευστο λάδι, κατάλληλο ίσως για λεπτούς ωρολογιακούς μηχανισμούς και καταλήγει στο 250, που είναι βαρύ παχύρρευστο λιπαντικό κατάλληλο για λίπανση οδοντωτών τροχών (γρανάζια). Η κλίμακα περιέχει μόνο ακέραια πολλαπλάσια του 10, εκτός από την τιμή SAE 5.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο αριθμός SAE ενός λιπαντικού δεν έχει καμιά σχέση με την ποιότητά του. Φανερώνει μόνο την τιμή του ιξώδους, και σε μερικές περιπτώσεις έμμεσα το δείκτη ιξώδους, όταν δίπλα στον αριθμό SAE υπάρχει η ένδειξη W, που προέρχεται από την αγγλική λέξη Winter (χειμώνας). Π.χ. ορυκτέλαιο με SAE 20, που ίσως είναι κατάλληλο για τη λίπανση μιας βενζινομηχανής στους θερινούς μήνες, στις χαμηλές θερμοκρασίες της χειμερινής περιόδου θα αποκτά ιξώδες τόσο υψηλό, που μπορεί να δυσχεραίνει την εκκίνηση του κινητήρα. Αντίθετα η ένδειξη SAE 20W φανερώνει λιπαντικό που και στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα διατηρεί το ιξώδες του στην κατάλληλη τιμή, ενώ στη μηχανή συμπεριφέρεται σαν κανονικό “εικοσάρι”. Αυτό επιτυγχάνεται:

- α) Με την επιλογή καταλλήλων πρώτων υλών.
- β) Ειδική επεξεργασία εξευγενισμού.

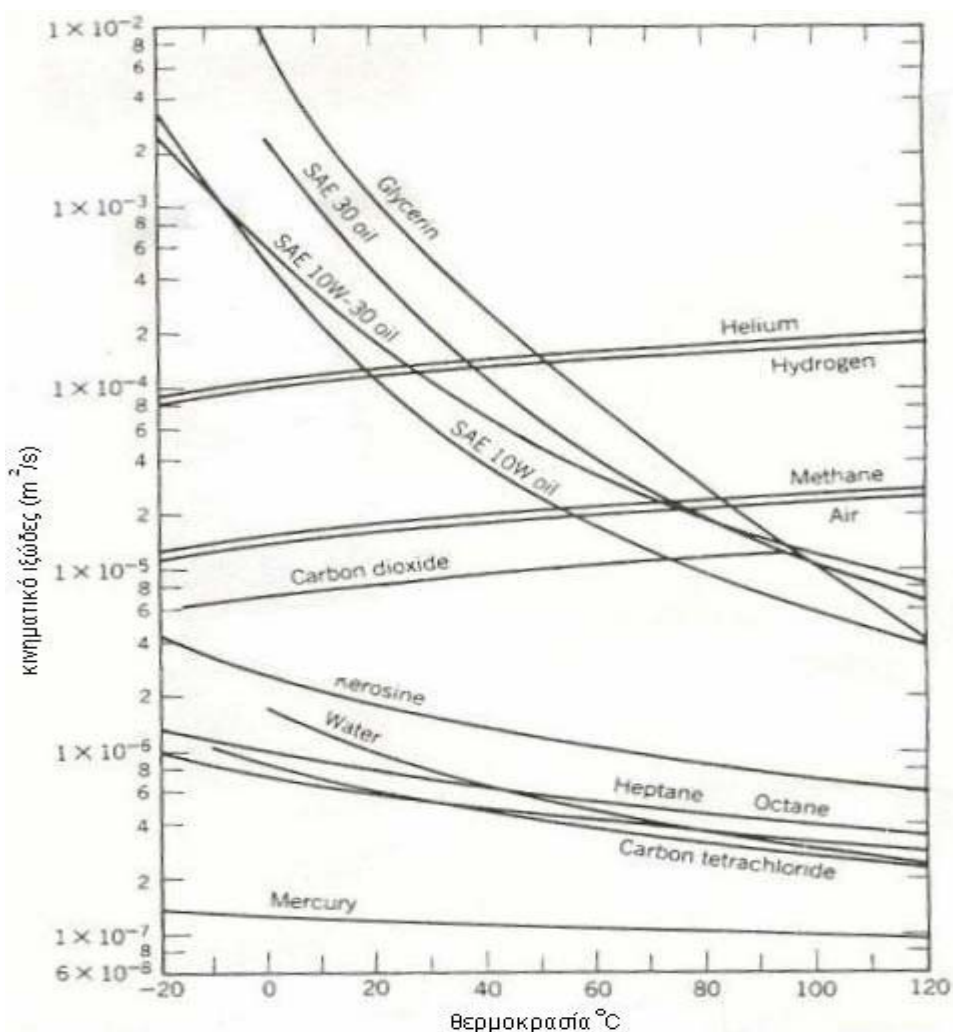
γ) Ανάμιξη με ειδικά χημικά πρόσθετα, που διατηρούν την τιμή του ιξώδους σχετικά σταθερή σε σχέση με τη θερμοκρασία. Αυτά είναι γνωστά ως βελτιωτικά δείκτη ιξώδους (V.I Improvers) και διευρύνουν σημαντικά το φάσμα τιμής ιξώδους

που ένα λιπαντικό μπορεί να καλύπτει.

Έτσι παράγονται τα λεγόμενα λιπαντικά πολλαπλού ιξώδους ή πολύτυπα λάδια (viscostatic ή multigrade), που καλύπτουν τιμές ιξώδους από SAE 10W μέχρι SAE 50.

Η αντιστοιχία των αριθμών της κλίμακας SAE προς τις τιμές ιξώδους φαίνεται στον Πίνακα 6.4.

Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζονται οι τιμές του κινηματικού ιξώδους διάφορων τυπικών λιπαντικών καθώς επίσης και ορισμένων ρευστών. Για τα λιπαντικά έλαια φαίνεται καθαρά η μείωση του ιξώδους με την αύξηση της θερμοκρασίας (ή την πτώση πίεσης).



Σχήμα 6.2: Κινηματικό ιξώδες κοινών ρευστών (σε ατμοσφαιρική πίεση) ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Λιπαντέλαια με SAE 10W μέχρι SAE 20 είναι γενικά λεπτόρευστα, κατάλληλα για χαμηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται ακόμα για τον καθαρισμό των δικτύων

λιπάνσεως, όταν αντικαθιστούμε το λιπαντικό. Η περιοχή SAE 30 μέχρι SAE 50 αντιστοιχεί σε λιπαντέλαια με μέσο και υψηλό ιξώδες κατάλληλα για τις ΜΕΚ. Ενώ η περιοχή SAE 70W μέχρι SAE 250 αντιστοιχεί σε λάδια που προορίζονται για τη λίπανση κιβωτίων ταχυτήτων και του διαφορικού (βαλβολίνες).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4

Σχέσεις αριθμών SAE και τιμής ιξώδους

Αριθμός SAE	Τιμή ιξώδους				Παρατηρήσεις
	cP (max)	Θερμοκρασία (°C)	cSt	Θερμοκρασία (°C)	
0 W	3250	-30	3.8(min)	100	
5 W	3500	-25	3.8(min)	100	
10 W	3500	-25	4.1(min)	100	Λιπαντέλαια
15 W	3500	-15	5.6(min)	100	ΜΕΚ
20 W	4500	-10	5.6(min)	100	
25 W	6000	-5	9.3(min)	100	
20	-		5.6-9.3	100	
30	-		9.3-12.5	100	
40	-		12.5-16.3	100	
50	-		16.3-21.9	100	Λιπαντικά
70 W	-		4.1(min)	100	Οδοντωτών
75 W	-		4.1(min)	100	τροχών
80 W	-		7(min)	100	
85 W	-		11(min)	100	
90	-		13.5-24	100	
140	-		24-41	100	
250	-		41(min)	100	

Από το έτος 1975 ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει καθιερώσει ένα νέο σύστημα ταξινόμησης των ορυκτελαίων, που έχει γίνει δεκτό από τις περισσότερες χώρες του κόσμου και τείνει να εκτοπίσει όλα τα παλαιότερα συστήματα.

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, που καλύπτεται από το πρότυπο ISO 3448, η ρευστότητα (ιξώδες) εκφράζεται σε μονάδες centistokes (cSt) σε θερμοκρασία 40° C, που είναι αντιπροσωπευτική των θερμοκρασιών λειτουργίας των λιπαντικών στις περισσότερες εφαρμογές.

Η ταξινόμηση ISO καθορίζει 18 κλάσεις ρευστότητας από 2 μέχρι 1500 cSt σε 40° C, που καλύπτουν όλα τα προϊόντα: από το πετρέλαιο ως τα βαριά κυλινδρέλαια. Η κάθε κλάση χαρακτηρίζεται και αριθμείται από το ιξώδες στο μέσο των ορίων της με επέκταση ± 10 από την τιμή αυτή. Π.χ. ISO 10, είναι προϊόν με ιξώδες σε 40° C από 9 μέχρι 11cSt, που αντιπροσωπεύεται με μέση τιμή 10cSt.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ταξινόμηση ISO είναι:

1. Περιλαμβάνει τον ελάχιστο αναγκαίο αριθμών κλάσεων (18) που καλύπτουν τις απαιτήσεις λιπάνσεως όλων των κατηγοριών μηχανών και μηχανημάτων.
2. Με τη διεθνή αναγνώριση του συστήματος ISO από τους κατασκευαστές των μηχανών και μηχανημάτων διευκολύνονται σημαντικά τόσο οι μηχανικοί όσο και οι προμηθευτές λιπαντικών στον καθορισμό του κατάλληλου για κάθε περίπτωση λιπαντικού.

6.3 Λιπαντικά κινητήρων Otto

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τρόπο λιπάνσεως μεταξύ των δίχρονων και τετραχρόνων των βενζινομηχανών, γι' αυτό η λίπανση των δύο αυτών κατηγοριών εξετάζεται χωριστά.

6.3.1 Δίχρονοι βενζινοκινητήρες

Η λίπανση των δίχρονων βενζινομηχανών γίνεται με μίγμα λαδιού με βενζίνη σε αναλογία 1:10 ως 1:25. Το μίγμα αυτό είναι έτοιμο από την αρχή, δηλαδή από την αποθήκη του καυσίμου, από όπου και αντλείται σαν καύσιμο προς τον εξαεριωτήρα. Κατά την εξαερίωση της βενζίνης, το λάδι που απομένει παρασύρεται με μορφή λεπτών σταγονιδίων, διοχετεύεται προς το στροφαλοθάλαμο και αποτίθεται σε όλες τις εσωτερικές επιφάνειες, λιπαίνοντας τα έδρανα και το κατώτερο τμήμα των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Μέρος του λαδιού μπαίνει μαζί με το καύσιμο στο θάλαμο καύσεως, όπου, αφού λιπάνει τον κύλινδρο, καίγεται τελικά μαζί με τη βενζίνη. Έτσι η λίπανση των συνηθισμένων τριβών δεν μπορεί να είναι ικανοποιητική. Γι' αυτό στις

δίχρονες βενζινομηχανές συνήθως χρησιμοποιούνται ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν).

Το σπουδαιότερο πρόβλημα που παρουσιάζει αυτός ο τρόπος λιπάνσεως των δίχρονων βενζινομηχανών είναι η ρύπανση των κυλίνδρων από τα εξανθρακώματα ή άλλα προϊόντα από την ατελή καύση του λαδιού που καίγεται μαζί με τη βενζίνη. Η ατελής καύση του λιπαντικού στις δίχρονες βενζινομηχανές φαίνεται εύκολα και από την έντονη οσμή και τον πυκνό καπνό που αφήνουν συχνά οι εξατμίσεις των κινητήρων αυτών. Το πρόβλημα αυτό κατά μεγάλο μέρος αντιμετωπίζεται με βενζίνη για την παρασκευή του τελικού μίγματος. Πρέπει τα λιπαντικά αυτά να συγκεντρώνουν, εκτός από τα άλλα, δύο κυρίως ιδιότητες:

- Να έχουν δηλαδή κατάλληλο ιξώδες.
- και να μην αφήνουν κατάλοιπα κατά την καύση.

Παρόλο που τις ιδιότητες αυτές συγκεντρώνουν κυρίως τα ναφθениκής βάσεως ορυκτέλαια, όμως χρησιμοποιούνται τα ορυκτέλαια με υψηλό δείκτη ιξώδους, που αποτελούν τη βάση παραγωγής λιπαντικών για δίχρονες βενζινομηχανές.

Παρά τα παραπάνω, η ατελής καύση και οι συνέπειες της στην ταχύτερη ρύπανση των κυλίνδρων στις δίχρονες βενζινομηχανές, που οφείλονται στον τρόπο λιπάνσεως, αποτελούν ένα γνωστό μειονέκτημα σε σύγκριση με τις τετράχρονες βενζινομηχανές. Αυτό αντισταθμίζεται από άλλα γνωστά πλεονεκτήματα που οι δίχρονες βενζινομηχανές παρουσιάζουν και κυρίως τη μεγαλύτερη ισχύ στον ίδιο όγκο. Σε πολλές περιπτώσεις τα λιπαντικά περιέχουν πρόσθετα που διατηρούν καθαρούς τους σπινθηριστές.

6.3.2 Τετράχρονοι βενζινοκινητήρες

Στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες η λίπανση γίνεται με αμιγές ορυκτέλαιο, του οποίου οι ιδιότητες καθορίζονται από τις σχετικές προδιαγραφές ανάλογα με την ποιότητά του. Σημαντικότερες είναι οι αμερικάνικες προδιαγραφές MIL-L-2104 και MIL-L-46152, με διεθνή αναγνώριση και εφαρμογή. Τα κύρια χαρακτηριστικά που οι προδιαγραφές αυτές καθορίζουν, αναγράφονται στους Πίνακες 6.5 και 6.6. Οι ίδιες προδιαγραφές ισχύουν για τη λίπανση κινητήρων Diesel.

Η λίπανση των βενζινοκινητήρων διακρίνεται σε:

- α) Λίπανση εδράνων
- β) Λίπανση κυλίνδρων
- γ) Λίπανση λοιπών μερών.

οι δύο εκ των οποίων εξετάζονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

Λίπανση εδράνων

Τα κύρια έδρανα όλων σχεδόν των βενζινοκινητήρων λιπαίνονται υπό πίεση, που μπορεί να υποβοηθείται με εκτίναξη. Τα έδρανα του στροφάλου και του διωστήρα μπορούν να λιπαίνονται κατά δυο τρόπους:

α) Υπό πίεση με διόδους μέσω του κύριου άξονα.

β) Με εμβάπτιση μέσα στο λιπαντικό της ελαιολεκάνης (κάρτερ) και από την εκτίναξη του λαδιού, που προκαλείται κατά την περιστροφή.

Τη λίπανση υποβοηθεί μια σειρά από ακροφύσια λαδιού, που έχουν κατάλληλη διάταξη και παίρνουν το λάδι από την αντλία τροφοδοτήσεως.

Λίπανση κυλίνδρων

Στους κυλίνδρους το λιπαντικό έχει διπλή αποστολή: την ψύξη του εμβόλου και τη λίπανση των τοιχωμάτων των κυλίνδρων.

Τα έμβολα ψύχονται με λάδι που εκτοξεύεται από διόδους δια μέσου του σώματος του διωστήρα και προέρχεται από τα κομβία του στροφάλου.

Τα τοιχώματα του κυλίνδρου λιπαίνονται με εκτίναξη του λαδιού του κάρτερ από τα αντίβαρα ζυγοσταθμίσεως του στροφαλοφόρου άξονα. Τα τοιχώματα μπορεί επίσης να λιπαίνονται με εκτίναξη λαδιού που προέχεται από τα κομβία των στροφάλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5

Προδιαγραφή λιπαντελαίων Μ.Ε.Κ. MIL-L-2104 C

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μέθοδος ASTM	SAE 10	SAE 30	SAE 40	SAE 50
1) Κινηματικό ιξώδες σε 100° C(cSt)	D445				
α) Ελάχιστη τιμή		5,7	9,6	12,9	16,8
β) Μέγιστη τιμή		7,5	12,9	16,8	22,7
2) Φαινόμενο ιξώδες σε 0° F(cp)	D2602				
α) Ελάχιστη τιμή		1200	-	-	-
β) Μέγιστη τιμή		2400	-	-	-
3) Δείκτη ιξώδους (min)	D2270	-	75	80	85
4) Σημείο ροής 0° F (max)	D97	-25	0	5	15
5) Σημείο αναφλέξεως 0° F (min)	D92	400	425	435	450

Παρατηρήσεις:

1) Εκτός από τα παραπάνω αναγράφονται οι τιμές των παρακάτω χαρακτηριστικών, για τα οποία η προδιαγραφή δεν καθορίζει όρια.

- Εξανθράκωμα (μέθοδος Ramsbottom, ASTM D524)
 - Ειδικό βάρος API (μέθοδος ASTM D287)
 - Περιεκτικότητα σε φωσφόρο (μέθοδος ASTM D1091)
 - Περιεκτικότητα σε χλώριο (μέθοδος ASTM D808)
 - Περιεκτικότητα σε θείο (μέθοδος ASTM D1552)
 - Θεική τέφρα ((μέθοδος ASTM D1552)
 - Οργανομεταλλικές ενώσεις (μέθοδος ASTM D811)
- 2) Από την προδιαγραφή επίσης προβλέπονται δοκιμές αναφερόμενες σε:
- Αφρισμό
 - Σταθερότητα
 - Αναμιξιμότητα με λιπαντέλαια, που έχουν παρόμοιες προδιαγραφές (MIL-L-46152, MIL-L-21260 κλπ.).
 - Μηχανικές δοκιμές που να εξασφαλίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην πράξη (παραγρ. 18.15).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6

Προδιαγραφή λιπαντελαίων Μ.Ε.Κ. MIL-L-46152 Β

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μέθοδος ASTM	SAE				
		10W	30	5W-20	10W-30	15W-40
1) Κινηματικό ιξώδες σε 100° C(cSt)	D445					
α) Ελάχιστη τιμή		5,6	9,3	5,6	9,3	12,5
β) Μέγιστη τιμή		7,4	12,5	9,3	12,5	16,3
2) Φαινόμενο ιξώδες,(cp)	D2602					
α) Ελάχιστη τιμή		3500 (σε-25°)	-	3250 (σε-30°)	3500 (σε-25°)	3500 (σε-20°)
β) Μέγιστη τιμή		3500 (σε-20°)	-	3500 (σε-25°)	3500 (σε-20°)	3500 (σε-15°)
3) Όρια αντλητικότητας 0° C(max)	D3829	-25	-	-30	-25	-20
4) Δείκτης ιξώδους (min)	D2270	αναφέ- ρεται	75	αναφέ- ρεται	αναφέ- ρεται	αναφέ- ρεται
5) Σημείο ροής 0° C (min)	D97	-32	-18	-40	-32	-23
6) Σημείο αναφλέξεως 0° C (min)	D92	205	200	205	205	215
7) Περιεκτικότητα σε φωσφόρο %κ.β. (max)	D1091	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

Παρατηρήσεις:

- 1) Εκτός από τα παραπάνω αναγράφονται οι τιμές των παρακάτω χαρακτηριστικών, για τα οποία οι προδιαγραφές δεν καθορίζουν όρια:
- Ειδικό βάρος, API (μέθοδος ASTM D287)
 - Εξανθράκωμα (ASTM D524 - μέθοδος Ramsbottom)
 - Θείο (μέθοδος ASTM D1552)
 - Θεική τέφρα (ASTM D874)
 - Μεταλλικά στοιχεία (ASTM D811)
- 2) Από την προδιαγραφή προβλέπονται επίσης δοκιμές αναφερόμενες σε:
- Αφρισμό
 - Σταθερότητα
 - Αναμιξιμότητα με άλλα παρομοίων προδιαγραφών λιπαντέλαια, (MIL-L-2104, MIL-L-21260, MIL-L-46167 κλπ.).
 - Μηχανικές δοκιμές που να εξασφαλίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην πράξη.

Εκτός από τα απορρυπαντικά, τα λιπαντικά των βενζινοκινητήρων ενισχύονται:

- Με αντιοξειδωτικά πρόσθετα που παρατείνουν την ζωή τους και
- με βελτιωτικά δείκτη ιξώδους (V.I.Improvers) που διευρύνουν τα όρια

θερμοκρασιών, στις οποίες τα λιπαντικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιούνται. Τα λάδια αυτά είναι γνωστά ως multigrade ή viscostatic και φυσικά είναι ακριβότερα. Έτσι, το λάδι SAE 20 δεν εξασφαλίζει εύκολη εκκίνηση του κινητήρα στις θερμοκρασίες κάτω από -10°C , επειδή αυξάνεται πολύ το ιξώδες. Το αντίστοιχο λάδι με βελτιωτικό δείκτη ιξώδους με ένδειξη SAE 20 W στη συνηθισμένη θερμοκρασία συμπεριφέρεται σαν SAE 20, σε χαμηλές όμως θερμοκρασίες δεν αυξάνει το ιξώδες του πάρα πολύ, επιτρέποντας εύκολα την εκκίνηση του κινητήρα ως τους -20°C .

Πολύ πλατύτερα όρια θερμοκρασιών λειτουργίας καλύπτουν τα ορυκτέλαια πολλαπλού τύπου π.χ. SAE 10W/50, που, χάρη στα πρόσθετα που περιέχουν καλύπτουν τις απαιτήσεις ιξώδους της κλίμακας SAE από SAE 10 W ως SAE 50.

6.4 Λιπαντικά κινητήρων Diesel

Η λίπανση των πετρελαιοκινητήρων, 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 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. Αντίθετα, στις βαριές αργόστροφες μηχανές Diesel του εμπορικού ναυτικού που έχουν ζύγωμα (crosshead engines), έχουμε δυο δίκτυα λιπάνσεως με διαφορετικό λιπαντικό: ένα για τους κυλίνδρους και ένα για τους τριβείς.

6.4.1 Προδιαγραφές λιπαντελαίων κινητήρων Diesel

Η ποιότητα των λιπαντελαίων που προορίζονται για τις μηχανές Diesel, καλύπτεται από διεθνείς προδιαγραφές που εκδίδουν διάφοροι κρατικοί οργανισμοί, όπως:

α) Στις ΗΠΑ οι στρατιωτικές προδιαγραφές.

- MIL-L-2104
- MIL-L-46152
- MIL-L-45199
- MIL-L-21260
- MIL-L-9000

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δύο πρώτων προδιαγραφών, δηλαδή του (MIL-L-2104 και MIL-L-46152) αναγράφονται αντίστοιχα στους Πίνακες 6.5 και 6.6.

Χαρακτηρίζονται συνήθως με γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου , κλπ. που δείχνουν την εξέλιξη της προδιαγραφής με την πάροδο του χρόνου.

β) Στη Μεγάλη Βρετανία.

- DEF-2101
- OMD-112
- OMD-113

γ) Στη Γερμανία.

- Οι προδιαγραφές DIN

Προδιαγραφές όμως εκδίδουν και οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες (Ford,

General Motors, Caterpillar, Fiat κλπ.) τις οποίες συνιστούν στους πελάτες τους.

Γενικότερα όμως, οι κατασκευαστές όλων των πετρελαιομηχανών, στα εγχειρίδια λειτουργίας, που συνοδεύουν κάθε κινητήρα, καθορίζουν τους τύπους των λιπαντικών που συνιστούν ιδιαίτερα, σαν το καταλληλότερο για κάθε περίπτωση. Ο μηχανικός είναι υποχρεωμένος να συμμορφώνεται σχολαστικά ως προς τον τύπο του λιπαντικού που ο κατασκευαστής υποδεικνύει, όχι όμως και ως προς την εταιρεία παραγωγής των λιπαντικών. Με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υποδεικνυόμενου λιπαντικού, θα πρέπει να αναζητεί το προϊόν της εταιρίας εκείνης, που συνδυάζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα ως προς την ποιότητα, το κόστος και την αξιοπιστία της εταιρίας.

Εκτός από τα συνηθισμένα ορυκτέλαια για τη λίπανση των κυλίνδρων χρησιμοποιούσαν στο παρελθόν και γαλακτώματα, δηλαδή διασπορά σε μια φάση λαδιού σε νερό. Το νερό έχει τη δυνατότητα να συγκρατεί σε διάλυση μεγάλα ποσά υδατοδιαλυτών αλκαλικών προσθέτων, που μπορούν να εξουδετερώσουν αποτελεσματικά τα όξινα προϊόντα της καύσεως. Έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα να διατηρούν τον κύλινδρο σε πολύ καθαρότερη κατάσταση σε σύγκριση με τα αμιγή ορυκτέλαια. Μειονεκτούν όμως κατά την ευπάθεια που παρουσιάζουν στο διαχωρισμό των δύο φάσεων. Στην αγορά κυκλοφορούν με διάφορα εμπορικά ονόματα, όπως είναι π.χ. το Alexia oil της εταιρίας Shell, Tro - Mar DX της ESSO κλπ. Σήμερα όμως έχουν βρεθεί πρόσθετα που διαλύονται στα ορυκτέλαια και τους προσδίδουν υψηλές τιμές TBN.

6.4.2 Νεότερες εξελίξεις στη λίπανση των πετρελαιοκινητήρων

Η ποιότητα των βαριών καυσίμων με βάση το μαζούτ, που χρησιμοποιούνται σήμερα στις ναυτικές πετρελαιομηχανές, γίνεται ολοένα και χαμηλότερη, στην προσπάθεια να εξασθαισθούν πιο φθηνά καύσιμα. Αυτό αποβλέπει στη μείωση του κόστους των θαλασσίων μεταφορών και στον αποτελεσματικότερο ανταγωνισμό των μεταφορών γενικότερα, έχει όμως δυσμενείς επιπτώσεις στη λειτουργία και στη συντήρηση των μηχανών.

Οι σημαντικότερες από τις ιδιότητες των βαριών καυσίμων, που σήμερα χρησιμοποιούνται στις μηχανές Diesel, είναι:

1. Η περιεκτικότητα σε θείο, που μπορεί να φθάσει μέχρι 5%. Το παραγόμενο κατά την καύση θειικό οξύ αποτελεί σοβαρό κίνδυνο διαβρώσεων, αν δεν αντιμετωπισθεί κατάλληλα.

2. Η ποιότητα καύσεως, δηλαδή ο αριθμός κετανίου, που στα βαριά καύσιμα είναι γενικά πολύ χαμηλός (CN 20) και αυξάνει την καθυστέρηση αναφλέξεως. Αυτό έχει ως συνέπεια μεγαλύτερο θόρυβο καύσης, που οφείλεται σε απότομη αύξηση της πίεσεως μετά την ανάφλεξη, και περισσότερη ρύπανση από τα προϊόντα ατελούς καύσεως.

3. Το ειδικό βάρος, που μπορεί να φθάσει το 1, δημιουργεί προβλήματα απομακρύνσεως του νερού κατά το φυγοκεντρικό διαχωρισμό.

4. Η αστάθεια του καυσίμου, μπορεί να οδηγήσει σε αποχωρισμό ασφαλικών καταλοίπων, που δημιουργούν προβλήματα κατά την καύση. Αυτή οφείλεται κυρίως στο ότι κατά τη διέλευση των ασφαλικών καταλοίπων από τους καυστήρες μεταβάλλεται η γωνία εκτοξεύσεως του πετρελαίου από τους καυστήρες και το βάθος διεισδύσεως στο θάλαμο καύσεως, με συνέπεια να παρατηρούνται θερμοκρασίες υψηλότερες από τις κανονικές.

Τα προβλήματα αυτά, που προκαλούνται από τη χαμηλή ποιότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές, μπορούν να αντιμετωπισθούν με δυο κυρίως τρόπους:

1. **Με καλύτερη σχεδίαση και κατασκευή των μηχανών**, κυρίως στους παρακάτω τομείς:

- Στο σύστημα εγχύσεως του καυσίμου
- Στο σχήμα και τις διαστάσεις του θαλάμου καύσεως
- Στη θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα, με κατάλληλη προθέρμανση
- Στη βελτίωση των στροβιλοφυσητήρων, ώστε να παρέχουν περισσότερο αέρα και μάλιστα με κατάλληλο στροβιλισμό, ώστε να εξασφαλίζει καλύτερη καύση.
- Στη χρησιμοποίηση καλύτερης ποιότητας υλικών για την κατασκευή των εμβόλων, των ελατηρίων, των χιτωνίων, των βαλβίδων κλπ.

2. **Με τη βελτίωση της ποιότητας των λιπαντικών**, κυρίως ως προς τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Καλύτερη και αποτελεσματικότερη αντιρρυπαντικότητα, ώστε να απομακρύνονται εύκολα όλα τα ανθρακούχα κατάλοιπα που αποβάλλονται από τα καύσιμα. Αυτό κατορθώνεται με ενίσχυση των λιπαντελαίων με περισσότερα αντιρρυπαντικά πρόσθετα (detergents).
- Μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα, για να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι αυξημένες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση των βαριών καυσίμων. Για το σκοπό αυτό τα λιπαντικά των εδράνων ενισχύονται με αντιοξειδωτικά

πρόσθετα, που εμποδίζουν την αλλοίωσή τους από την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών.

➤ Αυξημένη αλκαλικότητα, αρκετή ώστε να εξουδετερώνεται όλο το θειικό οξύ που παράγεται από την καύση των θειούχων ενώσεων που περιέχουν τα βαριά καύσιμα. Η τιμή του TBN προκειμένου για κυλινδρέλαια κυμαίνεται σήμερα γύρω στο 70, με τάση να φθάσει το 100. Στις μηχανές με ζύγωμα, όταν έχουν κοινό δίκτυο λιπάνσεως για τους κυλίνδρους και για τα έδρανα, η ολική αλκαλικότητα του λιπαντελαίου (TBN) κυμαίνεται από 25 ως 30.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αύξηση του αριθμού βάσεως (TBN), που προέρχεται από την αύξηση της αναλογίας των αλκαλικών προσθέτων, δεν είναι απλή υπόθεση. Απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή από τις βιομηχανίες που παράγουν ορυκτέλαια για τη λίπανση των πετρελαιοκινητήρων.

Η υψηλή περιεκτικότητα των αλκαλικών προσθέτων, μπορεί να έχει τις ακόλουθες ανεπιθύμητες συνέπειες:

1. Σχηματισμό γαλακτωμάτων με το νερό, που αναπόφευκτα αναμιγνύεται με το λάδι. Από τα γαλακτώματα αυτά το νερό δύσκολα αποχωρίζεται, πράγμα που είναι εντελώς ανεπιθύμητο για τη μηχανή.

2. Δυσχέρειες στο φιλτράρισμα του λαδιού, που οφείλονται στην επίδραση των αλκαλικών προσθέτων στα προϊόντα της οξειδώσεως, στα προϊόντα της επιδράσεως του νερού και στο σχηματισμό γαλακτώματος.

3. Υδρόλυση των χημικών προσθέτων, από την οποία παράγονται ανόργανα συστατικά (π.χ. ασβεστίου) που στα αλκαλικά πρόσθετα υπήρχαν σε μορφή οργανομεταλλικών ενώσεων. Με την υδρόλυση επέρχεται μια πολύ γρήγορη μείωση του αριθμού βάσεως (TBN) του λιπαντικού, και έτσι η εξουδετέρωση των οξίνων συστατικών των καυσαερίων (SO₂, NO_x κλπ.) είναι αμφίβολη.

Τα παραπάνω προβλήματα μελετώνται ήδη προσεκτικά από τους κατασκευαστές λιπαντελαίων για τις Μ.Ε.Κ., ώστε ο αριθμός TBN, που τόσο μεγάλη σημασία έχει για την ποιότητά τους, να μπορεί να διατηρείται υψηλός χωρίς το ενδεχόμενο να εμφανισθούν τα προβλήματα αυτά κατά τη χρήση του λαδιού στη μηχανή.

➤ Αντοχή στην πίεση, που οφείλεται στα υψηλά φορτία των συγχρόνων αργοστροφών μεγάλης ιπποδυνάμεως ναυτικών πετρελαιομηχανών. Από την ιδιότητα αυτή εξαρτάται η διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης στα λιπαινόμενα μέρη του κινητήρα. Και η ιδιότητα αυτή εξασφαλίζεται με την προσθήκη καταλλήλων χημικών προσθέτων.

Και οι δυο αυτοί παράγοντες: ποιότητα λιπαντικών, σχεδίαση – κατασκευή του κινητήρα, πρέπει να συνεργάζονται κατάλληλα, ώστε να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά τα δυσμενή αποτελέσματα από τη χρήση των χαμηλής ποιότητας, αλλά φθηνών καυσίμων στις σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές.

Βιβλιογραφία

- 1) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1988), «Αρχές εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Εισαγωγή–Λειτουργία–Θερμοδυναμική», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 2) Κ. Δ. Ρακόπουλος (2000), «Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης II. Εμβάθυνση στην κατασκευή και λειτουργία», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 3) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1994), «Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 4) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας (1998), «Καύση ρύπανση εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 5) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής (2006), «Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση ΜΕΚ», Εκδόσεις ΕΜΠ.
- 6) Ferguson C.R., Kirkpatrick A.T. (2001), «Internal combustion engines: applied thermosciences», 2nd edition, New York, Wiley.
- 7) Heywood J.B. (1988), «Internal combustion engine fundamentals», New York, McGraw-Hill.
- 8) Lilly LRC. (1984), «Diesel engine reference book», London, Butterworths.
- 9) Taylor C. F.(1985), «The internal combustion engine in theory and practice», Vol. 2, (MIT Press, Cambridge, MA).
- 10) Borman G. and Nishiwaki K. (1987), «Internal-combustion engine heat transfer, Progress in Energy and Combustion Science», Vol. 13, pp. 1-46.

- 11) Leeming D.J. and Hartley R. (1981), «Heavy vehicle technology», 2nd edition, Stanley Thorn Ltd.
- 12) Stone C. R. (1999), «Introduction to Internal Combustion Engines», 3rd edition, Macmillan Press, London.
- 13) Τ. Παπαευαγγέλου (1998), «Καύσιμα και λιπαντικά», 4^η Έκδοση, Εκδόσεις «Ίδρυμα Ευγενίδου», Εκπαιδευτικό Κείμενο Α.Δ.Σ.Ε.Π..
- 14) Internet sites:
1. <http://www.wikipedia.org>
 2. <http://www.dieselnet.com>
 3. <http://www.britanica.com>
 4. <http://www.carttech.com/news>
 5. <http://www.insaco.com/MatPages>
 6. <http://www.ultrasonic.de>
 7. <http://www.tokyo-radiator.co.jp/seihin/egr.html>
 8. <http://www.lubricants.elf.com/lub/contet>
 9. <http://www.machinedesign.com>
 10. <http://www.aa1car.com/library>
 11. <http://www.engineersedge.com>
 12. <http://www.pumpschool.com>