



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**« ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΜΕΚ »**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΠΟΥΛΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΜ: 6686  
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΒΟΥΤΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΜ: 6846

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΥΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται ως « Λίπανση και λιπαντικά κινητήρων ΜΕΚ ».

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή Μαυρίδη Κωνσταντίνο, ο οποίος μας εμπιστεύτηκε για αυτή την εργασία.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουν επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής  
ΜΠΟΥΛΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

.....

Ο σπουδαστής  
ΒΟΥΤΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

.....

.....

(Υπογραφή) (Υπογραφή)





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα λιπαντικά των κινητήρων καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα που χαρακτηρίζονται από τους τύπους των κινητήρων, το καύσιμο που χρησιμοποιείται, τη διαδικασία καύσης και το σέρβις του κινητήρα. Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες αποτελούνται από μείγματα βασικών λιπαντικών, τα οποία διακρίνονται από το ιξώδες τους, και τα πρόσθετα απόδοσης. Τα βασικά λιπαντικά έλαια μπορεί να είναι με βάση το πετρέλαιο (ορυκτέλαια), συνθετικά παραγόμενα ή φυσικά φυτικά έλαια. Τα πρόσθετα απόδοσης καλύπτουν μια σειρά τύπων όπως, κατασταλτικά του σημείου ροής, τροποποιητές του ιξώδους, αντιοξειδωτικά, αναστολείς της φθοράς, διασκορπιστικά, απορρυπαντικά, βασικά πρόσθετα, τροποποιητές της τριβής, παράγοντες ακραίας πίεσης, αναστολείς της σκουριάς, αναστολείς της διάβρωσης κ.λπ. Το πρώτο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναφέρεται στη γενική περιγραφή των λιπαντικών, καθώς και στα βασικά τους τμήματα και το μερίδιό τους στην αγορά σήμερα. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται πιο εξειδικευμένα στη χρήση και τη σημαντικότητα των λιπαντικών στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στη βιβλιογραφική έρευνα γύρω από το θέμα των λιπαντικών και το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στα σύντομα συμπεράσματα της εργασίας.

## ABSTRACT

Engine lubricants cover a wide range of engine types, fuel used, combustion process and engine service. Lubricants used in engines consist of mixtures of basic lubricants, which are distinguished by their viscosity, and performance additives. Basic lubricating oils can be petroleum based (mineral oils), synthetically produced or natural vegetable oils. Performance additives cover a range of types such as, flow point suppressors, viscosity modifiers, antioxidants, wear inhibitors, dispersants, detergents, basic additives, abrasion modifiers, extreme pressure agents, rust inhibitors, etc inhibitors, etc. The first chapter of this dissertation deals with the general description of lubricants, as well as their basic parts and their market share today. The second chapter deals more specifically with the use and importance of lubricants in internal combustion engines. The third chapter refers to the literature research on the subject of lubricants and the fourth chapter refers to the brief conclusions of the study.

# Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>- 13 -</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	- 13 -
1.2 ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ.....	- 14 -
1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ.....	- 17 -
1.4 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΑ.....	- 19 -
1.5 ΡΕΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ.....	- 23 -
1.5.1 Βαθμοί ιξώδους.....	- 26 -
1.6 ΒΑΣΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ.....	- 27 -
1.6.1 Βασικά λιπαντικά .....	- 27 -
1.6.2 Συνθετικά βασικά λιπαντικά .....	- 29 -
1.7 ΙΣΤΟΡΙΚΟ .....	- 32 -
<b>2. ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....</b>	<b>- 34 -</b>
2.1 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	- 34 -
2.1.1 Βαθμοί ιξώδους.....	- 37 -
2.1.2 Προδιαγραφές απόδοσης .....	- 38 -
2.1.3 Σύνθεση λιπαντικών κινητήρα .....	- 39 -
2.1.4 Βελτιωτικά του ιξώδους .....	- 41 -
2.1.5 Δοκιμή του κινητήρα .....	- 41 -
2.1.6 Λιπαντικά κινητήρων επιβατικών αυτοκινήτων .....	- 42 -
2.1.7 Λιπαντικά κινητήρων επαγγελματικών οχημάτων .....	- 43 -
2.2 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	- 45 -
2.2.1 Λάδια για δίχρονους εξωλέμβιους κινητήρες.....	- 48 -
2.2.2 Φιλικά προς το περιβάλλον δίχρονα λιπαντικά .....	- 49 -



2.3	ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΡΑΚΤΕΡ .....	- 49 -
2.4	ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ .....	- 51 -
2.5	ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΣΑΣΜΑΝ .....	- 53 -
2.6	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ .....	- 57 -
3.	<i>ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΙΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ...</i>	<i>- 60 -</i>
3.1	ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ .....	- 60 -
3.2	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΣΗ .....	- 61 -
3.3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ .....	- 67 -
3.3.1	Αντλία λαδιού .....	- 70 -
4.	<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i> .....	<i>- 75 -</i>
	<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i> .....	<i>- 78 -</i>



## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Πρόσθετα απόδοσης .....	- 40 -
Πίνακας 2.2: ΥΤΤΟ και ΣΤΟΥ λιπαντικά .....	- 50 -

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Η αγορά των λιπαντικών σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους (προβλέψεις για το έτος 2023) (statista, 2021) .....	- 15 -
Εικόνα 1.2: Παγκόσμια αγορά λιπαντικών και κατανάλωση (ipsos., 2021) .....	- 16 -
Εικόνα 1.3: Τριβολογικό σύστημα (Wimmer M., Grad S., Kaup T., Hänni M., 2004)-	20 -
Εικόνα 1.4: Εισαγωγή λιπαντικού σε κινητήρα αυτοκινήτου (enginebuildermag, n.d.) .-	25 -
Εικόνα 2.1: Φίλτρο λαδιού (kaman, n.d.) .....	- 35 -
Εικόνα 2.2: Σύστημα λίπανσης σε κινητήρα (learnmech, n.d.) .....	- 36 -
Εικόνα 2.2: Χρήση λιπαντικού σε κιβώτιο ταχυτήτων (directindustry, n.d.) .....	- 55 -
Εικόνα 3.1: Αναπαράσταση ψεκασμού λαδιού σε πιστόνι ( <a href="https://www.youtube.com/watch?v=mmmcyj53TNic&amp;ab_channel=AutomotiveSystem">https://www.youtube.com/watch?v=mmmcyj53TNic&amp;ab_channel=AutomotiveSystem</a> , n.d.) .....	- 64 -
Εικόνα 3.2: Σύστημα λίπανσης κινητήρα .....	- 69 -
Εικόνα 3.3: Εσωτερικό αντλίας λαδιού κινητήρα εσωτερικής καύσης αυτοκινήτου (blog.beforward.jp, n.d.) .....	- 71 -
Εικόνα 3.4: Προσομοίωση λειτουργίας αντλίας λαδιού (hemmings, n.d.) .....	- 72 -

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το κύριο καθήκον και η πιο σημαντική λειτουργία των λιπαντικών είναι η μείωση της τριβής και η προσφορά προστασίας από τη φθορά, η οποία επεκτείνει τους χρόνους λειτουργίας της μηχανής και έτσι προστατεύει τις πρώτες ύλες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η σχετική κίνηση δύο επιφανειών εδράνου είναι δυνατή μόνο εάν υπάρχει λιπαντικό. Επί του παρόντος, όταν η βιωσιμότητα έχει γίνει κινητήρια δύναμη στον κλάδο, η εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων καθώς και η μείωση των εκπομπών έχουν γίνει κεντρικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Ως εκ τούτου, η έλλειψη πόρων και η ευθύνη απέναντι στις μελλοντικές γενιές αποτελούν επίσης ιδιαίτερο επίκεντρο της εταιρικής δράσης. Τα λιπαντικά προσελκύουν όλο και περισσότερο την ευαισθητοποίηση του κοινού, επειδή υποστηρίζουν στόχους βιωσιμότητας σε οικονομικούς, οικολογικούς και «κοινωνικούς τομείς. Τα λιπαντικά συμβάλλουν στη φειδωλή χρήση των πόρων και ως εκ τούτου στη βιωσιμότητα. Η αποστολή τους για μείωση της τριβής μειώνει την ποσότητα της απαιτούμενης ενέργειας και με αυτόν τον τρόπο εξοικονομεί εκπομπές.

Το καθήκον τους για προστασία από τη φθορά επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και εξοικονομεί πόρους. Η επιστημονική έρευνα έχει δείξει ότι έως και 1% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος θα μπορούσε να εξοικονομηθεί από την άποψη της ενέργειας στις δυτικές βιομηχανικές χώρες, εάν η τρέχουσα τριβολογική γνώση, δηλαδή η επιστήμη της τριβής, της φθοράς και της λίπανσης, εφαρμοστεί μόνο σε διαδικασίες λίπανσης.

Εκτός από σημαντικές εφαρμογές σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, κιβώτια ταχυτήτων οχημάτων και βιομηχανίες, συμπιεστές, τουρμπίνες ή υδραυλικά συστήματα, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός άλλων εφαρμογών που απαιτούν κυρίως ειδικά προσαρμοσμένα λιπαντικά. Αυτό καταδεικνύεται από τους πολυάριθμους τύπους γράσων ή των διαφορετικών λιπαντικών για εργασίες μορφοποίησης και επεξεργασίας των μετάλλων που είναι διαθέσιμα. Περίπου 5.000–10.000 διαφορετικές λιπαντικές συνθέσεις είναι απαραίτητες για να ικανοποιηθεί περισσότερο από το 90% όλων των εφαρμογών των λιπαντικών.

Αν σκεφτεί κανείς λιπαντικά σήμερα, ο πρώτος τύπος που έρχεται στο μυαλό ως λιπαντικό είναι το ορυκτέλαιο. Το ορυκτέλαιο συνεχίζει να αποτελεί ποσοτικά το πιο σημαντικό συστατικό των λιπαντικών. Τα πετροχημικά συστατικά και τα αυξανόμενα παράγωγα φυσικών, συλλεκτικών πρώτων υλών από την ελαιοχημική βιομηχανία βρίσκουν ολοένα και μεγαλύτερη αποδοχή λόγω της περιβαλλοντικής τους συμβατότητας και ορισμένων τεχνικών πλεονεκτημάτων.

Κατά μέσο όρο, τα λιπαντικά αποτελούνται από περίπου 90% βασικά λάδια και 10% χημικά πρόσθετα και άλλα συστατικά σε βάση όγκου, ενώ σε βάση αξίας η αντίστοιχη αναλογία εκτιμάται ότι είναι περίπου 80:20.

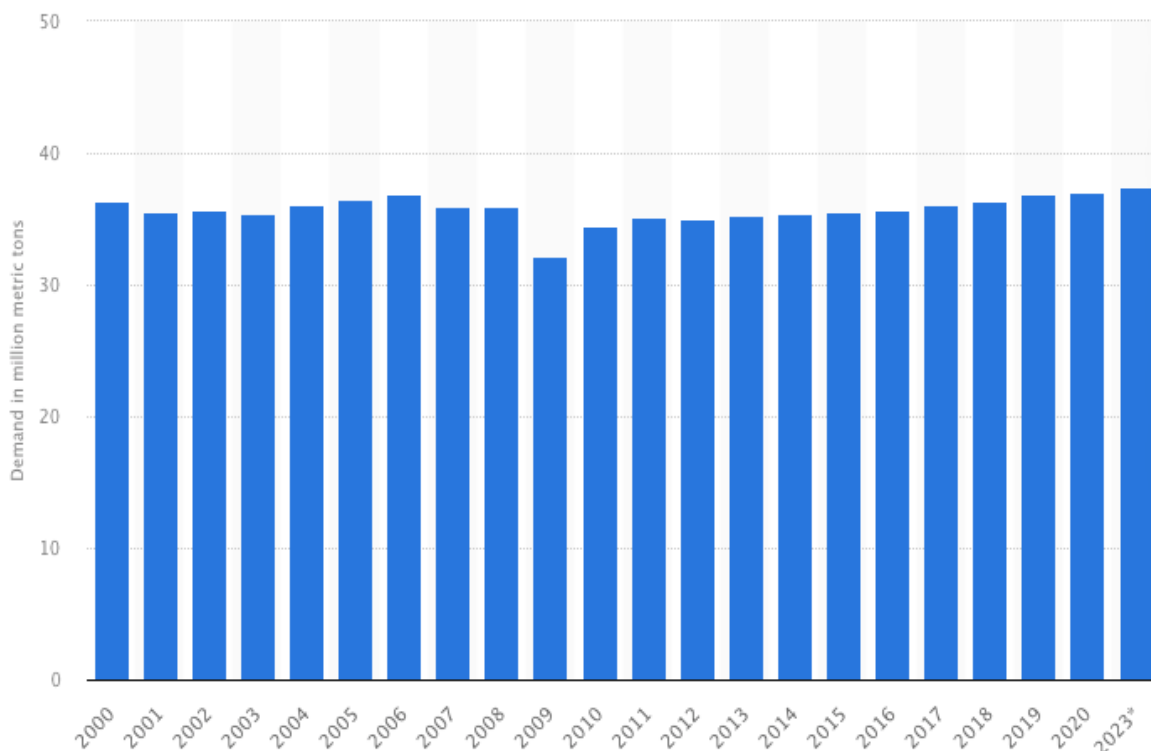
Η ανάπτυξη των λιπαντικών είναι στενά συνδεδεμένη με τις συγκεκριμένες εφαρμογές και μεθόδους εφαρμογής. Καθώς μια απλή περιγραφή των υλικών σε αυτόν τον τομέα δεν έχει νόημα, οι ακόλουθες ενότητες θα εξετάσουν τόσο τα λιπαντικά όσο και την εφαρμογή τους.

## 1.2 ΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Τα λιπαντικά σήμερα ταξινομούνται σε πέντε ομάδες προϊόντων: λάδια αυτοκινήτου, βιομηχανικά λάδια, γράσα, υγρά μεταλλουργίας (συμπεριλαμβανομένων των αντιδιαβρωτικών) και λιπαντικά επεξεργασίας. Τα έλαια επεξεργασίας περιλαμβάνονται ως πρώτες ύλες στις διαδικασίες, αλλά κυρίως ως πλαστικοποιητές για τη βιομηχανία του καουτσούκ. Ο μόνος δεσμός τους με τα λιπαντικά είναι ότι είναι προϊόντα των ορυκτελαίων που προκύπτουν από τη διύλιση βασικών ελαίων.

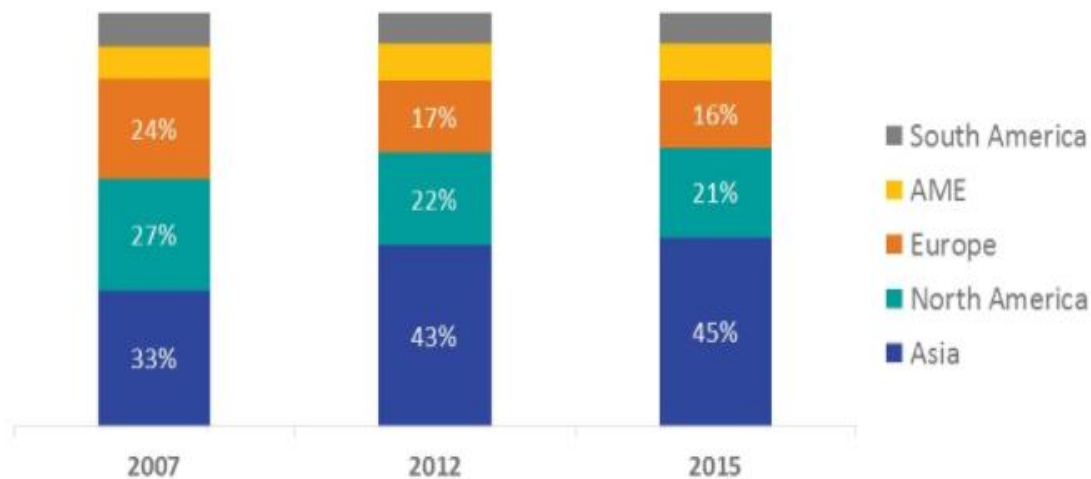
Είναι ενδιαφέρον ότι η ανάλυση κατά ομάδες των προϊόντων τα τελευταία 15 χρόνια άλλαξε ελάχιστα. Το 56% όλων των λιπαντικών εξακολουθούν να πηγαίνουν σε λιπαντικά αυτοκινήτων (Μόνο το 26% είναι βιομηχανικά λάδια, με τα υπόλοιπα να περιλαμβάνουν λιπαντικά, υγρά μεταλλουργίας και αντιδιαβρωτικά).

Ο όγκος της παγκόσμιας αγοράς των λιπαντικών (χωρίς τα ναυτιλιακά λάδια) ήταν περίπου 36 εκατομμύρια τόνοι στο τέλος της χιλιετίας και λίγο πολύ σταθερός μέχρι το 2008. Στη συνέχεια, η ζήτηση των λιπαντικών σε παγκόσμια βάση μειώθηκε κατά περισσότερο από 10% από έτος σε έτος σε μόλις περίπου 32 εκατομμύρια μετρικούς τόνους το 2009. Από το 2010, η παγκόσμια κατανάλωση στην αγορά παρουσίασε μερική ανάκαμψη υπό το πρίσμα της εν μέρει απροσδόκητης ταχείας οικονομικής ανάπτυξης, για να φτάσει σχεδόν το επίπεδο των 36 εκατομμυρίων τόνων και πάλι το 2015. Έτσι, θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί ότι υπήρξε μια σταθερότητα στον όγκο της αγοράς μεταξύ του 2000 και 2021 (Εικόνα 1.1: Η αγορά των λιπαντικών σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους (προβλέψεις για το έτος 2023) ).



Εικόνα 1.1: Η αγορά των λιπαντικών σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους (προβλέψεις για το έτος 2023) (statista, 2021)

Ωστόσο, η υποκείμενη περιφερειακή δυναμική της αγοράς των λιπαντικών τα τελευταία 15 χρόνια ήταν τεράστια από άποψη ποσότητας και ποιότητας. Η περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού μαζί με την Αφρική και τη Μέση Ανατολή αντιπροσώπευαν λίγο περισσότερο από το ένα τρίτο του παγκόσμιου όγκου το 2000 και τώρα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το μισό του, ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης εκβιομηχάνισης και της μηχανοκίνησης και κατά συνέπεια της υψηλότερης «κατανάλωσης». Οι ώριμες αγορές της Δυτικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής γνώρισαν μια συνεχή μετακίνηση προς πιο ποιοτικά λιπαντικά, που είχε ως αποτέλεσμα εκτεταμένα διαστήματα αλλαγής λαδιών και κατά συνέπεια χαμηλότερη ζήτηση ετησίως. Η Ασία-Ειρηνικός καταναλώνει το 2015 διπλάσια ποσότητα λιπαντικών ετησίως σε σχέση με τη Βόρεια Αμερική (Εικόνα 1.2: Παγκόσμια αγορά λιπαντικών και κατανάλωση).



Εικόνα 1.2: Παγκόσμια αγορά λιπαντικών και κατανάλωση (ipsos., 2021)

Από το 1975, η ποσοτική ζήτηση των λιπαντικών έχει απομακρυνθεί σημαντικά από το ακαθάριστο εθνικό προϊόν και επίσης από τον αριθμό των εγγεγραμμένων οχημάτων. Αυτή η ποσοτική άποψη, η οποία με την πρώτη ματιά δείχνει μια συνεχή μείωση των όγκων των λιπαντικών, δίνει μια ανεπαρκή εντύπωση της σημασίας της επιχείρησης των λιπαντικών σήμερα. Σχεδόν σε όλους τους τομείς, τα προϊόντα έχουν πλέον μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή η ειδική κατανάλωση του λιπαντικού έχει μειωθεί αλλά τα συγκεκριμένα έσοδα έχουν αυξηθεί αισθητά. Αυτό, επιβεβαιώνεται επίσης από την ογκομετρικά πολύ σημαντική ομάδα λαδιών κινητήρα (Gosalia, A., 2013).

Ο διπλασιασμός των απαιτήσεων με εκτεταμένα διαστήματα αλλαγής λαδιού τα τελευταία χρόνια έχει τετραπλασιάσει το κόστος αυτών των λαδιών. Οι προσπάθειες για αύξηση της διάρκειας ζωής των λιπαντικών δε βασίζονται στην επιθυμία να μειωθεί το κόστος του λιπαντικού. Πολύ πιο σημαντική είναι η μείωση του κόστους του σέρβις και συντήρησης που προκύπτουν από την περιοδική αλλαγή ή επαναλίπανση.

Καθώς περίπου το 50% των λιπαντικών που πωλούνται παγκοσμίως καταλήγουν να μολύνουν το περιβάλλον, καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια για να ελαχιστοποιηθούν οι διαρροές και η εξάτμιση. Ένα παράδειγμα είναι οι εκπομπές των σωματιδίων του κινητήρα ντίζελ, περίπου το ένα τρίτο των οποίων προκαλούνται από την εξάτμιση του λαδιού του κινητήρα. Αυτές οι υψηλές απώλειες λιπαντικών στο περιβάλλον ήταν πίσω από την ανάπτυξη των φιλικών προς το περιβάλλον λιπαντικών.

Ένα επιπλέον κίνητρο για τη μείωση της ειδικής κατανάλωσης είναι το ολοένα αυξανόμενο κόστος απόρριψης ή ανακύκλωσης των χρησιμοποιημένων λιπαντικών. Αυτό από την άλλη δημιουργεί και πάλι νέες απαιτήσεις σε λιπαντικά, επειδή μειωμένες απώλειες μέσω της διαρροής σημαίνει λιγότερη συμπλήρωση και λιγότερη ανανέωση του χρησιμοποιημένου λαδιού. Τα νέα λάδια πρέπει επομένως να εμφανίζουν καλή σταθερότητα γήρανσης (Lindemann L., 2013).



Μια άλλη συνέπεια των προαναφερθέντων εξελίξεων ήταν ότι η παγκόσμια κατά κεφαλήν κατανάλωση μειώθηκε από περίπου 9 σε 5 κιλά ετησίως μεταξύ 1970 και 2015, δηλαδή η αύξηση της ζήτησης των λιπαντικών (+7%) δε συμβάδιζε με την παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού (+ 90%) κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Με άλλα λόγια, ο σύνθετος ετήσιος ρυθμός αύξησης (CAGR) του παγκόσμιου πληθυσμού μεταξύ 1970 και 2015 ήταν 1,6% και 10 φορές υψηλότερος από το CAGR της παγκόσμιας ζήτησης των λιπαντικών, που ανήλθε σε μόλις 0,16% σε αυτό το χρονικό πλαίσιο. Λαμβάνοντας υπόψη το δυναμικό ανάπτυξης στην Ασία, όπου η κατά κεφαλήν κατανάλωση σε ορισμένες περιοχές εξακολουθεί να είναι εξαιρετικά χαμηλή και τη συνεχιζόμενη μείωση του όγκου, ή τη στασιμότητα στις δυτικές βιομηχανικές χώρες, προβλέπεται συνολικά μια μέτρια παγκόσμια ανάπτυξη. Η αύξηση της αξίας θα είναι πιο έντονη επειδή η ταχεία παγκοσμιοποίηση των τεχνολογιών θα προωθήσει προϊόντα υψηλής αξίας ακόμη και στις αναπτυσσόμενες και αναδυόμενες αγορές των λιπαντικών όπως η Ινδία. Επίσης οι μηχανές και οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις χώρες θα είναι παρόμοιες ή πανομοιότυπες με αυτές που χρησιμοποιούνται στις ανεπτυγμένες βιομηχανικές χώρες (Gosalia A. , 2012).

### 1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Εκτός από τα πιο κοινά λιπαντικά, οι πολλές χιλιάδες εφαρμογές των λιπαντικών απαιτούν ένα διαφορετικό αριθμό συστημάτων που σπάνια συγκρίνεται σε άλλες ομάδες προϊόντων.

Η ομάδα δίπλα στα έλαια είναι τα γαλακτώματα, τα οποία ως γαλακτώματα λαδιού σε νερό είναι κύρια για τα υγρά κοπής στο νερό, τα γαλακτώματα κύλισης και τα ανθεκτικά στη φωτιά υδραυλικά υγρά HFA. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο κατασκευαστής του λιπαντικού συνήθως παρέχει ένα συμπύκνωμα το οποίο αναμιγνύεται με νερό τοπικά για να σχηματιστεί ένα γαλάκτωμα. Η συγκέντρωση αυτών των γαλακτωμάτων με νερό είναι γενικά μεταξύ 1 και 10%. Η ετήσια κατανάλωση τέτοιων γαλακτωμάτων στις βιομηχανικές χώρες είναι περίπου η ίδια με όλα τα άλλα λιπαντικά μαζί. Από αυτή την άποψη, η ογκομετρική αναλογία αυτών των προϊόντων (ως συμπυκνώματα) είναι σημαντικά υποτιμημένη στις στατιστικές των λιπαντικών σε σχέση με τα προβλήματα μηχανικής εφαρμογής που δημιουργούν και την οικονομική τους σημασία.

Η επόμενη ομάδα λιπαντικών συστημάτων είναι τα γαλακτώματα νερού σε λάδι. Η σημαντικότερη εφαρμογή τους είναι στη διαμόρφωση μετάλλων. Αυτά τα προϊόντα παρέχονται έτοιμα προς χρήση ή ως αραιώσιμα συμπυκνώματα. Τα πυρίμαχα υγρά HFB σχεδιάζονται και ως γαλακτώματα νερού σε λάδι (ανάστροφα γαλακτώματα).

Σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, τα γαλακτώματα λαδιού σε λάδι αναπτύσσονται ως λιπαντικά και αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα της κατεργασίας μετάλλων.

Οι λύσεις με βάση το νερό με τη μορφή μη διασκορπισμένων συστημάτων χρησιμοποιούνται μερικές φορές σε εργασίες επεξεργασίας μετάλλων που σχηματίζουν τσιπ.

Τα γράσα είναι πολύπλοκα συστήματα που αποτελούνται από βασικά έλαια και πηκτικά με βάση σαπούνια ή άλλες οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Διατίθενται σε ημίρρευστη μορφή (ημίρρευστα γράσα) έως συμπαγείς λίθους (μπλοκ γράσα). Απαιτείται ειδικός εξοπλισμός για την παραγωγή τους (μονάδες λιπαρότητας). Μια ομάδα προϊόντων που σχετίζονται στενά με τα γράσα είναι οι πάστες.

Τα στερεά λιπαντικά εναιωρήματα περιέχουν συνήθως στερεά λιπαντικά σε σταθερό εναιώρημα σε ένα ρευστό όπως το νερό, ή το λάδι. Αυτά τα προϊόντα χρησιμοποιούνται συχνά στη σφυρηλάτηση και την εξώθηση καθώς και σε άλλες διαδικασίες κατεργασίας των μετάλλων. Οι στερεές λιπαντικές μεμβράνες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν ως εναιωρήματα σε ένα φέρον ρευστό το οποίο εξατμίζεται πριν το λειτουργήσει το λιπαντικό.

Οι στερεές σκόνες λιπαντικών μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας σε ειδικά προετοιμασμένες επιφάνειες. Στην περίπτωση των λιπαντικών ξηρής μεμβράνης, τα στερεά λιπαντικά διασπείρονται σε μήτρες ρητίνης. Τα λιπαντικά ξηρής μεμβράνης σχηματίζονται όταν ο διαλύτης (κυρίως νερό ή υδρογονάνθρακες) εξατμίζεται.

Τα τηγμένα άλατα, ή η σκόνη γυαλιού χρησιμοποιούνται για διαδικασίες θερμής διαμόρφωσης όπως η εξώθηση. Αυτά συνήθως παρέχονται ως ξηρές σκόνες και αναπτύσσουν λιπαντικότητα όταν λιώνουν στην καυτή επιφάνεια του μετάλλου.

Οι πολυμερείς μεμβράνες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται ειδική προστασία επιφάνειας εκτός από τη λιπαντικότητα (π.χ. η πίεση πάνελ από ανοξειδωτο χάλυβα). Μαζί με τα γράσα, τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται σε κάποιο βαθμό και στον κατασκευαστικό κλάδο.

Ένα ενδιαμέσο πεδίο μεταξύ υλικών και τεχνολογίας λίπανσης είναι η ευρεία περιοχή επεξεργασίας των επιφανειών για τη μείωση της τριβής και της φθοράς. Ενώ τα προαναφερθέντα λιπαντικά ξηρής μεμβράνης είναι μια αποδεκτή δραστηριότητα της βιομηχανίας των λιπαντικών, οι χημικές επικαλύψεις είναι κάπως αμφιλεγόμενες. Αυτές οι επικαλύψεις συνδέονται χημικά με την επιφάνεια του μετάλλου. Περιλαμβάνουν οξαλίωση και φωσφοροποίηση (ψευδάργυρος, σίδηρος και μαγγάνιο). Σε περιπτώσεις, όταν τέτοιες επικαλύψεις υιοθετούν τη λειτουργία φορέα ενός οργανικού λιπαντικού, ολόκληρο το σύστημα θα μπορούσε να προμηθεύεται από τον κατασκευαστή του λιπαντικού. Εάν η χημική επίστρωση δεν έχει σχεδιαστεί για να συμπληρώνεται με πρόσθετη λιπαντική επίστρωση (π.χ. ξηρή μεμβράνη σε φωσφατισμένο εξοπλισμό), πιθανότατα θα παρέχεται από μια εταιρεία που ειδικεύεται στην απολίπανση και τον καθαρισμό των επιφανειών.

Ακόμη πιο διαφορετικά από τα παραδοσιακά λιπαντικά είναι οι μεταλλικές ή κεραμικές επικαλύψεις που εφαρμόζονται με διαδικασίες CVD (χημική εναπόθεση ατμού) ή PVD (φυσική εναπόθεση ατμού). Επίσης μερικές φορές αντικαθιστούν τις λειτουργίες EP των λιπαντικών. Τέτοιες επικαλύψεις χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο μαζί με λιπαντικά για να εγυθηθούν βελτιωμένη προστασία από τη φθορά σε ακραίες συνθήκες και για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

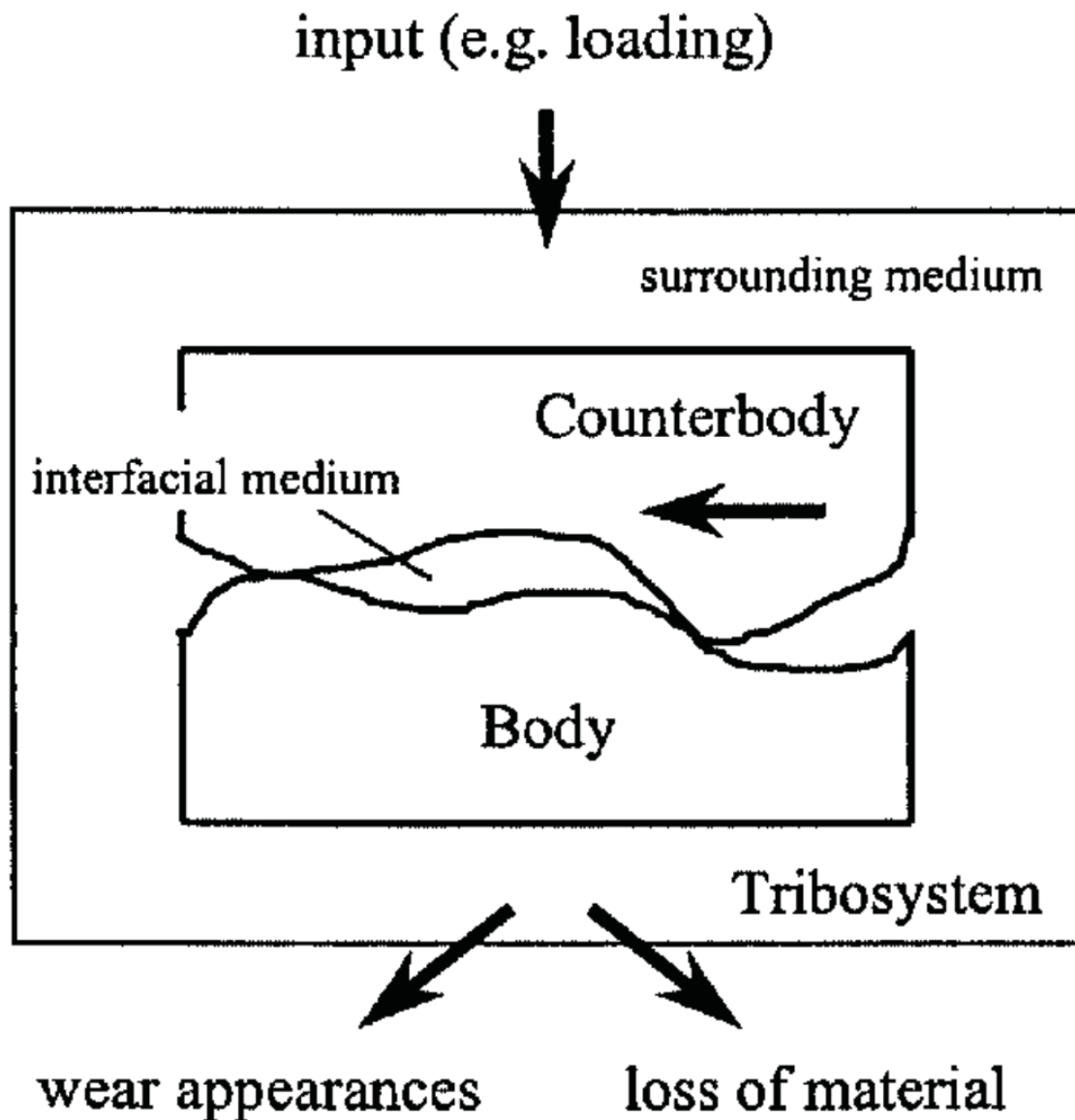
## 1.4 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΑ

Η ανάπτυξη λιπαντικών έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης των μηχανημάτων και των αντίστοιχων τεχνολογιών τους. Συνδέεται αμετάκλητα και διεπιστημονικά με πολυάριθμα πεδία εμπειρογνωμοσύνης. Χωρίς αυτή τη διεπιστημονική πτυχή, οι εξελίξεις και οι εφαρμογές των λιπαντικών θα αποτύγγαναν.

Η τριβολογία (προέρχεται από τη λέξη τριβή) είναι η επιστήμη της τριβής, της φθοράς και της λίπανσης. Αν και η χρήση λιπαντικών είναι τόσο παλιά όσο και η ανθρωπότητα, η επιστημονική εστίαση στα λιπαντικά και την τεχνολογία της λίπανσης είναι σχετικά νέα. Ο όρος τριβολογία εισήχθη για πρώτη φορά το 1966 και έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για να περιγράψει αυτό το εκτεταμένο πεδίο δραστηριότητας από το 1985. Παρόλο που είχαν γίνει προσπάθειες από τον δέκατο έκτο αιώνα για να περιγραφεί επιστημονικά ολόκληρο το φαινόμενο της τριβής (Leonardo da Vinci, Amontons , Coulomb), η εργασία επικεντρωνόταν πάντα σε μεμονωμένες πτυχές και τα λιπαντικά δεν ελήφθησαν καν υπόψη. Ορισμένες ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970 αγνόησαν εντελώς τις χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις διαδικασίες τριβής με λίπανση.

Η τριβολογία, με όλες τις πτυχές της, ερευνάται μόνο σποραδικά. Θεμελιώδης επιστημονική τριβολογική έρευνα πραγματοποιείται σε πανεπιστήμια που διαθέτουν τμήματα μηχανικής, ή δοκιμών υλικών. Φυσικά, οι κατασκευαστές των λιπαντικών πραγματοποιούν επίσης έρευνα. Το πλεονέκτημα της τριβολογικής έρευνας από τα τμήματα των μηχανικών είναι η κυρίαρχη εστίαση στη μηχανική των εφαρμογών. Το πιο κοινό μειονέκτημα είναι η έλλειψη διεπιστημονικών δεσμών με άλλους τομείς εμπειρογνωμοσύνης. Τα κοινά ερευνητικά έργα που συνδυάζουν τους κλάδους της μηχανικής, των υλικών, της χημείας, της υγείας και της ασφάλειας, και το έργο που διεξάγεται από κατασκευαστές λιπαντικών προσφέρουν τις καλύτερες προοπτικές πρακτικών αποτελεσμάτων.

Το τριβολογικό σύστημα (Εικόνα 1.3: Τριβολογικό σύστημα ) αποτελείται από τέσσερα στοιχεία: τον συνεργάτη επαφής, τον αντίπαλο εταίρο επαφής (ζεύγος υλικού), τη διεπαφή μεταξύ των δύο και του μέσου στη διεπαφή και το περιβάλλον.



Εικόνα 1.3: Τριβολογικό σύστημα (Wimmer M., Grad S., Kaup T., Hänni M., 2004)

Στα λιπαντικά των ρουλεμάν, το λιπαντικό βρίσκεται σε αυτό το κενό. Στα απλά ρουλεμάν, το ζεύγος υλικού είναι ο άξονας και τα κελύφη έδρασης. Σε κινητήρες καύσης, είναι οι δακτύλιοι του εμβόλου και το τοίχωμα του κυλίνδρου ή οι λοβοί του εκκεντροφόρου και οι τάπες. Στη μεταλλουργία, υπάρχει αντίστοιχα το εργαλείο και το τεμάχιο εργασίας.

Οι μεταβλητές είναι το είδος της κίνησης, οι δυνάμεις που εμπλέκονται, η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η διάρκεια της τάσης. Τριβομετρικές παράμετροι όπως τα δεδομένα τριβής, φθοράς και μπορούν να συλλεχθούν από την περιοχή της τάσης. Η τριβολογική καταπόνηση είναι το αποτέλεσμα πολλών κριτηρίων γεωμετρίας επιφάνειας και επαφής, επιφανειακής φόρτισης ή πάχους του λιπαντικού. Τριβολογικές διεργασίες μπορεί να συμβούν στην περιοχή επαφής μεταξύ δύο εταίρων τριβής οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές, φυσικοχημικές (π.χ. προσρόφηση, εκρόφηση) ή χημικής φύσης (τριβοχημεία).

Η περιγραφή της τριβής ως αιτίας της φθοράς και των απωλειών ενέργειας ανέκαθεν δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα λόγω της πολυπλοκότητας των τριβολογικών συστημάτων. Δεν υπάρχει επίσης διεθνώς αναγνωρισμένη ονοματολογία. Σε αυτή την εργασία, η τριβή περιγράφεται ανάλογα με τον τύπο της και με το συνδυασμό συνθηκών τριβής και λίπανσης, σύμφωνα με την άποψη των περισσότερων ειδικών.

Η τριβή είναι η μηχανική δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση (δυναμική ή κινητική τριβή) ή εμποδίζει την κίνηση (στατική τριβή) μεταξύ επιφανειών ολίσθησης ή κύλισης. Αυτοί οι τύποι τριβής ονομάζονται επίσης εξωτερική τριβή.

Η εσωτερική τριβή προκύπτει από την τριβή μεταξύ μορίων λιπαντικού. αυτό περιγράφεται ως ιξώδες. Η αιτία της εξωτερικής τριβής είναι, πάνω απ' όλα, τα μικροσκοπικά σημεία επαφής μεταξύ δύο επιφανειών ολίσθησης. Αυτά, προκαλούν πρόσφυση, παραμόρφωση υλικού και αυλάκωση. Η ενέργεια που χάνεται ως τριβή μπορεί να μετρηθεί ως θερμότητα ή/και μηχανική δόνηση. Τα λιπαντικά θα πρέπει να μειώνουν ή να αποφεύγουν τη μικροεπαφή που προκαλεί εξωτερική τριβή.

Ο συντελεστή τριβής ορίζεται ως ο αδιάστατος λόγος της δύναμης τριβής  $F$  και της κανονικής δύναμης  $N$ . Η αναλογικότητα μεταξύ της κανονικής δύναμης και της δύναμης της τριβής δίνεται συχνά υπό ξηρές και οριακές συνθήκες τριβής, αλλά όχι σε λίπανση υγρού υμενίου.

Η τριβή κύλισης είναι η τριβή που δημιουργείται από την επαφή κύλισης. Στα ρουλεμάν κυλίνδρων, η τριβή κύλισης εμφανίζεται κυρίως μεταξύ των στοιχείων κύλισης και των διαδρόμων, ενώ η τριβή ολίσθησης εμφανίζεται μεταξύ των στοιχείων κύλισης και του κλωβού. Η κύρια αιτία τριβής στα ρουλεμάν είναι η ολίσθηση στις ζώνες επαφής μεταξύ των κυλιόμενων στοιχείων και των διαδρόμων. Επηρεάζεται επίσης από τη γεωμετρία των επιφανειών επαφής και την παραμόρφωση των στοιχείων επαφής. Επιπλέον, ολίσθηση συμβαίνει μεταξύ των θηκών του κλωβού και των κυλιόμενων στοιχείων (Czichos H., 1992).

Εάν η κίνηση κύλισης και η κίνηση ολίσθησης συνδυάζονται σε σημαντικό βαθμό, όπως για το πλέγμα των δοντιών του γραναζιού, έχει δημιουργηθεί ειδική ορολογία. Η λέξη «Wälzreibung» που προέρχεται από το «Wälzen» (έλαση, π.χ. έλαση χάλυβα) χρησιμοποιείται στη Γερμανία. Οι καταστάσεις στις οποίες εμφανίζεται υψηλή αναλογία ολίσθησης/κύλισης απαιτούν εντελώς διαφορετική λίπανση από την καθαρή ολίσθηση.

Ο στατικός συντελεστής τριβής ορίζεται ως ο συντελεστής τριβής που αντιστοιχεί στη μέγιστη δύναμη που πρέπει να ξεπεραστεί για να ξεκινήσει η μακροσκοπική κίνηση μεταξύ δύο σωμάτων (ASTM).

Διαφορετική από τη στατική τριβή, η κινητική τριβή συμβαίνει κάτω από συνθήκες σχετικής κίνησης. Το ASTM ορίζει τον κινητικό συντελεστή τριβής ως τον συντελεστή υπό συνθήκες μακροσκοπικής σχετικής κίνησης δύο σωμάτων. Ο κινητικός συντελεστής τριβής που μερικές φορές ονομάζεται δυναμικός συντελεστής τριβής είναι συνήθως κάπως μικρότερος από τον στατικό συντελεστή τριβής.

Υπάρχει επιπλέον μια ειδική μορφή τριβής που συχνά προκύπτει από πολύ αργές κινήσεις ολίσθησης όταν οι εταίροι τριβής συνδέονται σε ένα σύστημα που μπορεί να δονείται. Η διαδικασία επηρεάζεται από την εξάρτηση του συντελεστή τριβής

ολίσθησης από την ταχύτητα. Αυτό γενικά συμβαίνει όταν ο στατικός συντελεστής τριβής ( $f_{stat}$ ) είναι μεγαλύτερος από τον δυναμικό συντελεστή τριβής ( $f_{dyn}$ ). Αυτή η τριβή συνήθως συναντάται με εργαλειομηχανές που λειτουργούν με αργή τροφοδοσία.

Στα τριβολογικά συστήματα, μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές μορφές επαφής μεταξύ των εταίρων που έρχονται σε επαφή. Αυτό συμβαίνει όταν δύο στερεά έχουν άμεση επαφή μεταξύ τους χωρίς διαχωριστικό μη στερεό στρώμα. Εάν εμπλέκονται συμβατικά υλικά, οι συντελεστές τριβής και φθοράς είναι υψηλοί. Η τεχνολογία λίπανσης προσπαθεί να εξαλείψει αυτήν την κατάσταση.

Οι επιφάνειες επαφής καλύπτονται με ένα μοριακό στρώμα μιας ουσίας της οποίας οι ειδικές ιδιότητες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά τριβής και φθοράς. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της ανάπτυξης των λιπαντικών είναι η δημιουργία τέτοιων οριακών στρωμάτων τριβής σε ποικίλες δυναμικές, γεωμετρικές και θερμικές συνθήκες. Τέτοιες στρώσεις έχουν μεγάλη σημασία σε πρακτικές εφαρμογές όταν είναι τεχνικά αδύνατες οι παχιές, μακράς διάρκειας λιπαντικές μεμβράνες για τον διαχωρισμό δύο επιφανειών. Τα οριακά λιπαντικά φιλμ δημιουργούνται από επιφανειοδραστικές ουσίες και τα προϊόντα χημικής τους αντίδρασης. Η προσρόφηση και οι τριβοχημικές αντιδράσεις παίζουν επίσης σημαντικούς ρόλους

Σε άλλη μορφή τριβής, και οι δύο επιφάνειες χωρίζονται πλήρως από ένα ρευστό λιπαντικό φιλμ (λίπανση πλήρους φιλμ). Αυτό το φιλμ είτε σχηματίζεται υδροστατικά είτε, συνηθέστερα, υδροδυναμικά. Από την άποψη των λιπαντικών, αυτό είναι γνωστό ως υδροδυναμική ή υδροστατική λίπανση. Η τριβή υγρού ή ρευστού προκαλείται από την αντίσταση της τριβής λόγω των ρεολογικών ιδιοτήτων των ρευστών. Αν και οι δύο επιφάνειες χωρίζονται από ένα φιλμ αερίου, αυτό είναι γνωστό ως λίπανση αερίου.

Η μικτή τριβή εμφανίζεται όταν η οριακή τριβή συνδυάζεται με την τριβή ρευστού. Από την άποψη της τεχνολογίας των λιπαντικών, αυτή η μορφή τριβής απαιτεί επαρκή φέροντα οριακά στρώματα για να σχηματιστούν. Τα στοιχεία της μηχανής που κανονικά λιπαίνονται υδροδυναμικά παρουσιάζουν μικτή τριβή κατά την εκκίνηση και τη διακοπή.

Για τα ρουλεμάν, ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της μηχανής, έχει αποδειχθεί ότι το ιξώδες αναφοράς είτε των λιπαντικών ελαίων είτε των λιπαντικών βάσης δεν είναι επαρκές για να εξασφαλίσει το σχηματισμό προστατευτικών στρωμάτων λιπαντικού και την απαιτούμενη ελάχιστη διάρκεια ζωής. Υπό μικτές συνθήκες τριβής, είναι σημαντικό να επιλεγεί το κατάλληλο λιπαντικό, δηλαδή αυτό που επιτρέπει τον σχηματισμό τριβοστοιβάδων από αντιενδυτικά και πρόσθετα ακραίας πίεσης (Karbacher R., 2006).

Το 2004, οι Wiersch και Schwarze περιέγραψαν έναν τρόπο υπολογισμού των μικτών επαφών λίπανσης σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας και εφαρμογών. Η απόδοση του μοντέλου μικτής τριβής αποδείχθηκε χρησιμοποιώντας το παράδειγμα μιας επαφής με εκκεντροφόρο έκκεντρο (Wiersch P. & Schwarze H., 2006).

## 1.5 ΡΕΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Η συνέπεια, οι ιδιότητες ροής ή το ιξώδες στην περίπτωση των λιπαντικών, είναι βασικές παράμετροι για τη δημιουργία απόδοσης της λίπανσης και την εφαρμογή των λιπαντικών. Αυτοί είναι όροι που εμφανίζονται σε όλες σχεδόν τις προδιαγραφές των λιπαντικών. Το ιξώδες είναι επίσης η μόνη τιμή λιπαντικού που υιοθετείται στη διαδικασία σχεδιασμού για υδροδυναμική και ελαστοϋδροδυναμική (EHD) λίπανση.

Η τριβή που δημιουργείται από ένα ρευστό που περιβάλλει τους εταίρους επαφής, δηλαδή χωρίς επαφή των εταίρων, είναι η εσωτερική τριβή του ρευστού. Το μέτρο της εσωτερικής τριβής σε ένα ρευστό είναι το ιξώδες (Klamann D., 1984). Το ιξώδες και οι διαστάσεις του εξηγούνται καλύτερα με ένα μοντέλο παράλληλων στρωμάτων ρευστού τα οποία θα μπορούσαν να παρατηρηθούν μοριακά. Εάν, αυτό το πακέτο ρευστών στρωμάτων διατμηθεί ( $\tau$ ), τα μεμονωμένα στρώματα ρευστού μετατοπίζονται προς την κατεύθυνση της δύναμης διάτμησης (Weissenberg K. & Freeman S.M., 1948). Τα ανώτερα στρώματα κινούνται πιο γρήγορα από τα κατώτερα στρώματα επειδή οι μοριακές δυνάμεις ενεργούν για να αντιστέκονται στην κίνηση μεταξύ των στρωμάτων. Αυτές οι δυνάμεις δημιουργούν αντίσταση στη διάτμηση και αυτή η αντίσταση αποδίδεται με τον όρο δυναμικό ιξώδες. Η διαφορά στην ταχύτητα μεταξύ δύο δεδομένων στρωμάτων ρευστού, που σχετίζεται με τη γραμμική μετατόπισή τους, αναφέρεται ως ρυθμός διάτμησης  $S$ . Αυτή η βαθμίδα ταχύτητας είναι ανάλογη με τη διατμητική τάση ( $\tau$ ). Η σταθερά αναλογικότητας η ονομάζεται δυναμικό ιξώδες και έχει τις μονάδες Pa·s. Η ανάλυση των διαστάσεων χρησιμοποιεί τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$S = \frac{dy}{dx} \left[ \frac{m}{s \times m} \right] \text{ ή } [s^{-1}] \quad (1.1)$$

$$\eta = \frac{\tau}{S} \left[ \frac{N}{m^2 \times s^{-1}} \right] \text{ ή } \left[ \frac{Pa}{s} \right] \text{ ή } [mPa \times s] \quad (1.2)$$

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός του ιξώδους σε σωλήνες εκροής ή τριχοειδών σωλήνων επηρεάζεται από το βάρος του ρευστού. Η σχέση μεταξύ του δυναμικού ιξώδους και του ειδικού βάρους αναφέρεται ως κινηματικό ιξώδες  $\nu$ . Ισχύει η ακόλουθη ανάλυση μονάδας:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[ \frac{Pa \times s}{kg \times m^{-3}} \right] \text{ ή } \left[ \frac{N \times s \times m^3}{m^2 \times kg} \right] \text{ ή } \left[ \frac{kg \times m \times s^{-2} \times s \times m^3}{m^2 \times kg} \right] \text{ ή } \left[ \frac{m^2}{s} \right] \left[ \frac{mm^2}{s} \right] \quad (1.3)$$

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, το κινηματικό και το δυναμικό ιξώδες διαφέρουν ως προς την πυκνότητα. Λαμβάνοντας το παράδειγμα μιας κοπής

παραφινικού ορυκτέλαιου μέσου ιξώδους (ISO VG 32), η διαφορά είναι μεταξύ 12 και 25% σε θερμοκρασίες μεταξύ 0 και 100 ° C (οι υψηλότερες τιμές ισχύουν για το κινηματικό ιξώδες).

Ο ορισμός του ιξώδους των Νευτώνειων ρευστών, είναι μια σταθερά (συντελεστής αναλογίας) μεταξύ της δύναμης διάτμησης  $\tau$  και του ρυθμού διάτμησης  $S$ . Αυτό σημαίνει ότι το ιξώδες δεν αλλάζει (με εξαίρεση την εξάρτηση από τη θερμοκρασία και την πίεση) ακόμη και όταν υπόκεινται σε μεγαλύτερες δυνάμεις διάτμησης σε μια ζώνη επαφής τριβής ή με άλλα λόγια, σε ισοθερμικές και ισοβαρικές συνθήκες. Τα λιπαντικά που εμφανίζουν εξάρτηση από το ρυθμό διάτμησης είναι γνωστά ως μη νευτώνεια ή ρευστά με δομικό ιξώδες.

Τα λάδια που περιέχουν πολυμερή με συγκεκριμένα πρόσθετα ή πηκτικά και τα ορυκτέλαια σε χαμηλές θερμοκρασίες (φαινόμενα παραφίνης μακράς αλυσίδας) παρουσιάζουν τέτοια δομική-ιξώδη συμπεριφορά. Σε κανονικές θερμοκρασίες εφαρμογής, τα περισσότερα βασικά λιπαντικά, όπως τα έλαια υδρογονανθράκων (με ραφιναρισμένα ορυκτέλαια ή συνθετικοί υδρογονάνθρακες), συνθετικοί εστέρες και φυσικά λιπαρά έλαια μπορούν να αντέξουν πολύ υψηλές δυνάμεις διάτμησης (π.χ. 109 s<sup>-1</sup>) όπως βρίσκονται σε στοιχεία μηχανής με υψηλό φορτίο ( π.χ. κιβώτια ταχυτήτων) και είναι ανεξάρτητα από το ρυθμό διάτμησης.

Τα λάδια του κινητήρα που περιέχουν βελτιωτικά πολυμερούς VI ή διασκορπιστικά χωρίς τέφρα πολυμερών εμφανίζουν αποτελέσματα δομικού ιξώδους σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες. Κατά κανόνα, η εξάρτηση του ιξώδους από το ρυθμό διάτμησης είναι ανεπιθύμητη. Ωστόσο, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει αυτό το αποτέλεσμα σε λιπαντικά με οικονομία καυσίμου. Σε υψηλές ταχύτητες ολίσθησης όταν παρέχονται υδροδυναμικές λιπάνσεις, το χαμηλότερο ιξώδες δημιουργεί χαμηλότερη τριβή και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Για να διατηρηθεί αυτή η διαδικασία υπό έλεγχο, εισήχθη ιξώδες HTHS (υψηλή θερμοκρασία υψηλής διάτμησης). Αυτό μετρά το ιξώδες σε υψηλότερες θερμοκρασίες (που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του λαδιού στα σημεία τριβής) και σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης. Αυτό το σχήμα εμφανίζεται στις προδιαγραφές λαδιού κινητήρα ως τιμή κατωφλίου.





Εικόνα 1.4: Εισαγωγή λιπαντικού σε κινητήρα αυτοκινήτου (enginebuildermag, n.d.)

Ενώ η μείωση του ιξώδους που προκαλείται από τη διάτμηση των ιξωδών ρευστών της δομής είναι αναστρέψιμη, δηλαδή αφού σταματήσει η διάτμηση, το αρχικό ιξώδες επανέλθει, τα λιπαντικά με βάση το πολυμερές μπορεί να υποστούν «μόνιμη μείωση του ιξώδους». Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι δυνάμεις διάτμησης οδηγούν σε μηχανική αλλαγή ή μείωση του μεγέθους των μορίων του πολυμερούς έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα επιθυμητά αποτελέσματά τους. Αυτά τα αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί, ιδίως, με λιπαντικά κινητήρων πολλαπλών βαθμών και υδραυλικά λάδια υψηλού VI. Η διατμητική σταθερότητα αυτών των πολυμερών είναι επομένως μια σημαντική ποιοτική παράμετρος.

Εκτός από την προαναφερθείσα δομή-ιξώδες και τη μόνιμη μείωση του ιξώδους που προκαλείται από τη διάτμηση, τα λιπαντικά υπόκεινται σε περαιτέρω ρεολογικές επιδράσεις και ειδικότερα, σε κολλοειδή συστήματα που αποτελούνται από στερεές ή υγρές διασπορές (στερεές διασπορές ή γαλακτώματα).

Ακόμη και η μικρή μηχανική φόρτιση, όπως η έντονη ανάδευση, μπορεί να προκαλέσει την πλήρη αλλαγή ενός συστήματος, για παράδειγμα τα συστήματα με πάστα μπορεί να διασπαστούν σε συστήματα χαμηλού ιξώδους. Εάν αυτή η διαδικασία βασίζεται στο χρόνο, δηλαδή το συνεχές μηχανικό φορτίο προκαλεί πτώση του φαινομένου ιξώδους με την πάροδο του χρόνου και το αρχικό ιξώδες αποκαθίσταται μετά από μια ορισμένη περίοδο ανάπαυσης, τέτοια υγρά ονομάζονται θιξοτροπικά. Αυτό χρησιμοποιείται για λιπαντικά σχηματισμού φύλλων. Σε αυτή την περίπτωση, προτιμάται ένα ρευστό χαμηλού ιξώδους για την εφαρμογή του προϊόντος (π.χ.

ψεκασμός), αλλά απαιτείται λιπαντικό φιλμ υψηλού ιξώδους που αντέχει στην απορροή στα πάνελ. Το φαινόμενο ρεοπηξίας, στο οποίο η συνεχής διάτμηση προκαλεί αύξηση του ιξώδους, δεν ισχύει για την τεχνολογία της λίπανσης.

Οι αλλαγές του ιξώδους με βάση το χρόνο μπορούν επίσης να προκληθούν από το διαχωρισμό των κολλοειδών σωματιδίων όπως παραφίνες από ορυκτέλαια βάσης ή πρόσθετα κατά την αποθήκευση λιπαντικών. Αυτή η ανεπιθύμητη ενέργεια μπορεί να συμβεί κατά τη φάση της ψύξης μετά την παραγωγή ή με μακροχρόνια αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτή η διαδικασία διαχωρισμού μπορεί επίσης να είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία και να προκαλείται από την κατάσταση διαλυτότητας των προσθέτων στα βασικά έλαια.

### 1.5.1 Βαθμοί ιξώδους

Συνολικά 18 βαθμοί ιξώδους καθορίζονται στο πρότυπο ISO 3448. Σε εύρος από 2 έως 2500  $mm^2 s^{-1}$ , αυτές είναι οι διεθνείς τυπικές σειριακές σειρές E6 που στρογγυλοποιούνται σε ακέραιους αριθμούς όταν οι 6 αριθμοί αντιστοιχούν σε μία ισχύ 10 (η πρώτη και η τέταρτη δύναμη του 10 μειώνονται). Οι βαθμοί ιξώδους υιοθετήθηκαν επίσης ή προστέθηκαν σε εθνικά πρότυπα όπως το ASTM ή το DIN.

Οι βαθμοί ιξώδους δε χρησιμοποιούνται για όλα τα βιομηχανικά λιπαντικά. Ειδικότερα, τα λάδια για διεργασίες σχηματισμού τσιπς και επεξεργασίας μετάλλων χωρίς ροκανίδια δεν ταξινομούνται με αυτόν τον τρόπο. Εκτός από τους βαθμούς ιξώδους, το ISO 3448 ορίζει τις ανοχές καθώς και τα διάμεση ιξώδη.

Για να καθοριστεί το ιξώδες των λιπαντικών του κινητήρα, επιλέγονται δύο ή τρία κατώφλια ιξώδους για τον καθορισμό των ιδιοτήτων ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες και για τον καθορισμό ενός ελάχιστου ιξώδους σε υψηλές θερμοκρασίες. Το μέγιστο ιξώδες σε χαμηλή θερμοκρασία θα πρέπει να διασφαλίζει την ταχεία κυκλοφορία του λαδιού σε όλα τα σημεία λίπανσης και να επιτρέπει μια αρκετά υψηλότερη ταχύτητα εκκίνησης με τη μίζα και το ελάχιστο ιξώδες στους 100 °C θα πρέπει να διασφαλίζει ότι η επαρκής λίπανση των ρουλεμάν γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Αν και το σύστημα ταξινόμησης εισήχθη από το SAE μαζί με το ASTM, χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και έχει υιοθετηθεί σε όλα τα εθνικά πρότυπα. Το ιξώδες χαμηλής θερμοκρασίας μετράται ως δυναμικό ιξώδες με ένα ειδικά κατασκευασμένο περιστροφικό ιξώδες (ψυχρός προσομοιωτής στροφαλοφόρου) σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης.

Τα έλαια που ταιριάζουν μόνο σε ένα βαθμό ιξώδους είναι γνωστά ως μονοβάθμια έλαια. Η συμπεριφορά V-T τέτοιων ελαίων αντιστοιχεί σε αυτή των συμβατικών ορυκτελαίων χωρίς βελτιωτικά VI (Gold P., Loos J., Kretschmer T., Wincierz C., 2006). Τα λάδια που καλύπτουν δύο ή περισσότερες κατηγορίες ιξώδους είναι λάδια πολλαπλών βαθμών και βασίζονται σε λάδια που περιέχουν βελτιωτικά VI ή βασικά λάδια με υψηλό φυσικό VI.

Έχουν δημιουργηθεί ειδικοί βαθμοί ιξώδους SAE για τα λιπαντικά των κιβωτίων ταχυτήτων, των αξόνων και των διαφορικών των αυτοκινήτων. Σε σύγκριση με τα λιπαντικά του κινητήρα και η συμπεριφορά αυτών των λαδιών σε χαμηλή θερμοκρασία

είναι πιο βαριά, καθώς προσδιορίζεται ένα μοναδικό μέγιστο δυναμικό ιξώδες και οι αντίστοιχες μέγιστες θερμοκρασίες για έναν αριθμό βαθμών ιξώδους.

Η AGMA (American Gear Manufacturers Association) ορίζει εννέα σειρές ιξώδους για βιομηχανικά λιπαντικά των κιβωτίων ταχυτήτων. Τα ορυκτέλαια βάσης ταξινομούνται παραδοσιακά σύμφωνα με το Saybolt Universal Seconds (SUS). Ένα βασικό λάδι 150 N εμφανίζει για παράδειγμα ιξώδες 150 SUS στους 100 °F.

## **1.6 ΒΑΣΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ**

### **1.6.1 Βασικά λιπαντικά**

Όσον αφορά τον όγκο, τα βασικά έλαια είναι τα πιο σημαντικά συστατικά των λιπαντικών. Ως σταθμισμένος μέσος όρος όλων των λιπαντικών, αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 95% των λιπαντικών συνθέσεων. Υπάρχουν οικογένειες λιπαντικών (π.χ. μερικά υδραυλικά λάδια και λιπαντικά συμπιεστών) στις οποίες τα χημικά πρόσθετα αντιπροσωπεύουν μόνο το 1% ενώ το υπόλοιπο 99% είναι βασικά λάδια. Από την άλλη πλευρά, άλλα λιπαντικά (π.χ. ορισμένα υγρά μεταλλουργίας, γράσα ή λιπαντικά γκραναζιών) μπορεί να περιέχουν έως και 30% πρόσθετα.

Η προέλευση της συντριπτικής ποσότητας των ορυκτών λιπαντικών βασικών ελαίων έχει οδηγήσει τα λιπαντικά να θεωρούνται μέρος της βιομηχανίας του πετρελαίου και αυτό υπογραμμίζεται από τη συμπερίληψή τους στις στατιστικές του πετρελαίου. Τα τελευταία χρόνια, τα λιπαντικά γίνονται όλο και περισσότερο ξεχωριστός κλάδος με σαφείς διαφορές από τα προϊόντα πετρελαϊκής μάζας. Αυτό προκλήθηκε από την υψηλή προστιθέμενη αξία που παράγεται σε αυτό το τμήμα προϊόντων μαζί με το γεγονός ότι πολλά λιπαντικά υψηλής απόδοσης δεν περιέχουν πλέον βασικά έλαια πετρελαίου.

Ο χαρακτηρισμός των κλασμάτων των ορυκτελαίων, είτε είναι κλάσματα αργού είτε λιπαντικών βασικών ελαίων, με τη χρήση συνήθων χημικών πρακτικών για τον προσδιορισμό της ακριβούς δομής τους δεν είναι δυνατός χωρίς μεγάλες δαπάνες. Το αργό πετρέλαιο αποτελείται γενικά από πολλές χιλιάδες μεμονωμένα συστατικά και αυτά αντικατοπτρίζονται στην επεξεργασία του κάθε κλάσματος. Ως εκ τούτου, ήταν πάντα στόχος η περιγραφή των κλασμάτων των ορυκτελαίων με τη σχετικά απλή σκοπιμότητα καθορισμού των τεχνικών τους ιδιοτήτων ή ο προσδιορισμός και ο ποσοτικός προσδιορισμός ομάδων συστατικών με παρόμοιο χημικό χαρακτήρα. Προηγμένες φυσικοχημικές μέθοδοι, ωστόσο, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε δοκιμές ρουτίνας.

Από την αρχή της βιομηχανίας του πετρελαίου, τα ορυκτέλαια χρησιμοποιούνται για λιπαντικά βασικά έλαια. Η διαδικασία μετατροπής του αργού πετρελαίου σε τελικό έλαιο βάσης αναφέρεται ως διύλιση. Όσον αφορά την παραγωγή των βασικών ελαίων, η πραγματική διαδικασία διύλισης ξεκινά μόνο μετά τα στάδια της απόσταξης. Ο

εξευγενισμός είναι επομένως ο όρος που χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει όλα τα στάδια παραγωγής μετά την απόσταξη υπό κενό.

Τα διυλιστήρια λιπαντικών χωρίζονται σε ολοκληρωμένες και μη ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις. Τα ολοκληρωμένα διυλιστήρια συνδέονται με πρωτογενή διυλιστήρια αργού πετρελαίου και τροφοδοτούνται με απόσταγμα κενού μέσω αγωγών. Τα μη ολοκληρωμένα διυλιστήρια αγοράζουν απόσταγμα κενού στην ανοιχτή αγορά ή αγοράζουν υπολείμματα της ατμόσφαιρας και πραγματοποιούν τη δική τους απόσταξη κενού. Περιστασιακά, πραγματοποιούν απόσταξη υπό κενό σε αργό πετρέλαιο.

Μέσω της κλασματικής απόσταξης, αφαιρούνται από το αργό πετρέλαιο προϊόντα που ανταποκρίνονται περίπου στους βαθμούς ιξώδους που τελικά απαιτούνται. Συχνά, μόνο τέσσερις ή πέντε κοπές αρκούν για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του λιπαντικού. Το ιξώδες του πρωτογενούς αποστάγματος κενού είναι ανεξάρτητο από τα τελικά βασικά έλαια στις διεργασίες υδρογονοπυρόλυσης, επειδή η διαδικασία υδροπυρόλυσης δημιουργεί νέες διαστάσεις μορίων.

Μετά τον αντίστοιχο διαχωρισμό των ελαφρύτερων συστατικών από το αργό πετρέλαιο με ατμοσφαιρική απόσταξη, τα λιπαντικά συστατικά βρίσκονται στο ατμοσφαιρικό υπόλειμμα. Το ατμοσφαιρικό υπόλειμμα υποβάλλεται έπειτα σε απόσταξη υπό κενό για να αφαιρεθούν τα συστατικά που απαιτούνται για τα λιπαντικά. Στο κενό, τα σημεία βρασμού των βαρύτερων τεμαχίων πέφτουν έτσι ώστε να είναι δυνατή η απόσταξη χωρίς θερμική καταστροφή.

Αν και το υπόλειμμα κενού εξακολουθεί να περιέχει πολύ ιξώδεις υδρογονάνθρακες που μπορούν να παρέχουν πολύτιμα συστατικά για τα λιπαντικά βασικά έλαια, η απόσταξη δε μπορεί να τα διαχωρίσει από την ασφαλτο που υπάρχει επίσης και πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαδικασίες εκχύλισης για να διαχωριστούν αυτά τα πολύ παχύρρευστα βασικά έλαια, κοινώς γνωστά ως «brightstocks». Τα «brightstocks» παράγονται σε διυλιστήρια λιπαντικών όταν η χρήση του παραπροϊόντος της ασφαλτίνης (σκληρή ασφαλτος) αξίζει τον κόπο. Η ποιότητα της σκληρής ασφάλτου για την κατασκευή πίσσας υψηλής ποιότητας εξαρτάται από το αργό πετρέλαιο. Ο εκχυλιστικός διαχωρισμός χρησιμοποιεί ελαφρούς υδρογονάνθρακες (προπάνιο έως εππάνιο), από τους οποίους το προπάνιο είναι το κορυφαίο προϊόν για αυτή τη χρήση. Τα «brightstocks» μπορούν να κατασκευαστούν με ιξώδη μεγαλύτερα από  $45 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  στους  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Οι τομές απόσταξης υπό κενό καθορίζουν κυρίως το ιξώδες και το σημείο ανάφλεξης των μεταγενέστερων βασικών ελαίων. Η ακρίβεια του κλάσματος στα άνω και κάτω όρια του βρασμού μιας κοπής είναι μεγάλης σημασίας.

Τα αποστάγματα εξακολουθούν να περιέχουν συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη γήρανση, τη συμπεριφορά του ιξώδους-θερμοκρασίας και τα χαρακτηριστικά της ροής, καθώς και τα συστατικά που είναι επικίνδυνα για την υγεία. Για την εξάλειψη αυτών των μειονεκτημάτων αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι διύλισης, από τις οποίες η διύλιση με διαλύτη έχει γίνει η πιο αποδεκτή μέθοδος τις τελευταίες δεκαετίες. Σήμερα, ωστόσο, οι νέες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο την υδροεπεξεργασία.

Γενικότερα, υπάρχουν οι εξής μέθοδοι διύλισης:

- Διύλιση οξέος
- Εκχύλιση με διαλύτη

#### 1.6.2 Συνθετικά βασικά λιπαντικά

Αν και η κατανάλωση συνθετικών λιπαντικών ελαίων, στο σύνολό της, ανταποκρίνεται μόνο διστακτικά σε οφέλη που έχουν αναγνωριστεί εδώ και αρκετές δεκαετίες (Beerbower A. , 1984), και στις ανάγκες μηχανημάτων που πρέπει να λειτουργούν υπό ολοένα και πιο ακραίες συνθήκες, σε επίγειες εφαρμογές κυρίως σε υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις (Lansdown A.R., 1994), σε διαστημικές εφαρμογές κυρίως σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και πολύ χαμηλές πιέσεις], η κατανάλωση πολυαλφαολεφινών, των πιο κοινών συνθετικών λιπαντικών ελαίων, έχει αυξηθεί πάρα πολύ τις τελευταίες δεκαετίες ( Rudnik, L.R. , 2013).

Υπήρχαν πάντα δύο λόγοι για την ανάπτυξη νέων συνθετικών λιπαντικών ελαίων. Ο πρώτος είναι η επίτευξη χαμηλότερης εξάρτησης από τη θερμοκρασία των φυσικών ιδιοτήτων, δηλαδή να καταστούν προσβάσιμες, είτε υψηλότερες, είτε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ο δεύτερος είναι η απόκτηση καλύτερης αδράνειας, δηλαδή η παράταση του χρόνου απόδοσης. Πιο πρόσφατα πρέπει να προστεθεί ένας τρίτος λόγος, δηλαδή καλύτερες οικολογικές ιδιότητες σε συνδυασμό, με μια φυσιολογική αδράνεια.

Σε αντίθεση με τα ορυκτέλαια, τα οποία περιέχουν πολλούς διαφορετικούς υδρογονάνθρακες και χημικά παράγωγα αυτών των υδρογονανθράκων που περιέχουν άζωτο, οξυγόνο και θείο, τα οποία πρέπει να καθαρίζονται, να εξευγενίζονται και να αποστάζονται, τα συνθετικά βασικά έλαια συνήθως παρασκευάζονται από αντίδραση μερικών καθορισμένων χημικών ενώσεων (αν και σε πολλές περιπτώσεις βασίζονται επίσης στο πετρέλαιο). Επίσης, προσαρμόζονται στην εφαρμογή τους με τη σωστή επιλογή των συνθηκών αντίδρασης. Αυτή η σχετικά απλή χημεία δεν έχει μόνο πλεονεκτήματα, (κυρίως όσον αφορά την απόκριση των προσθέτων και τη συμβατότητα των ελαστομερών) αλλά και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα συνθετικά βασικά έλαια έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής και της χημικής τους σύστασης (Rudnik L.R, 2013). Από χημική άποψη, η τελευταία μέθοδος είναι προτιμότερη.

Οι συνθετικοί υδρογονάνθρακες αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα στη Γερμανία και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στη Γερμανία, οι επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες και η ανάγκη να ξεπεραστεί η γενική έλλειψη βασικών αποθεμάτων πετρελαίου ήταν η κινητήρια δύναμη πίσω από την ανάπτυξη. Είναι γνωστό σήμερα ότι όλοι οι συνθετικοί υδρογονάνθρακες και τα άλλα οικονομικά σημαντικά συνθετικά λιπαντικά έλαια μπορούν να συντεθούν ξεκινώντας από το αιθυλένιο. Το ίδιο το αιθυλένιο είναι ένα από τα πιο σημαντικά πετροχημικά. Κάτω από το αιθυλένιο παράγονται τα εξής:

- Πολυαλφασολεφίνες
- Πολυεσωτερολεφίνες
- Πολυβουτένια
- Αλκυλιωμένα Αρωματικά
- Άλλοι υδρογονάνθρακες

Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες είναι πολύ σταθεροί και δεν είναι καύσιμοι. Κάποτε χρησιμοποιούνταν ευρέως ως μονωτικά λάδια, υγρά μεταφοράς θερμότητας και υδραυλικά υγρά, αλλά αυτή η χρήση έχει διακοπεί λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούν.

Η χαμηλή διαβρωτικότητά τους, τα καλά χαρακτηριστικά χαμηλής θερμοκρασίας των βαθμών χαμηλού ιξώδους και οι λιπαντικές τους ιδιότητες είναι επίσης πλεονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα είναι η υψηλή μεταβλητότητά τους. Οι ιδιότητες των χλωροφθορανθράκων είναι συνέπεια του μεγαλύτερου όγκου των ατόμων του χλωρίου και του φθορίου, που εμποδίζει την ευκαμψία του μορίου, των μειωμένων διαμοριακών δυνάμεων συνοχής και των διαφορετικών μηκών δεσμού. Χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά σε συμπιεστές οξυγόνου, σε αντλίες για ανόργανα οξέα, αλογόνα και οξυγόνο και σε μύλους ή αναμικτήρες για ισχυρά οξειδωτικά μέσα.

Είναι επίσης κατάλληλα λιπαντικά για αντλίες στροβίλου σε πυραυλοκινητήρες και ως βασικά λιπαντικά για μη εύφλεκτα υδραυλικά υγρά. Το μέλλον τους γενικότερα είναι ασαφές.

Τα λιπαντικά συνθετικών εστέρων αναπτύχθηκαν στη Γερμανία κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Τα λιπαντικά υδρογονανθράκων δε μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των λιπαντικών των κινητήρων των αεροσκαφών και οι αλκυλεστέρες των αλειφατικών καρβοξυλικών οξέων είχαν ευνοϊκές ιδιότητες. Οι καρβοξυλικές ομάδες, λόγω των ισχυρών διπολικών ροπών τους, μειώνουν την πτητικότητα και αυξάνουν το σημείο ανάφλεξης των λιπαντικών ελαίων και ταυτόχρονα επηρεάζουν θετικά τη θερμική σταθερότητα. Από την άλλη, ωστόσο, επηρεάζουν αρνητικά την υδρολυτική σταθερότητα ενός λιπαντικού και την αντιδραστικότητα με μέταλλα ή κράματα που περιέχουν χαλκό ή μόλυβδο [53]. Οι γενικές ιδιότητες των συνθετικών εστέρων των καρβοξυλικών οξέων έχουν περιγραφεί λεπτομερώς στη βιβλιογραφία (Boyde S.& Randles S.J. , 2013).

Οι πρώτες πολυαλκυλενογλυκόλες κατάλληλες ως λιπαντικά αναπτύχθηκαν κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας δημοσιεύτηκε πιθανώς το 1947 από τους Roberts and Fife. Οι πολυαλκυλενογλυκόλες έχουν περιγραφεί λεπτομερώς από αρκετούς ερευνητές.

Οι πολυαλκυλενογλυκόλες παρασκευάζονται με την αντίδραση εποξειδίων, συνήθως αιθυλενίου και προπυλενοξειδίου, με ενώσεις που περιέχουν ενεργό υδρογόνο, συνήθως αλκοόλες ή νερό, παρουσία ενός βασικού καταλύτη, για παράδειγμα υδροξειδίου του νατρίου ή του καλίου. Η διακύμανση της αναλογίας των εποξειδίων και των ακραίων ομάδων οδηγεί σε διαφορετικά προϊόντα. Πολυμερή με στατιστικά κατανομημένες ομάδες αλκυλενίου παράγονται με τη χρήση ενός μίγματος αλκυλενοξειδίων. Η χωριστή προσθήκη οδηγεί σε μπλοκ συμπολυμερή. Επειδή το οξύδιο του αιθυλενίου είναι πιο δραστικό από το οξύδιο του προπυλενίου, τα τυχαία συμπολυμερή τείνουν να έχουν τις μονάδες οξειδίου του προπυλενίου στα άκρα της αλυσίδας.

Η αναμειξιμότητα με το νερό αυξάνεται με τον αριθμό των μονάδων οξειδίου του αιθυλενίου. Η διαλυτότητα είναι αποτέλεσμα του δεσμού υδρογόνου του νερού με τα ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων του οξυγόνου. Σε διάλυμα, οι υδατοδιαλυτές ποιότητες είναι πρακτικά μη εύφλεκες. Ο υγροσκοπικός χαρακτήρας των πολυαλκυλενογλυκολών εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε υδροξυλική ομάδα (μειώνεται με την αύξηση του μοριακού βάρους και του αριθμού των αιθερικών δεσμών). Η διαλυτότητα στο νερό μειώνεται με τον ίδιο τρόπο. Το ότι μειώνεται επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να εξηγηθεί από την απώλεια δεσμού του υδρογόνου. Η διαλυτότητα στους υδρογονάνθρακες αυξάνεται με το μοριακό βάρος. Οι πολυαλκυλενογλυκόλες γενικά είναι διαλυτές σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

Επιπρόσθετα συνθετικά βασικά λιπαντικά αποτελούν τα εξής:

- Υπερφθοριωμένοι πολυαιθέρες
- Πολυφαινυλαιθέρες
- Πολυσιλοξάνες (έλαια σιλικόνης, σιλικόνες)

Σήμερα, λίγα λιπαντικά περιέχουν μόνο ένα βασικό λάδι, πρώτον επειδή η ανάμειξη δύο ή περισσότερων βασικών ελαίων με διαφορετικές ιδιότητες οδηγεί συχνά σε ένα λιπαντικό με την επιθυμητή απόδοση, και δεύτερον επειδή πολλά από τα πιο πολικά συνθετικά βασικά λιπαντικά χρησιμεύουν ως πρόσθετα σε λιγότερο πολικά λιπαντικά (για παράδειγμα εστέρες σε υδρογονάνθρακες και αντίστροφα). Σε παχύρρευστα συστήματα μπορούν να συνδυαστούν ακόμη και μη αναμίξιμα ρευστά βάσης όπως υδρογονάνθρακες και σύνθετοι εστέρες, υπερφθοριωμένοι αιθέρες ή πολυαλκυλενογλυκόλες.

## 1.7 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Αν και η πιο σημαντική απαίτηση των βασικών ελαίων στη δεκαετία του 1950 ήταν το σωστό ιξώδες και η απουσία όξινων συστατικών, τα βασικά έλαια στη δεκαετία του 1960 υποβαθμίστηκαν σε διαλύτες ή φορείς για πρόσθετα στην ευφορία γύρω από τα χημικά πρόσθετα. Στη δεκαετία του 1970, έγινε αντιληπτό ότι ορισμένα συνθετικά υγρά με ομοιόμορφες βασικές χημικές δομές πρόσφεραν απόδοση ανώτερη από εκείνη των ορυκτών βασικών ελαίων. Την εποχή εκείνη, η σημαντικά υψηλότερη τιμή αυτών των προϊόντων εμπόδισε την αποδοχή τους στην αγορά. Στη δεκαετία του 1980, ωστόσο, εισήχθησαν στη Δυτική Ευρώπη, χαμηλότερης τιμής, συνθετικά υδρογονανθρακικά λάδια που ταίριαζαν με τις ιδιότητες των συνθετικών υδρογονανθράκων (Shell, BP, Fuchs). Στη δεκαετία του 1990, οι εξελίξεις των βασικών λιπαντικών επηρεάστηκαν από τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για την απόδοση του λιπαντικού και από περιβαλλοντικά κριτήρια, αλλά και κριτήρια υγείας και ασφάλειας. Αυτό, οδήγησε σε χημικά πιο καθαρά έλαια όπως προϊόντα υδρογονοπυρόλυσης, πολυαλφαολεφίνες και εστέρες προκειμένου να αποκτήσουν αποδοχή. Τα φυσικά λιπαρά έλαια, ιδιαίτερα τα ελαιοχημικά τους παράγωγα, έχουν γνωρίσει μια αναγέννηση λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών τους αλλά, κυρίως, λόγω της ταχείας βιοδιασπασιμότητάς τους.

Η τάση προς ολοένα και μεγαλύτερες επιδόσεις και ακόμη καλύτερη περιβαλλοντική συμβατότητα συνεχίζεται την πρώτη δεκαετία της νέας χιλιετίας. Η σημαντικά υψηλότερη τιμή των νέων λιπαντικών, τα οποία θα χαρακτηρίζονται όλο και περισσότερο από τα βασικά τους λάδια και λιγότερο από τα χημικά τους πρόσθετα, πιθανότατα θα γίνει αποδεκτή από χρήστες που θα επωφεληθούν από τη μεγάλη διάρκεια ζωής του προϊόντος και το χαμηλότερο συνολικό κόστος τους. Το 2004, σε όλο τον κόσμο, περίπου το 7% (w/w) των βασικών ελαίων ήταν συνθετικά προϊόντα (συμπεριλαμβανομένων των υδρογονοπυρολυμένων ελαίων). Αυτό το τμήμα αυξήθηκε περίπου στο 10% το 2015 (Downey W.R., 2005). Στη Γερμανία, επιπλέον, περίπου το 5% των λιπαντικών βασικών ελαίων ήταν ταχέως βιοαποικοδομήσιμα (φυσικοί και συνθετικοί) εστέρες το 2005. Επιπλέον, η αεριοποίηση των πρώτων υλών που περιέχουν άνθρακα, για παράδειγμα του φυσικού αερίου, βιομάζας και άνθρακα, θα επιτρέψει την παραγωγή συνθετικών λιπαντικά βασικά λάδια υψηλής ποιότητας.

Σύμφωνα με τον Zisman η άνοδος των συνθετικών λιπαντικών ελαίων σε βιομηχανική κλίμακα ξεκίνησε το 1931, όταν ο Sullivan και οι συνεργάτες του δημοσίευσαν τα αποτελέσματα των προσπαθειών τους να φτιάξουν εξατομικευμένα κορεσμένα λιπαντικά με χαμηλά σημεία ροής και καταλυτικό πολυμερισμό των ολεφινών. Οι Gunderson και Hart το 1962 επιμελήθηκαν ένα βιβλίο για τα συνθετικά λιπαντικά. Κάλυψαν εννέα κατηγορίες λιπαντικών ελαίων. Το 1993, ο Shubkin και το 1999 οι Rudnik και Shubkin επεξεργάστηκαν τις προηγούμενες δημοσιεύσεις για το θέμα που παρέλειψαν ορισμένες από τις παλαιότερες τάξεις και πρόσθεσαν κάποιες νέες αντί αυτού. Το 2005 και το 2013, ο Rudnik τα ενημέρωσε (Rudnick, Leslie R. , 2013).



Αν και πολλά από τα συνθετικά βασικά λιπαντικά που διατίθενται σήμερα είχαν αναπτυχθεί πριν από δεκαετίες, η χρήση τους σε μεγάλη τεχνική κλίμακα αυξήθηκε αργά λόγω του σημαντικά υψηλότερου κόστους τους (Lingg G., 2004).

## **2. ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ**

Τεχνικά και εμπορικά, τα λιπαντικά των κινητήρων είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μεταξύ των λιπαντικών και των λειτουργικών υγρών. Στην παγκόσμια αγορά λιπαντικών, αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 60%.

Ενώ η ζήτηση στην Ευρώπη είναι λίγο-πολύ στάσιμη και μπορεί να μειωθεί ελαφρά στο άμεσο μέλλον, παρά τις αυξανόμενες ταξινομήσεις των οχημάτων, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντικό δυναμικό ανάπτυξης στη Νοτιοανατολική Ασία και στις χώρες του τρίτου κόσμου (Κίνα, Ινδία, Κορέα κ.λπ.).

### **2.1 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

Ιστορικά, η ανάπτυξη των λιπαντικών των κινητήρων τα τελευταία 50 χρόνια έχει επικεντρωθεί στις προδιαγραφές που εκδόθηκαν από τη διεθνή βιομηχανία αυτοκινήτων. Ξεκινώντας με τις πρώτες προδιαγραφές που δημοσιεύθηκαν από τον Στρατό των ΗΠΑ (προδιαγραφές MIL), σήμερα υπάρχουν τρία διεθνώς αναγνωρισμένα σύνολα ελάχιστων απαιτήσεων. Στην Ευρώπη, πρόκειται για την ACEA (Association des Constructeurs Europeen d'Automobiles), στις ΗΠΑ και την Ασία API (American Petroleum Institute) και ILSAC, αντίστοιχα.

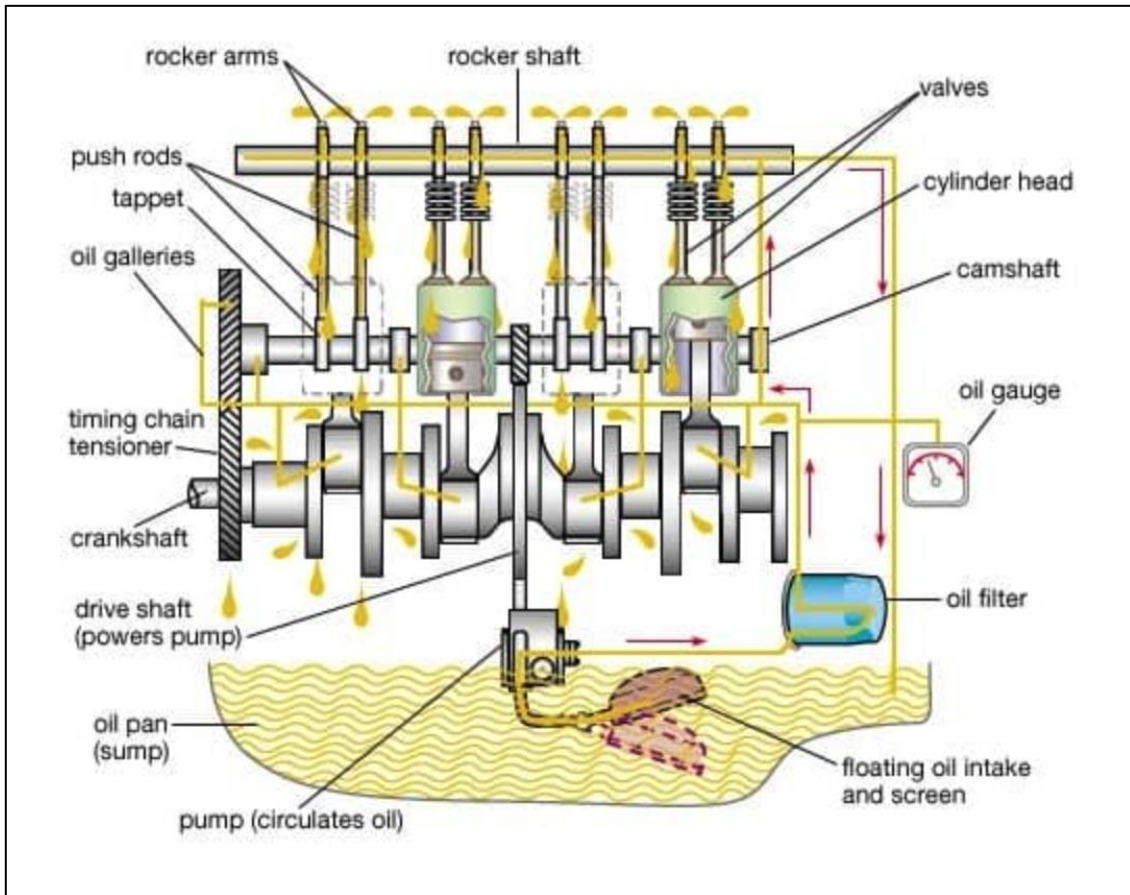
Κατ' αρχήν, όλες οι προδιαγραφές αντικατοπτρίζουν τη διαδοχική προσαρμογή των ιδιοτήτων του λαδιού στις εξελίξεις στο σχεδιασμό του κινητήρα. Πίσω στη δεκαετία του 1950, τα «mono-grade» κυριαρχούσαν στην αγορά λαδιών κινητήρα. Το ιξώδες αυτών των λαδιών ήταν προσαρμοσμένο στην επικρατούσα θερμοκρασία περιβάλλοντος και ως εκ τούτου έπρεπε να αλλάξει μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα. Η δεκαετία του 1960 είδε την ανάπτυξη πολυμορφικών λιπαντικών με βάση τα ορυκτέλαια, δηλαδή συνδυασμένων θερινών και χειμερινών ελαίων, αρχικά τύπων υψηλού ιξώδους (SAE 20W-50) και αργότερα 15W-40. Με την πάροδο του χρόνου, οι διεργασίες απόσταξης και διύλισης των βασικών ελαίων κάλυπταν τις νέες απαιτήσεις ιξώδους και απόδοσης. Αυτό οδήγησε σε νέες ποιότητες με συγκριτικά χαμηλές απώλειες εξάτμισης και βελτιστοποιημένες ιδιότητες ψυχρής ροής. Τα ημισυνθετικά, και τα τελευταία χρόνια, πλήρως συνθετικά λιπαντικά κυριαρχούν στην αγορά υψηλής ποιότητας, ειδικά στον τομέα των επιβατικών αυτοκινήτων. Στο πρόσφατο παρελθόν, δημιουργήθηκε μια άποψη για φιλικά προς το περιβάλλον, βιοαποδομήσιμα προϊόντα στη γερμανόφωνη αγορά. Τα λιπαντικά του κινητήρα πρέπει να εκπληρώνουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών στους κινητήρες. Το καθαρά τριβολογικό έργο συνίσταται στη

διασφάλιση της λειτουργικής αξιοπιστίας όλων των σημείων τριβής σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας (Εικόνα 2.2: Σύστημα λίπανσης σε κινητήρα ). Εκτός από αυτήν την κλασική τριβολογική εργασία, τα λιπαντικά του κινητήρα πρέπει να εκτελούν μια σειρά από πρόσθετες λειτουργίες. Αυτό ξεκινά με τη σφράγιση του κυλίνδρου και τελειώνει με τη μεταφορά λάσπης, αιθάλης και αποξεσμένων σωματιδίων στο φίλτρο λαδιού.



Εικόνα 2.1: Φίλτρο λαδιού (kaman, n.d.)

Ξεκινώντας με τις τριβολογικές συναρτήσεις, ικανοποιούνται τα τρία κλασικά τμήματα του γραφήματος Stribeck, από την υδροδυναμική πλήρη λίπανση έως την ελαστοϋδροδυναμική (EHD) περιοχή στα ρουλεμάν έως τις οριακές συνθήκες τριβής σε TDC και BDC. Καλύπτονται όλα τα ζεύγη τριβής και μια ολόκληρη σειρά παραμέτρων. Ταχύτητες τριβής ολίσθησης από την απλή γραμμική κίνηση προς τα πάνω και προς τα κάτω του εμβόλου στον κύλινδρο, έως τις ακραίες περιστροφικές κινήσεις στα πλωτά ρουλεμάν των κυλίνδρων που βρίσκονται σε προηγμένους στροβιλοσυμπιεστές που περιστρέφονται με τεράστιες ταχύτητες με ανοχές micron. Οι θερμοκρασίες που συναντώνται κυμαίνονται από το περιβάλλον στην Αρκτική ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) έως τις θερμοκρασίες του κάρτερ ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) έως τις μέγιστες τιμές άνω των  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  κάτω από την κορώνα του εμβόλου.



Εικόνα 2.2: Σύστημα λίπανσης σε κινητήρα (learnmech, n.d.)

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της καύσης, το λάδι του κινητήρα βοηθά στη στεγανοποίηση του εμβόλου και του κυλίνδρου. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να καεί από το τοίχωμα του κυλίνδρου χωρίς να αφήνει κανένα υπόλειμμα. Όσο για το ίδιο το έμβολο, το λάδι του κινητήρα διαχέει τη θερμότητα από το έμβολο και έτσι το ψύχει. Τα αέρια που δημιουργούνται κατά την καύση του καυσίμου και τα υποπροϊόντα της αντίδρασης τους πρέπει να εξουδετερωθούν και να διατηρηθούν σε αιώρηση. Το ίδιο ισχύει για την αιθάλη και τα σωματίδια λάσπης που προκαλούνται από την ατελή καύση. Ειδικότερα, τα υψηλότερα επίπεδα αιθάλης στο λάδι του κινητήρα μπορεί να οδηγήσουν σε αξιοσημείωτη αύξηση της φθοράς σε έκκεντρα, ωστήρια, ρουλεμάν, δακτυλίους εμβόλων και άλλα μέρη του κινητήρα με υψηλή πίεση (Antusch S., Dienwiebel M., Nold E., Albers P., Spicher U., Scherge M. , 2010). Το λάδι μεταφέρει επίσης ακαθαρσίες και τυχόν αποξεσμένα σωματίδια στο φίλτρο λαδιού και διασφαλίζει τη δυνατότητα φιλτραρίσματός του (Harenbrock M., Kolczyk M., Gray C., Robson R., 2004). Επιπλέον, κάθε νερό που σχηματίζεται κατά τη διαδικασία της καύσης θα πρέπει να γαλακτωματοποιείται και ακόμη και όταν υπάρχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις και όταν οι φάσεις διαχωρίζονται καθώς πέφτει η θερμοκρασία, το λάδι θα πρέπει να προστατεύει από τη διάβρωση. Η οξίνιση του λαδιού και η διαβρωτική φθορά μπορούν να αυξηθούν ιδιαίτερα κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε μικρή απόσταση (Schwarze H., Knoll G., Longo C., Kornarski M., Emrich, S. , 2010).

Τα λιπαντικά των κινητήρων θα πρέπει να μειώνουν την τριβή και τη φθορά κατά την εκκίνηση σε ακραίες, χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς και όταν το λιπαντικό φιλμ υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις στα ρουλεμάν και γύρω από τους δακτυλίους του εμβόλου. Ενώ το λάδι θα πρέπει ακόμα να ρέει καλά και να μπορεί να αντλείται χωρίς αερισμό σε χαμηλές θερμοκρασίες (έως  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) για να αποφευχθεί η επαφή μετάλλου με μέταλλο κατά την εκκίνηση με κρύο, η λιπαντική μεμβράνη πρέπει να λειτουργεί ικανοποιητικά σε ρουλεμάν και υδραυλικές τάπες. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα πρόσθετα δεν πρέπει να καθιζάνουν και το λάδι δεν πρέπει να πήζει. Στο επάνω άκρο της κλίμακας της θερμοκρασίας, το λάδι πρέπει να προσφέρει μεγάλη αντοχή στη θερμική και μηχανική γήρανση.

Τέλος, η σταθερότητα του λιπαντικού φιλμ δεν πρέπει να μειώνεται με την αραίωση του καυσίμου έως και 10%. Οι προσπάθειες εξοικονόμησης  $\text{CO}_2$  οδήγησαν τα τελευταία χρόνια σε αυξημένη περιεκτικότητα σε αιθανόλη στη βενζίνη, η οποία απαιτεί ακόμη υψηλότερη απόδοση των λιπαντικών του κινητήρα όσον αφορά τη συμβατότητα με το νερό και τα αποτελέσματα της διάβρωσης (Küpper C., Artmann C., Pischinger S., Rabl H.-P. , 2013). Τα λιπαντικά των κινητήρων ντίζελ πρέπει να ανθίστανται σε υψηλότερα περιεχόμενα καυσίμου βιοντίζελ, το οποίο αποτελείται από μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAME), που χρειάζονται υψηλότερο θερμοοξειδωτικό έλεγχο και προστασία από τη διάβρωση στα λιπαντικά του κινητήρα (Shimokoji D. & Okuyama Y. , 2009).

### 2.1.1 Βαθμοί ιξώδους

Το ιξώδες ενός λαδιού κινητήρα είναι ένας δείκτης του πόσο εύκολα μπορεί να σχηματιστεί ένα φιλμ που φέρει φορτίο σε όλα τα σημεία λίπανσης. Καθώς το ιξώδες είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, ισχύει για όλες τις πιθανές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και λειτουργίας. Η επαρκής και ταχεία κυκλοφορία του λαδιού σε χαμηλές θερμοκρασίες, η οποία δίνεται από το χαμηλό ιξώδες πρέπει να επιτυγχάνεται σε ταχύτητες εκκίνησης με κρύα μίζα. Από την άλλη πλευρά, το ιξώδες δεν πρέπει να πέφτει πολύ σε υψηλές θερμοκρασίες, έτσι ώστε να παρέχεται επαρκής σταθερότητα του λιπαντικού φιλμ σε υψηλά θερμικά φορτία.

Καθώς αυτές οι απαιτήσεις δε μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά με μία μόνο μέθοδο δοκιμής του ιξώδους, οι αντίστοιχες τιμές κατωφλίου καθορίστηκαν από την Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτου (SAE) και την Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (ASTM). Αυτός ο πίνακας που δημιούργησαν αναθεωρήθηκε τελευταία φορά τον Απρίλιο του 2013 και προστέθηκε μια νέα κατηγορία ιξώδους (SAE 16) σε σχέση με τη συνεχή ανάπτυξη λιπαντικών κινητήρα χαμηλού ιξώδους για υψηλότερες απαιτήσεις οικονομίας του καυσίμου.

Σύμφωνα με αυτόν τον πίνακα, όλες οι κατηγορίες ιξώδους μπορούν να περιγραφούν από το ελάχιστο κινηματικό τους ιξώδες στους  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Πρόσθετα κατώφλια δυναμικού ιξώδους ισχύουν για χειμερινούς βαθμούς, οι οποίοι εμφανίζουν το γράμμα W. Αυτές οι τιμές προσδιορίζονται στους προσομοιωτές ψυχρής εκκίνησης με μίζα (CCS) ή σε μίνι-περιστροφικά ιξωδόμετρα (MRV). Η τιμή δυναμικού ιξώδους

που δίνεται από το CCS είναι ένα μέτρο των ιδιοτήτων ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπου ο υψηλός ρυθμός διάτμησης μπορεί να καλύψει την κρυστάλλωση παραφίνης. Στο MRV, ένα λεγόμενο ιξώδες κατωφλίου έχει προσδιοριστεί στα 60 000 cP για 10 °C χαμηλότερες θερμοκρασίες για να διασφαλιστεί ότι η αντλία λαδιού δεν αναρροφά αέρα.

Το ιξώδες υψηλής διάτμησης σε υψηλή θερμοκρασία είναι ένα πρόσθετο κριτήριο για την αξιολόγηση της σταθερότητας του φιλμ λιπαντικού σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης και υψηλές θερμοκρασίες σε καλοκαιρινούς βαθμούς. Κατ' αρχήν, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν λιπαντικά μονής ή πολλαπλής ποιότητας, ανάλογα με το κλίμα. Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα σύγχρονα λιπαντικά κινητήρα είναι λιπαντικά πολλαπλών βαθμών των οποίων τα χαρακτηριστικά χαμηλής θερμοκρασίας υποδεικνύονται με το W και το ιξώδες υψηλής θερμοκρασίας με τον αριθμό που ακολουθεί το W. Στην κεντρική Ευρώπη, το 90% της αγοράς των λαδιών κινητήρα αντιπροσωπεύεται από λιπαντικά πολλαπλής ποιότητας.

### 2.1.2 Προδιαγραφές απόδοσης

Ως αποτέλεσμα της συνεχιζόμενης αύξησης της καθορισμένης απόδοσης των λαδιών, οι κορυφαίοι κατασκευαστές αυτοκινήτων ανακάλυψαν τα λιπαντικά ως δομικά στοιχεία και έχουν υιοθετήσει τη φιλοσοφία της ποιότητας τους. Το αποτέλεσμα είναι μια ποιοτική στροφή στην αγορά λαδιών κινητήρα μακριά από τα συμβατικά προϊόντα σε ημισυνθετικές και συνθετικές ενώσεις. Μαζί με την υψηλότερη τιμή τους, οι οικονομικές και οικολογικές απαιτήσεις για αυτά τα λάδια έχουν επίσης αυξηθεί.

Οι λεπτομερείς απαιτήσεις, περιλαμβάνουν:

- μεγαλύτερη διάρκεια ζωής παρά τα υψηλότερα θερμικά και μηχανικά φορτία,
- βελτιωμένα χαρακτηριστικά εκπομπών με μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου,
- χαμηλότερες εκπομπές των σωματιδίων που σχετίζονται με το πετρέλαιο,
- βελτιωμένη συμβατότητα με συσκευές μετεπεξεργασίας καυσαερίων και
- βελτιωμένη προστασία από τη φθορά ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες

Με απλά λόγια, τα λιπαντικά του κινητήρα θα πρέπει να προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες όσον αφορά τη μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου και την επέκταση των διαστημάτων αλλαγής των λαδιών. Επί του παρόντος, τα διαστήματα αλλαγής των λαδιών για αυτοκίνητα είναι μεταξύ 10.000 και 50.000 km και 30.000 έως 150.000 km για φορτηγά. Στο μέλλον, αυτά τα στοιχεία θα μπορούσαν να αυξηθούν ακόμη περισσότερο. Μια αναδρομική άποψη των συγκεκριμένων επιδόσεων πετρελαίου δείχνει ότι αυτό βρίσκεται σε εξέλιξη τα τελευταία 50 χρόνια.

Καθώς οι δοκιμές κινητήρων CEC (Συντονιστικό Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για την Ανάπτυξη Δοκιμών Επιδόσεων για Λιπαντικά και Καύσιμα Κινητήρα) δεν επιτρέπουν τη διεξοδική δοκιμή όλων των απαιτούμενων ιδιοτήτων του λαδιού, χρησιμοποιούνται πλέον και εσωτερικές μέθοδοι. Έχουν πλέον αναληφθεί διάφορες σειρές από μακροχρόνιες δοκιμές, οι οποίες για την ανάπτυξη λιπαντικών, αποτελούν μέρος αυτών των δοκιμών κινητήρα. Συνολικά, αυτές οι δοκιμές αντιπροσωπεύουν τεράστια τεχνική πρόοδο και οικονομικό κόστος, επειδή οι ίδιες οι δοκιμές κινητήρα έχουν συμπληρωθεί με τεχνικές ραδιονουκλιδίων (RNT). Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας έγκεινται στην ηλεκτρονική παρακολούθηση της φθοράς σε καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας, από τη λειτουργία του γκαζιού έως και την επιλεκτική εξέταση κρίσιμων εξαρτημάτων του κινητήρα.

### 2.1.3 Σύνθεση λιπαντικών κινητήρα

Τα λιπαντικά του κινητήρα είναι πολύπλοκα μείγματα που περιγράφονται καλύτερα ως σκευάσματα που περιέχουν βασικά λάδια και πρόσθετα. Σε σύγκριση με άλλες ομάδες λιπαντικών, τα βασικά λάδια παίζουν σημαντικό ρόλο όπως έχει ήδη αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο. Γενικότερα, για τα λιπαντικά του κινητήρα επιλέγονται μείγματα βασικών ελαίων, τα οποία έχουν το απαραίτητο ιξώδες και απόδοση ώστε να αντιστοιχούν σε μια πρόχειρη ταξινόμηση. Στη συνέχεια, τα τελικά προϊόντα διατίθενται στο εμπόριο ως συμβατικά λιπαντικά με βάση τα ορυκτέλαια, μη συμβατικά ημισυνθετικά (υδρογονοπυρόλυση) και συνθετικά λιπαντικά κινητήρα. Η ακριβής διεθνής ονοματολογία χωρίζει τα βασικά έλαια στις ακόλουθες πέντε ομάδες:

- Ομάδα 1: SN ορυκτέλαια με κορεσμένα <math><90\%</math>, - Ομάδα 2: HC έλαια με κορεσμένα  $>90\%</math>,  $80 < VI < 120</math>,  $S < 0,03\%</math>$$$
- Ομάδα 3: HC έλαια με κορεσμένα  $>90\%</math>,  $VI > 120</math>,  $S < 0,03\%</math>$$$
- Ομάδα 4: Πολυαλφαολεφίνες
- Ομάδα 5: Εστέρες και άλλα

Ανάλογα με το βασικό λάδι που χρησιμοποιείται και την απαιτούμενη απόδοση του κινητήρα, τα λιπαντικά του κινητήρα μπορούν να περιέχουν έως και 30 διαφορετικά πρόσθετα των οποίων η ποσοστιαία περιεκτικότητα μπορεί να κυμαίνεται από 5 έως 25% συνολικά. Στη βιομηχανία του πετρελαίου, γίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ των πρόσθετων επιδόσεων, των βελτιωτικών ιξώδους και των βελτιωτικών ροής. Κατά κανόνα, τα πρόσθετα απόδοσης αποτελούν τη μεγαλύτερη ομάδα.

Τα ακόλουθα είδη χημικών συστατικών συνοψίζονται στο γενικό όρο ως «πρόσθετα απόδοσης» (Πίνακας 2.1: Πρόσθετα απόδοσης).

Πίνακας 2.1: Πρόσθετα απόδοσης

Αντιοξειδωτικά	Φαινόλες, αμίνες, φωσφορώδες, θειούχες ουσίες		
Παράγοντες κατά της φθοράς	Διθειοφωσφορικό μέταλλο, καρβαμιδικό		
Απορρυπαντικά	Σουλφονικά Ca και Mg, φαινολικά, σαλικυλικά <table border="1" data-bbox="815 958 1018 1066"> <tr> <td><a href="#">Ασβέστιο</a></td> <td>Ca</td> </tr> </table>	<a href="#">Ασβέστιο</a>	Ca
<a href="#">Ασβέστιο</a>	Ca		
Διασκορπιστικά	Ολιγομερή πολυισοβουτυλενίου και αιθυλενίου-προπυλενίου με άζωτο και/ή οξυγόνο ως λειτουργική ομάδα		
Τροποποιητές τριβής	Ενώσεις MoS, αλκοόλες, εστέρες, αμίδια λιπαρών οξέων κλπ		
Αντιθαμβωτικά μέσα	Σιλικόνη και ακρυλικό		

Οι κατηγορίες ουσιών που αναφέρονται γενικά εκτελούν περισσότερες από μία λειτουργίες. Υπάρχουν, για παράδειγμα, κύρια πρόσθετα κατά της φθοράς, αλλά ταυτόχρονα έχουν δευτερεύοντα αντιοξειδωτικό χαρακτήρα που προκύπτει από έναν ειδικό μηχανισμό αποσύνθεσης. Επιπλέον, σύνθετες συνθέσεις ενός αριθμού μεμονωμένων συστατικών τυπικά εμφανίζουν συνεργικές καθώς και ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις που πρέπει να ταιριάζουν με την εξεταζόμενη εφαρμογή. Η σύνθεση των συστατικών του βασικού ελαίου έχει μια πρόσθετη επίδραση σε αυτές τις συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις. Ως εκ τούτου, απαιτείται σημαντική εμπειρία και τεχνογνωσία για τη δημιουργία της βέλτιστης σύνθεσης.



#### 2.1.4 Βελτιωτικά του ιξώδους

Τα βελτιωτικά του ιξώδους μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες, τη μη πολική, μη διασκορπιστική και την πολική ομάδα διασποράς. Η πρώτη ομάδα χρειάζεται πραγματικά μόνο για τον καθορισμό του ιξώδους των πολυβαθμών λαδιών. Τα βελτιωτικά ιξώδους αυξάνουν το ιξώδες και το δείκτη ιξώδους μεταβάλλοντας τη διαλυτότητά τους σε διάφορες θερμοκρασίες.

Σε απόλυτη συγκέντρωση 0,2–1,0%, μπορούν να δημιουργήσουν μια αύξηση του ιξώδους μεταξύ 50 και 200% ανάλογα με τη χημική δομή και τη διαλυτότητα του βασικού ελαίου. Λόγω ειδικής τροποποίησης, τα βελτιωτικά ιξώδους διασποράς είναι συχνά διασκορπιστικά με πρόσθετα πηκτικά αποτελέσματα. Επιπλέον, τα βελτιωτικά του ιξώδους και τα κατασταλτικά του σημείου ροής έχουν επίδραση στη συμπεριφορά χαμηλής θερμοκρασίας μιας σύνθεσης (PP, CCS, MRV) και αποτελούν βασικά μέρη του ιξώδους HTHS. Στις ΗΠΑ, τίθενται πρόσθετες απαιτήσεις για σταθερότητα σε χαμηλή θερμοκρασία (δείκτης ζελατινοποίησης) που δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς τα βελτιωτικά ιξώδους και τα κατασταλτικά του σημείου ροής να ταιριάζουν με το βασικό λάδι. Λόγω της μεγάλης επίδρασής τους στις ρεολογικές ιδιότητες των λιπαντικών κινητήρα, τα βελτιωτικά ιξώδους μπορούν να συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας των λιπαντικών πολλαπλών βαθμίδων (Lauterwasser F., Hutchinson P., Wincierz C., Ulzheimer S., Gray D., 2012).

#### 2.1.5 Δοκιμή του κινητήρα

Επειδή δε μπορούν να πραγματοποιηθούν οι ρεαλιστικές δοκιμές των λαδιών του κινητήρα μόνο σε μακροχρόνιες δοκιμές πεδίου, μια σειρά από διεθνείς επιτροπές έχουν δημιουργήσει μεθόδους δοκιμής λιπαντικών κινητήρα σε καθορισμένους κινητήρες δοκιμής που λειτουργούν σε αναπαραγώγιμες και πρακτικά σχετικές συνθήκες.

Στην Ευρώπη, η CEC είναι υπεύθυνη για τις δοκιμές, την έγκριση και την τυποποίηση. Οι απαιτήσεις απόδοσης καθορίζονται με τη μορφή των αλληλουχιών των λαδιών ACEA που αποφασίζονται μαζί με τις βιομηχανίες προσθέτων και λιπαντικών. Στις ΗΠΑ, αυτή η εργασία εκτελείται από την αυτοκινητοβιομηχανία και το API. Αυτό το ίδρυμα καθορίζει τις διαδικασίες και τα όρια των δοκιμών. Η ασιατική ILSAC έχει υιοθετήσει σε μεγάλο βαθμό τις αμερικανικές προδιαγραφές για τα αυτοκίνητα.

Όλες οι διαδικασίες δοκιμής κινητήρα εστιάζονται στα ακόλουθα γενικά κριτήρια απόδοσης:

- Οξειδωση και θερμική σταθερότητα
- Διασπορά σωματιδίων αιθάλης και λάσπης
- Προστασία από τη φθορά και τη διάβρωση
- Σταθερότητα αφρισμού και διάτμησης

Αναλυτικά, οι προδιαγραφές των δοκιμών διαφοροποιούν τους κινητήρες αυτοκινήτων με βενζίνη και ντίζελ και τους κινητήρες φορτηγών, όπου κάθε δοκιμαστικός κινητήρας χαρακτηρίζεται από ένα ή μια ομάδα κριτηρίων.

#### 2.1.6 Λιπαντικά κινητήρων επιβατικών αυτοκινήτων

Οι κινητήρες των αυτοκινήτων περιλαμβάνουν όλους τους κινητήρες βενζίνης και ντίζελ με άμεσο ή έμμεσο ψεκασμό. Για να διασφαλιστεί ότι πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις, η απόδοση των λιπαντικών πρέπει να αποδεικνύεται στους αναφερόμενους κινητήρες δοκιμής, ανεξάρτητα από το βαθμό ιξώδους ή το βασικό λάδι που χρησιμοποιείται.

Για βενζινοκινητήρες, η σταθερότητα στην οξειδωση ελέγχεται στο Seq. III G και σε κινητήρα Peugeot TU5JP (και οι δύο σε  $T_{max} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Εκτός από την αύξηση του ιξώδους που σχετίζεται με την οξειδωση, αξιολογείται η επίδραση των εναποθέσεων που προκαλούνται από τη γήρανση στην καθαρότητα του εμβόλου και της αυλάκωσης του δακτυλίου. Άλλες τυποποιημένες δοκιμές επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της λάσπης. Αυτή είναι η ικανότητα ενός λαδιού να διασκορπίζει αποτελεσματικά τα αδιάλυτα στο λάδι υπολείμματα της γήρανσης που προκύπτουν από τη διαδικασία της καύσης. Τα αδιάλυτα και ανεπαρκώς διασκορπισμένα σωματίδια οδηγούν σε μια κολλώδη λάσπη λαδιού που μπορεί να μπλοκάρει τις διόδους και τα φίλτρα λαδιού και έτσι να οδηγήσει σε βλάβες της λίπανσης.

Σύμφωνα με τα M 271 SL και M 111 SL αυτή η λάσπη πρέπει να εξετάζεται οπτικά στο κάρτερ και τις διόδους του λαδιού καθώς και με μέτρηση της αύξησης της πίεσης που δημιουργείται στα φίλτρα. Ενώ οι ευρωπαϊκές δοκιμές M 271 SL και M 111 SL εκτελούνται «σε πιέσεις», δηλαδή σε υψηλά φορτία και ταχύτητες με καύσιμο που είναι ευαίσθητο στη νιτροοξειδωση, η ακολουθία VG εστιάζει στις γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας στη Βόρεια Αμερική που οδηγούν στο σχηματισμό μιας λεγόμενης «κρύας» μαύρης λάσπης. Η δοκιμή του κινητήρα Peugeot TU3MS χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κρίσιμης φθοράς της σειράς βαλβίδων που μπορεί

να επηρεάσει το χρονισμό του κινητήρα. Μετά από ένα πρόγραμμα δοκιμής μεταβλητού φορτίου, αξιολογούνται τα γδαρσίματα του έκκεντρου και η διάνοιξη της τάπας.

Οι ελαφροί κινητήρες δοκιμής ντίζελ, που κερδίζουν δημοτικότητα στα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ευρώπη, είναι αποκλειστικά ευρωπαϊκοί κινητήρες. Πάλι, η σταθερότητα στην οξειδωση και η ειδική διασπορά της αιθάλης για το ντίζελ είναι στην πρώτη γραμμή. Η υψηλότερη απόδοση του καυσίμου και οι χαμηλότερες εκπομπές των ρύπων οδήγησαν σε αύξηση του σχηματισμού της αιθάλης και επομένως έως και 500% πάχυνση του λαδιού. Λόγω των υψηλότερων πιέσεων της καύσης οι θερμοκρασίες της καύσης έχουν επίσης αυξηθεί. Αυτά τα κριτήρια καθώς και η επίδρασή τους στα καυσαέρια ελέγχονται σε intercooler VW 1,9 λίτρων (καθαρότητα εμβόλου και επικαθίσεις) και Peugeot DV4TD (αύξηση ιξώδους σε υψηλό επίπεδο αιθάλης). Πρέπει επίσης να αποφευχθούν δευτερεύουσες επιδράσεις στη φθορά του κυλίνδρου και του έκκεντρου και στη στίλβωση της οπής, γεγονός που δείχνει ότι τα αρχικά σχέδια λείανσης έχουν φθαρεί.

Το 2008, το OM646 LA έλαβε μια σημαντική πρόσθετη δοκιμή πολλαπλών χρήσεων στην ανάπτυξη των λαδιών των κινητήρων ντίζελ. Αυτή η δοκιμή πρέπει να εκτελεστεί με το σημερινό καύσιμο ντίζελ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και δείχνει συνθήκες αιθάλης έως και 8% μετά από 300 ώρες λειτουργίας. Τέτοιες συνθήκες χρειάζονται λάδια κινητήρα με εξαιρετικά καλές ιδιότητες χειρισμού αιθάλης για να αποφευχθούν μεγάλες αυξήσεις ιξώδους και φθορά.

Περαιτέρω δοκιμές ειδικές για κατασκευαστές αυτοκινήτων περιλαμβάνουν τα αυστηρά κριτήρια των εκτεταμένων διαστημάτων αποστράγγισης του λαδιού και της εξοικονόμησης του καυσίμου. Αυτές οι φαινομενικά αντιφατικές πτυχές του χαμηλότερου ιξώδους και της μικρότερης κατανάλωσης από τη μια πλευρά και του χαμηλότερου ιξώδους και της μεγαλύτερης αξιοπιστίας από την άλλη, αποτελούν μια μεγάλη πρόκληση για τους κατασκευαστές λαδιών.

### 2.1.7 Λιπαντικά κινητήρων επαγγελματικών οχημάτων

Τα επαγγελματικά οχήματα περιλαμβάνουν φορτηγά, λεωφορεία, τρακτέρ, θεριζοαλωνιστικές μηχανές, μηχανές κατασκευής και σταθερά μηχανήματα που κινούνται με κινητήρες ντίζελ. Εκτός από τους κινητήρες ντίζελ προθάλαμου, οι οποίοι έχουν σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί στην Ευρώπη, οι κινητήρες είναι συνήθως άμεσου ψεκασμού υψηλής υπερσυμπίεσης. Οι οικονομικές και οικολογικές πτυχές μαζί με τις υψηλές πιέσεις έγχυσης έχουν βελτιώσει την καύση και συνεπώς μειώνουν τις εκπομπές. Ως πρωτοβουλία της ACEA, τα διαστήματα αλλαγής των λαδιών έχουν επεκταθεί έως και 150 000 km για μεγάλες μεταφορές. Τα παρακάτω επισημαίνουν τις θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ των κινητήρων ντίζελ και βενζίνης.

Η μεγάλη διάρκεια ζωής και η αξιοπιστία είναι τα κριτήρια για τον κλάδο των επαγγελματικών οχημάτων. Τα λιπαντικά HD (βαρέως τύπου) πρέπει να πληρούν αυτές τις απαιτήσεις. Οι κυρίαρχες απαιτήσεις είναι η διασπορά μεγάλων συγκεντρώσεων σωματιδίων αιθάλης καθώς και η εξουδετέρωση των υποπροϊόντων

της καύσης του θειικού οξέος. Η απόδοση κρίνεται επίσης από την καθαριότητα του εμβόλου, τη φθορά και τη στίλβωση της οπής. Η οξειδωση και οι εναποθέσεις που σχετίζονται με την αιθάλη, κυρίως στο αυλάκι του άνω δακτυλίου οδηγούν σε κακές αξιολογήσεις του εμβόλου και αύξηση της φθοράς. Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί στην τριβή των μοτίβων λείανσης στους κυλίνδρους, ένα πρόβλημα πιο γνωστό ως γυάλισμα της οπής. Το αποτέλεσμα είναι αυξημένη κατανάλωση λαδιού και φτωχότερη λίπανση του εμβόλου, επειδή το λάδι δε μπορεί να παγιδευτεί από τους δακτυλούς λείανσης. Η ανεπαρκής διασπορά της αιθάλης και λάσπης καθώς και η χημική διάβρωση μπορεί να οδηγήσουν σε πρόωρη φθορά του ρουλεμάν. Τέλος, έχουν αξιολογηθεί και οι προηγμένοι υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες diesel. Τα αέρια που εκπέμπονται μεταφέρουν πάντα λίγη «ομίχλη» λαδιού στην εξάτμιση και οι στροβιλοσυμπιεστές είναι πολύ ευαίσθητοι σε ασταθή εξαρτήματα του λαδιού.

Συνολικά, όλα τα χαρακτηριστικά μπορούν να βρεθούν στα λιπαντικά HD, τα οποία κατανέμονται στις ακόλουθες κατηγορίες με αυξανόμενη απόδοση:

- Βαρέως τύπου (HD)
- Σοβαρά βαρέων καθηκόντων (SHPD)
- Υπερβολικά βαρέων καθηκόντων (XHPD)

Παρά τις πολυάριθμες προσπάθειες για τη χρήση δοκιμών ελέγχου για την εύρεση των πληροφοριών, οι τετρακύλινδροι κινητήρες χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή των κύριων κριτηρίων απόδοσης σε διαδρομές άνω των 400 ωρών και έχουν εκτοπίσει τους αρχικούς μονοκύλινδρους κινητήρες δοκιμής (MWMB, Petter AWB).

Εκτός από τους προαναφερθέντες κινητήρες δοκιμής πολλαπλών χρήσεων OM646 LA, οι ευρωπαϊκές προδιαγραφές απαιτούν έναν κινητήρα OM501 LA Daimler. Τόσο η μία όσο και η άλλη διαδικασία δοκιμής χρησιμοποιούν μόνο λάδια XHPD (διαστήματα αλλαγής λαδιών έως 150 000 km) και τελικά η καθαρότητα του εμβόλου, η φθορά του κυλίνδρου και η στίλβωση της οπής προσδιορίζονται και αξιολογούνται. Ειδικά στο OM501 LA έχουν καταγραφεί εναποθέσεις στον στροβιλοσυμπιεστή καθώς και μείωση της πίεσης. Η προκαλούμενη από την αιθάλη πάχυνση του λαδιού ελέγχεται με τις δοκιμές ASTM (Mack T-8E, Mack T-11).

Ανεξάρτητα από το βαθμό του ιξώδους και τα βασικά λάδια που χρησιμοποιούνται, τα κλασικά λιπαντικά HD έχουν υψηλή εφεδρική αλκαλικότητα και επομένως υψηλότερη περιεκτικότητα σε άλατα αλκαλικών γαιών και οργανικά οξέα [28]. Επίσης, όσον αφορά τα διασκορπιστικά χωρίς τέφρα, τα λάδια είναι σχεδιασμένα για διασπορά της αιθάλης. Ειδικά βελτιωτικά του ιξώδους χρησιμοποιούνται όπως αναφέρθηκε γενικά για την αποφυγή των πρόσθετων εναποθέσεων.

Τα λιπαντικά για στόλους των οχημάτων αποτελούν ιδιαίτερη πρόκληση. Σε αντίθεση με τα ειδικά προϊόντα, αυτά θα πρέπει να ικανοποιούν ταυτόχρονα όσο το δυνατόν περισσότερες απαιτήσεις τόσο των αυτοκινήτων, όσο και των φορτηγών. Η πιθανή καθαριότητα του εμβόλου που παρέχεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις λιπαντικών με υπερβολική βάση θυσιάζεται επειδή οι βενζινοκινητήρες είναι

επιρρεπείς στην αυτανάφλεξη εάν υπάρχουν υψηλές αναλογίες μεταλλικών απορρυπαντικών. Ως αποτέλεσμα, επιλέγονται άλλα συστατικά, όπως η επιδέξια χρήση μη συμβατικών βασικών ελαίων μαζί με απορρυπαντικά, διασκορπιστικά, βελτιωτικά VI και αντιοξειδωτικά.

## 2.2 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι δίχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως όταν η υψηλή ειδική ισχύς, το χαμηλό βάρος και η χαμηλή τιμή είναι βασικές παράμετροι. Έτσι, αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε μοτοσικλέτες, σκάφη (εξωλέμβιοι κινητήρες), τζετ σκι, χορτοκοπτικά, αλυσοπρίονα και μικρά φορτηγά, ενώ η συντριπτική τους πλειονότητα βρίσκεται σε μοτοσικλέτες και σκάφη.

Σχεδόν όλοι οι δίχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούν λίπανση ολικής απώλειας. Το λάδι δεν κυκλοφορεί όπως στην περίπτωση των τετράχρονων κινητήρων αλλά προστίθεται στο καύσιμο. Ένα μεγάλο μέρος καίγεται κατά τη διαδικασία της καύσης, αλλά περίπου το ένα τέταρτο μπορεί να εξαντληθεί ως άκαυστο νέφος λαδιού. Οι απλοί κινητήρες, όπως συναντώνται σε παλαιότερα μοτοποδήλατα, εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τη μέθοδο της προμίξης, η οποία περιλαμβάνει τη χειροκίνητη προσθήκη ενός κατάλληλου δίχρονου λιπαντικού στη δεξαμενή του καυσίμου σε αναλογία περίπου 1:20–1:100. Τα πιο προηγμένα σχέδια χρησιμοποιούν αυτόματο σύστημα μέτρησης του λαδιού. Αυτά είτε προσθέτουν μια σταθερή ποσότητα λαδιού στο καύσιμο είτε προσθέτουν λάδι ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα. Οι τυπικές αναλογίες είναι μεταξύ 1:50 και 1:400.

Στην πλειονότητα των απλών δίχρονων, ο κινητήρας «αναπνέει» μέσω κλασικών καρμπουρατέρ. Σε αντίθεση με τους τετράχρονους κινητήρες, το μείγμα φρέσκου καυσίμου/αέρα σε δίχρονο καθαρίζει τον κύλινδρο μετά την καύση. Αυτή η ταυτόχρονη φόρτιση και άδειασμα προκαλεί περίπου το 20-30% του φρέσκου μείγματος να εξαντλείται χωρίς καύση.

Αυτό το μειονέκτημα, μαζί με τη μόνη μερική καύση του λαδιού, κάνει πολλούς δίχρονους κινητήρες να παράγουν συγκριτικά υψηλές εκπομπές ρύπων. Σε πολυκατοικημένες περιοχές με μεγάλο αριθμό μικρών μοτοσυκλετών, όπως σε πολλές ασιατικές πόλεις, αυτό οδηγεί σε έντονες οσμές, καπνό και ηχορύπανση.

Τα τελευταία χρόνια, αυτά τα τυπικά μειονεκτήματα έχουν αντιμετωπιστεί από ορισμένες εξελίξεις στην τεχνολογία των δίχρονων. Η ανάπτυξη του άμεσου ή έμμεσου ψεκασμού καυσίμου έχει οδηγήσει σε σημαντικά μειωμένες εκπομπές και βελτιωμένη απόδοση του καυσίμου.

Οι σημερινοί κινητήρες απαιτούν αντίστοιχα υψηλής ποιότητας λάδια για αξιόπιστη λειτουργία και μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα κύρια κριτήρια για την ποιότητα των δίχρονων λαδιών είναι τα εξής:

- Ιδιότητες λιπαντικότητας και κατά της φθοράς
- Λειτουργία καθαρισμού (ιδιότητες απορρυπαντικού/διασκορπιστικού)
- Αποφυγή εναποθέσεων στο σύστημα της εξάτμισης
- Χαμηλά επίπεδα καπνού
- Καθαριότητα μπουζί και αποφυγή της προανάφλεξης
- Καλή αναμειξιμότητα του καυσίμου ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Προστασία από τη διάβρωση
- Καλές ιδιότητες ροής

Περίπου το 85–98% των δίχρονων λιπαντικών είναι βασικά λιπαντικά με τα υπόλοιπα να αποτελούνται από διάφορα πρόσθετα που, όπως και τα τετράχρονα λιπαντικά των κινητήρων, παρέχουν μια σειρά από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά. Κατ'αρχήν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα κοινά βασικά λάδια, που κυμαίνονται από τύπους Brightstocks, Solvent Neutral έως πλήρως συνθετικές πολυαλφαολεφίνες. Καθώς τα περισσότερα δίχρονα λιπαντικά δεν χρειάζεται να έχουν ιδιαίτερα καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα Brightstocks χρησιμοποιούνται συχνά για να επιτύχουν το επιθυμητό ιξώδες. Εκτός από τους τύπους των υδρογονανθράκων, τα δίχρονα λιπαντικά υψηλότερης ποιότητας περιέχουν συχνά διάφορους συνθετικούς εστέρες και αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα βιοαποικοδομήσιμα λιπαντικά που αναπτύχθηκαν ειδικά για τους εξωλέμβιους κινητήρες θαλάσσης.

Τα πρόσθετα στα δίχρονα λιπαντικά συνήθως ταιριάζουν με τις απαιτήσεις του κινητήρα. Όπως και στην περίπτωση των τετράχρονων κινητήρων, περιλαμβάνονται πρόσθετα κατά της φθοράς τα οποία αλληλεπιδρούν χημικά με μεταλλικές επιφάνειες για προστασία από τη φθορά, ιδιαίτερα σε συνθήκες οριακής τριβής. Μαζί με τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους διαλκυλοδιθειοφωσφορικούς ψευδάργυρους, χρησιμοποιούνται τύποι που δεν σχηματίζουν τέφρα, όπως εστέρες διθειοφωσφορικού οξέος και αρυλεστέρες ή φωσφορικά οξέα.

Διασκορπιστικά και απορρυπαντικά (συστήματα DD) προστίθενται στο λάδι για να διατηρείται ο κινητήρας καθαρός και να αποφεύγονται εναποθέσεις στο θάλαμο της

καύσης και γύρω από τους δακτυλίους του εμβόλου. Συχνά, χρησιμοποιούνται αλκάλια ή αλκάλια γαιών σουλφονικών και/ή φαινολικών ενώσεων. Τα διασκορπιστικά είναι συχνά ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους, οι οποίες είναι ικανές να παγιδεύουν και να εναιωρούν ρύπους.

Επιπλέον, τα δίχρονα λιπαντικά περιέχουν μικρές ποσότητες αντιοξειδωτικών, αναστολέων διάβρωσης, αντιαφριστικών και βελτιωτικών ροής εκτός από πρόσθετα κατά της φθοράς και DD.

Τα δίχρονα λιπαντικά χαμηλής κατανάλωσης καπνού περιέχουν σημαντική ποσότητα πολυβουτενίων (περίπου 10–50%). Πρόκειται για πλήρως συνθετικά υγρά, τα οποία διατίθενται σε διάφορα ιξώδη. Εκτός από την καλή λιπαντικότητα σε σύγκριση με τα ορυκτέλαια, αυτά τα υγρά προσφέρουν πολύ καθαρότερη καύση και σημαντικά λιγότερο οππάνθρακα [38,39].

Όπως και με τα τετράχρονα λιπαντικά, τα δίχρονα λιπαντικά κατανέμονται σε ορισμένες ομάδες απόδοσης που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις κατάλληλες εφαρμογές. Η βάση για όλα τα προαναφερόμενα συστήματα ταξινόμησης είναι μια σειρά εργαστηριακών και λειτουργικών δοκιμών, με τις τελευταίες να είναι δοκιμές πάγκου που πραγματοποιούνται σε δίχρονους κινητήρες τελευταίας γενιάς.

Το API απαριθμεί επί του παρόντος τρεις κατηγορίες που καλύπτουν όλους τους κινητήρες από χλοοκοπτικά χαμηλής ισχύος έως και μοτοσικλέτες υψηλής απόδοσης. Οι δοκιμές του κινητήρα δεν εκτελούνται πλέον επειδή οι καθορισμένοι κινητήρες δοκιμής πλέον δεν κατασκευάζονται. Στο μέλλον, σχεδιάζεται η αντικατάσταση των ομάδων API με ιαπωνικές ταξινομήσεις JASO (Ιαπωνικός Οργανισμός Προτύπων Αυτοκινήτου) και Παγκόσμιος Οργανισμός Προτύπων (ISO). Εξακολουθεί να υπάρχει μια σειρά από λάδια στην αγορά με ταξινομήσεις API, επειδή αυτό το σύστημα ήταν ευρέως αποδεκτό στο παρελθόν.

Η JASO, στην οποία ανήκουν όλοι οι μεγάλοι Ιάπωνες κατασκευαστές οχημάτων, κατατάσσει σήμερα τα δίχρονα λιπαντικά σε τρεις ομάδες, FB, FC και FD, σύμφωνα με το πρότυπο JASO M345.

Όλες οι κατηγορίες χρησιμοποιούν τους ίδιους κινητήρες δοκιμής και η αντίστοιχη κατηγορία απόδοσης κατανέμεται σύμφωνα με προκαθορισμένα όρια. Τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιορίζονται σε σύγκριση με ένα επακριβώς καθορισμένο, υψηλής απόδοσης λάδι αναφοράς (JATRE 1) και δημοσιεύονται ως δείκτης σε σχέση με το JATRE 1. Τα βασικά κριτήρια δοκιμής είναι η λιπαντική και απορρυπαντική δράση του λαδιού καθώς και η τάση του να δημιουργεί καπνό και επικαθίσεις στο σύστημα εξάτμισης. Η πρώτη προδιαγραφή για λάδι χαμηλού καπνού δημιουργήθηκε με την τοποθέτηση της JASO FC. Τα λιπαντικά που πληρούν τις επιδόσεις JASO FD παρουσιάστηκαν το 2004 και έχουν τις υψηλότερες απαιτήσεις στην καθαριότητα του κινητήρα (απορρυπαντικό αποτέλεσμα).

Στα μέσα της δεκαετίας του '90, αφού τα λιπαντικά JATRE 1 δοκιμάστηκαν σε ευρωπαϊκές δοκιμές κινητήρων, κατέστη σαφές ότι τα λιπαντικά JASO FC δε μπορούσαν πλέον να ικανοποιήσουν τις τελευταίες απαιτήσεις των ευρωπαϊκών δίχρονων κινητήρων. Μια σειρά εκτεταμένων δοκιμών που ικανοποιούσαν όλες τις απαιτήσεις αναπτύχθηκε έτσι στην Ευρώπη. Εκτός από τη δοκιμή καπνού, επικαθίσεων του συστήματος εξάτμισης, λιπαντικότητας και απορρυπαντικού

σύμφωνα με το JASO, προστέθηκε μια νέα κατηγορία με δοκιμή ενός Honda Dio 3 ωρών για τον ποσοτικό προσδιορισμό της βελτιωμένης καθαριότητας του εμβόλου και της επίδρασης του απορρυπαντικού. Το λάδι αναφοράς για όλες τις δοκιμές ήταν το JATRE 1. Αυτές οι νέες οδηγίες δημιουργήθηκαν από τις ομάδες εργασίας της CEC στις οποίες εκπροσωπούνται οι ευρωπαϊκοί κατασκευαστές κινητήρων και λιπαντικών.

Το ISO κατατάσσει πλέον τα δίχρονα λιπαντικά σε τρεις κατηγορίες, ISO-L-EGB, -EGC και -EGD. Οι κατηγορίες ISO-L-EGB και EGC αντικατοπτρίζουν τις απαιτήσεις των κατηγοριών JASO FB και FC ενώ απαιτούν πρόσθετη απόδειξη καθαριότητας του εμβόλου. Το ISO-L-EGC και το -EGD απαιτούν απόδειξη χαμηλού επιπέδου καπνού όπως το JASO FC.

### 2.2.1 Λάδια για δίχρονους εξωλέμβιους κινητήρες

Ούτε οι ταξινομήσεις API ούτε οι JASO ή ISO περιέχουν οδηγίες της ποιότητας για τα λιπαντικά των εξωλέμβιων κινητήρων. Συνήθως πρόκειται για λάδια των οποίων η σύνθεση και τα χαρακτηριστικά έχουν ταιριάξει με τις τεχνολογίες των κινητήρων, οι οποίες έχουν καθιερωθεί για την τροφοδότηση των σκαφών. Η κύρια διαφορά με άλλα δίχρονα λιπαντικά έγκειται στη χημεία των προσθέτων τους. Τα πρόσθετα σε αυτά τα λάδια δε σχηματίζουν τέφρα, επειδή αυτοί οι κινητήρες εμφανίζουν έντονη τάση οπτανθρακοποίησης σε ορισμένα μέρη του θαλάμου καύσης, όπως στις αυλακώσεις των δακτυλίων. Εάν, χρησιμοποιούνταν λάθος πρόσθετα, αυτό θα οδηγούσε σε σοβαρή λειτουργική βλάβη.

Τα πρόσθετα έχουν τις ίδιες λειτουργίες όπως σε άλλα δίχρονα λιπαντικά, αλλά είναι χημικά διαφορετικά. Δε χρησιμοποιούνται εξαρτήματα που μπορούν να σχηματίσουν εναποθέσεις ή υπολείμματα σαν τέφρα σε υψηλά θερμικά φορτία ή κατά την καύση. Δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλατα μετάλλων όπως ψευδάργυρος (αντι-φθοράς) ή ασβέστιο/μαγνήσιο (απορρυπαντικά) που βρίσκονται συχνά στα λιπαντικά κινητήρα. Ωστόσο, όλα αυτά τα λάδια χρησιμοποιούν τυπικά βασικά έλαια. Οι κατηγορίες απόδοσης των δίχρονων λιπαντικών για εξωλέμβιους κινητήρες αναπτύχθηκαν κυρίως από την αμερικανική NMMA (National Marine Manufacturers Association). Όλοι οι σημαντικοί Αμερικανοί κατασκευαστές εξωλέμβιων κινητήρων ανήκουν στο NMMA. Το 1975, οι ελάχιστες απαιτήσεις τέτοιων λιπαντικών ενσωματώθηκαν στην προδιαγραφή TCW. Το 1988, εκδόθηκε μια εκτεταμένη αναθεώρηση με τον τίτλο TCW 2. Τα επόμενα χρόνια παρουσιάστηκαν προβλήματα με τεχνολογικά προηγμένους κινητήρες, οι οποίοι λειτουργούσαν με λάδια TCW ή TCW 2. Αυτό ξεκίνησε μια περαιτέρω αυστηροποίηση των ελάχιστων απαιτήσεων, η οποία κυκλοφόρησε ως TCW 3. Το 1997, τα πρότυπα για την ποιότητα του λαδιού αυξήθηκαν ξανά για να συμβαδίζουν με τις συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των κινητήρων. Η νέα προδιαγραφή, TCW 3-R (R = εκ νέου πιστοποίηση), περιλαμβάνει πλέον εργαστηριακές δοκιμές και δοκιμές σε πέντε διαφορετικούς κινητήρες, τρεις από τους οποίους είναι εξωλέμβιοι. Το κόστος που δημιουργείται από τη δοκιμή ανάπτυξης ενός προϊόντος TCW 3-R δεν ήταν ποτέ τόσο υψηλό. Μόνο οι δοκιμές κινητήρα δημιουργούν κόστος περίπου 150.000–200.000 \$.



## 2.2.2 Φιλικά προς το περιβάλλον δίχρονα λιπαντικά

Η ολοένα αυξανόμενη αυστηρότητα της περιβαλλοντικής νομοθεσίας επηρεάζει επίσης την ανάπτυξη των δίχρονων λιπαντικών, ειδικά λιπαντικών εξωλέμβιων κινητήρων. Τέτοια οικολογικά βελτιστοποιημένα λιπαντικά έχουν συχνά διαφορετικές περιφερειακές ταξινομήσεις, οι οποίες αντικατοπτρίζουν την τοπική περιβαλλοντική νομοθεσία και η βιοδιασπασιμότητά τους εξαρτάται από ποικίλες ελάχιστες απαιτήσεις.

Σε διεθνές επίπεδο, το ICOMIA (Διεθνές Συμβούλιο Ενώσεων Ναυτιλιακής Βιομηχανίας) έχει καθορίσει εναρμονισμένες απαιτήσεις [38]. Το 1997, το ICOMIA Standard 27–97 εγκρίθηκε για φιλικά προς το περιβάλλον λιπαντικά εξωλέμβιων κινητήρων. Από τεχνική άποψη, τα προϊόντα που επισημαίνονται με αυτόν τον τρόπο πρέπει να πληρούν τουλάχιστον το πρότυπο TCW 3-R, καθώς και να προσφέρουν πολύ χαμηλή τοξικότητα από φύκια και ψάρια και ταχεία βιοδιασπασιμότητα, όπως ορίζεται από τα πρότυπα ISO και ΟΟΣΑ. Αυτά τα λιπαντικά βασίζονται σε πλήρως συνθετικά συστατικά με τα βασικά λιπαντικά να είναι συνήθως ταχέως βιοδιασπώμενοι συνθετικοί εστέρες. Χρησιμοποιώντας αντίστοιχα υψηλής ποιότητας εστέρες, αυτά τα προϊόντα είναι τα καλύτερα δίχρονα λιπαντικά και μπορούν ακόμη και να χρησιμοποιηθούν για λίπανση των αλυσσοπρίονων. Η χρήση των λιπαντικών με βάση τους εστέρες συνδυάζει την υψηλότερη τεχνική απόδοση με βελτιωμένη περιβαλλοντική συμβατότητα.

## 2.3 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΡΑΚΤΕΡ

Οι σχετικά νεότερες γενιές κατασκευαστικών και γεωργικών μηχανημάτων έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε λειτουργικά ρευστά. Για λόγους απλοποιημένου σέρβις αλλά και λόγω της γενικής επιθυμίας εξορθολογισμού των αποθεμάτων, αναπτύχθηκαν λάδια γενικής χρήσης που ικανοποιούν τις διάφορες λειτουργικές απαιτήσεις τέτοιων μηχανών.

Αυτά τα λιπαντικά θα πρέπει να εγγυώνται μεγάλη διάρκεια ζωής του μηχανήματος σε όλες τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και να επεκτείνουν τα διαστήματα σέρβις και να μειώνουν το χρόνο διακοπής της λειτουργίας. Οι κατασκευαστές λαδιών καλωσορίζουν την πιθανή χρήση τους σε μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων.

Σήμερα, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές τεχνολογίες λαδιών που χαρακτηρίζονται από την περιοχή της εφαρμογής τους. Είναι λάδια γενικής μετάδοσης τρακτέρ (UTTO) και λάδια σούπερ τρακτέρ γενικής χρήσης (STOU). Ο Πίνακας 9.15 δείχνει πού χρησιμοποιούνται σε τρακτέρ.

Πίνακας 2.2: UTTO και STOU λιπαντικά

UTTO	STOU
Υδραυλικό σύστημα	Υδραυλικό σύστημα
Κιβώτιο ταχυτήτων	Κιβώτιο ταχυτήτων
Υγρά φρένων	Κινητήρας υγρών φρένων

Οι απαιτήσεις για τα λιπαντικά τρακτέρ έχουν αυξηθεί απότομα σύμφωνα με την πρόοδο στην τεχνολογία των οχημάτων και την ευκολία λειτουργίας. Οι προηγούμενες γενιές τρακτέρ είχαν κιβώτια χειροκίνητης αλλαγής ταχυτήτων, καθώς και σχετικά απλά σχέδια του πίσω άξονα. Σήμερα, η τελευταία λέξη της τεχνολογίας είναι τα πολύπλοκα υδραυλικά συστήματα, οι υδροδυναμικές μονάδες μετάδοσης κίνησης (επιβραδυντές/διαχωρισμός ισχύος) ή τα συστήματα πέδησης υγρού (ελαίου). Παλαιότερα, για τη γενική λίπανση καθώς και για τα υδραυλικά κυκλώματα χρησιμοποιούνταν απλά λιπαντικά κινητήρα ή λιπαντικά μειωμένων προσθετικών.

Η τεχνική πρόοδος στα τρακτέρ απαιτούσε σημαντική βελτίωση στα υγρά λειτουργίας, όπως συνέβη σε ολόκληρο τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Εκτός από τις μεγάλες βελτιώσεις στην τεχνολογία των πρόσθετων για την αντιμετώπιση των μεγαλύτερων μηχανικών απαιτήσεων, η σταθερότητα της γήρανσης των υγρών έχει αυξηθεί αντανακλώντας δραματικά υψηλότερες ειδικές εξόδους ισχύος και χαμηλότερους όγκους λαδιού.

Η χρήση όλων των εποχών είναι πλέον μια τυπική απαίτηση για τα λιπαντικά τρακτέρ, όπως συμβαίνει και στον τομέα του αυτοκινήτου. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι βαθμοί ιξώδους (που ορίζονται σύμφωνα με το SAE J 300) και επομένως τα εύρη θερμοκρασίας έχουν επεκταθεί από SAE 15W-30 και 10W-30 σε 15W-40, 10W-40 και 5W-40.

Η απόδοση τέτοιων λαδιών γενικής χρήσης όπως τα υδραυλικά υγρά αντιστοιχεί, τουλάχιστον, στα επίπεδα HLP και HVLP λόγω των προσθέτων που περιλαμβάνονται για την εγγύηση της καθολικής χρήσης.

Η χρήση αυτών των προϊόντων σε κιβώτια ταχυτήτων των οχημάτων και σε υγρά φρένων δημιουργεί πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις στο υγρό. Οι μονάδες της μηχανικής μετάδοσης της κίνησης με μεγάλη πίεση έχουν μεγάλες απαιτήσεις όσον αφορά την προστασία από τη φθορά και τη διάρκεια ζωής του λιπαντικού. Κατά κανόνα, η καταλληλότητα του κιβωτίου ταχυτήτων υποδεικνύεται από την κατηγορία API του αυτοκινήτου, συνήθως τουλάχιστον GL-4. Ωστόσο, ενδέχεται να πρέπει επίσης να πληρούνται οι εσωτερικές προδιαγραφές όπως τα ZF TE-ML 06/07, Allison C-4 ή Caterpillar TO-2. Μια ιδιαίτερη πρόκληση για τις συνθέσεις των λιπαντικών είναι η χρήση αυτών των προϊόντων σε υγρά φρένων που ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1960. Τουλάχιστον για λόγους ασφαλείας, τέτοια λιπαντικά πρέπει να προσφέρουν υψηλή θερμική σταθερότητα και ισορροπημένα και σταθερά χαρακτηριστικά τριβής στα φρένα. Οι πολύ υψηλές, ή πολύ χαμηλές τιμές τριβής μπορούν εύκολα να οδηγήσουν

σε υπερβολική φθορά στα τακάκια και τους δίσκους αλλά και σε ανομοιόμορφο φρενάρισμα και δυσάρεστο τρίξιμο του φρένου. Η λεπτή ρύθμιση αυτών των λιπαντικών με ειδικούς τροποποιητές τριβής είναι μια από τις πιο δύσκολες πτυχές της ανάπτυξης τέτοιων λιπαντικών.

Ενώ τα λιπαντικά UTTO μπορούν να ικανοποιήσουν τις παραπάνω εφαρμογές, η χρήση τους ως λιπαντικά κινητήρα απαιτεί πολύ διαφορετικά πρόσθετα. Εκτός από τους στόχους των πρόσθετων UTTO για τον έλεγχο της τριβής και της φθοράς, τους σταθεροποιητές χαμηλής θερμοκρασίας, τους αναστολείς οξείδωσης, διάβρωσης και αφρού, τα λιπαντικά του κινητήρα απαιτούν επιπλέον σημαντικές ποσότητες απορρυπαντικών και διασκορπιστικών. Αυτά διασφαλίζουν την καθαριότητα του κινητήρα και την επαρκή μεταφορά λάσπης (ιδίως αιθάλης). Κατά κανόνα, οι κινητήρες με κανονική αναρρόφηση απαιτούν, τουλάχιστον, λάδι API CE και εάν υπάρχει στροβιλοσυμπιεστής, το λάδι πρέπει να είναι API CF ή CF-4. Για τις τελευταίες γενιές κινητήρων προτείνονται λάδια επιπέδου απόδοσης ACEA E7 ή API CI-4. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι κατασκευαστές των κινητήρων τρακτέρ εκδίδουν εγκρίσεις για λιπαντικά αφού ολοκληρώσουν επιτυχώς τις δοκιμές στους αντίστοιχους κινητήρες. Παραδείγματα αυτού είναι το Deutz DQC I ή το DQC III.

Η τελευταία γενιά λαδιών τρακτέρ δεν περιλαμβάνει μόνο προϊόντα με σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις από ό,τι στο παρελθόν, αλλά και λάδια που προσφέρουν καλύτερη περιβαλλοντική συμβατότητα. Τέτοια προϊόντα περιέχουν συχνά βασικά έλαια κράμβης ή ηλίανθου ή συνθετικούς, ταχέως βιοαποδομήσιμους εστέρες.

Οι κατασκευαστές τρακτέρ εκδίδουν πλέον τις δικές τους, εσωτερικές προδιαγραφές υγρών, οι οποίες ικανοποιούν όλες τις ειδικές απαιτήσεις των αντίστοιχων μηχανημάτων.

## **2.4 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ**

Η λειτουργία των κινητήρων εσωτερικής καύσης με αέριο αντί για υγρά καύσιμα δεν είναι κάτι καινούργιο. Το αέριο χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό για την τροφοδοσία των οχημάτων και σταθερών κινητήρων. Τέτοιοι κινητήρες απαιτούν μια ποικιλία λιπαντικών, ανάλογα με τον τύπο και τις συνθήκες λειτουργίας.

Οι κινητήρες φυσικού αερίου παράγουν σημαντικά λιγότερες εκπομπές από τις μονάδες που κινούνται με βενζίνη. Αυτό οδήγησε σε αυξανόμενη χρήση. Ωστόσο, καθώς το αέριο δεν είναι τόσο παγκοσμίως διαθέσιμο όσο η βενζίνη ή το καύσιμο ντίζελ στα πρατήρια καυσίμων, η ισχύς του αερίου τείνει να χρησιμοποιείται για στόλους που μπορούν να γεμίσουν κεντρικά, για παράδειγμα αστικά λεωφορεία, σχολικά λεωφορεία ή άλλα οχήματα μεταφοράς μικρών αποστάσεων. Πολλοί κινητήρες αυτοκινήτων και φορτηγών μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να λειτουργούν με αέριο χωρίς μεγάλο κόστος.

Οι κινητήρες αερίου για σταθερές εφαρμογές είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες σε περιοχές όπου το φυσικό αέριο είναι διαθέσιμο και φτηνό. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται συχνά για την τροφοδοσία γεννητριών ηλεκτρικής ενέργειας ή

συμπιεστών μεταφοράς αγωγών. Εκτός από το φυσικό αέριο, το αέριο υγειονομικής ταφής χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στις μέρες μας (οι μονάδες απορριμμάτων και οι μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων χρησιμοποιούν συχνά το αέριο για την κίνηση των γεννητριών ενέργειας). Στο στατικό πεδίο, χρησιμοποιούνται τόσο δίχρονοι όσο και τετράχρονοι κινητήρες. Ομοίως με τους κινητούς κινητήρες αερίου, αυτοί βασίζονται σε συμβατικά σχέδια με καύσιμο, αλλά είναι ειδικά κατασκευασμένα για την ιδιαίτερη εφαρμογή τους. Οι συνθήκες λειτουργίας των οχημάτων και των στατικών κινητήρων διαφέρουν πολύ. Ενώ οι κινητήρες των οχημάτων διαρκούν περίπου 5000 ώρες σε ταχύτητες έως και 6000 σ.α.λ., οι σταθεροί κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν για δεκαετίες αλλά σε σημαντικά χαμηλότερες ταχύτητες. Αυτό επηρεάζει την επιλογή των υλικών και των ρευστών λειτουργίας.

Πολλά αέρια χρησιμοποιούνται σε κινητήρες αερίου. Πιο συχνά χρησιμοποιείται και ειδικά για αυτοκίνητα, το φυσικό αέριο, είτε υπό πίεση ως CNG (συμπιεσμένο φυσικό αέριο, κυρίως μεθάνιο) είτε ως LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο, κυρίως προπάνιο-βουτάνιο). Το CNG είναι μακράν το πιο κοινό. Όσον αφορά τη χρήση του αερίου ως καυσίμου, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένα ποιοτικά κριτήρια. Η δομή των υδρογονανθράκων, η θερμογόνο δύναμη, η παρουσία νερού και κυρίως η μόλυνση με άλλα αέρια όπως το υδρόθειο, οι ενώσεις αλογόνου, έχουν όλα καθοριστικό αντίκτυπο. Σε αντίθεση με το αέριο που χρησιμοποιείται για κινητές εφαρμογές, οι σταθεροί κινητήρες πρέπει συχνά να λειτουργούν με διαφορετικές ποιότητες αερίου που εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες. Ο σχεδιασμός και τα λιπαντικά για κινητήρες που καίνε αέρια υγειονομικής ταφής πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά επειδή αυτά τα αέρια μπορεί να περιέχουν έναν αριθμό ρύπων και συχνά μπορεί να είναι διαβρωτικά.

Δεν υπάρχει επί του παρόντος καθολική, εναρμονισμένη προδιαγραφή για τα λιπαντικά βενζίνης των επιβατικών αυτοκινήτων. Οι μεγάλες διακυμάνσεις στις συνθήκες λειτουργίας μεταξύ των κινητών και των σταθερών κινητήρων απαιτούν γενικά λάδια με διαφορετικές συσκευασίες πρόσθετων. Γίνεται μια γενική διαφοροποίηση μεταξύ των τύπων υψηλής, μεσαίας και χαμηλής τέφρας που προτείνονται από τους κατασκευαστές σύμφωνα με τη σχεδιασμένη χρήση του κινητήρα. Κατά κανόνα, τα λιπαντικά των κινητήρων αερίου υπόκεινται σε υψηλή οξειδωση και νίτρωση που μπορεί να επιταχύνει τη γήρανση του λαδιού. Τα αυτοκίνητα με φυσικό αέριο χρησιμοποιούν συνήθως τα ίδια συμβατικά λιπαντικά κινητήρα που χρησιμοποιούνται σε βενζινοκινητήρες που χρησιμοποιούν αέριο (ποιότητες ACEA A3/B4, A5/B5 ή C2/C3 καθώς και τύποι απόδοσης API SH/SJ/SL/SM). Ομοίως με τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, τα λιπαντικά πολλαπλών βαθμίδων χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των μεταβλητών συνθηκών λειτουργίας και για την εγγύηση της αξιόπιστης λίπανσης σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Καθώς ο αριθμός των αυτοκινήτων που κινούνται με CNG αυξάνεται, τόσο αυξάνεται η πίεση για την ανάπτυξη λιπαντικών, τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα για αυτές τις εφαρμογές, με υψηλότερη αντιγήρανση και χαμηλότερη τάση στο σχηματισμό τέφρας.

Ειδικά λιπαντικά πολλαπλής ποιότητας έχουν ήδη αναπτυχθεί για χρήση σε βαριούς κινητήρες ντίζελ, με τα λεωφορεία που κινούνται με CNG να είναι η κύρια εφαρμογή. Αυτά έχουν δοκιμαστεί και εγκριθεί από διάφορους κατασκευαστές

κινητήρων. Παραδείγματα αυτών των εγκρίσεων είναι το Mercedes–Benz Sheet 226.9 ή το MAN M 3271. Αυτά τα λιπαντικά δοκιμάστηκαν σε δοκιμές πάγκου καθώς και σε ρεαλιστικές δοκιμές.

Οι σταθεροί κινητήρες αερίου μπορούν να έχουν πολύ πιο σύνθετες απαιτήσεις στο λάδι και αυτό έχει επίδραση στην ανάπτυξή τους. Ενώ οι κοινές δοκιμές πάγκου ACEA ή API επαρκούν για τους κινητήρες των αυτοκινήτων που κινούνται με CNG, οι εργαστηριακές δοκιμές σε λιπαντικά κινητήρων αερίου περιορίζονται στον αρχικό έλεγχο των λαδιών. Η πραγματική εξέλιξη λαμβάνει χώρα σε δοκιμές στις οποίες οι κινητήρες συχνά πρέπει να λειτουργούν για χρόνια πριν αξιολογηθούν. Ενώ δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο σχηματισμό της λάσπης, στις εναποθέσεις του άνθρακα, στη φθορά των βαλβίδων και στη χαμηλή θερμοκρασία της ροής στους κινητήρες των αυτοκινήτων, άλλες επιδράσεις είναι σημαντικές στους στατικούς κινητήρες. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο έλεγχος της γήρανσης του λαδιού που προκαλείται από την οξείδωση και τη νίτρωση αλλά και την προανάφλεξη που προκαλείται από τα υψηλά επίπεδα των πρόσθετων που σχηματίζουν τέφρα και μπορούν να δημιουργήσουν εναποθέσεις που καταλήγουν σε θερμά σημεία διαταράσσοντας τη φάση της συμπίεσης. Αυτό το πρόβλημα είναι πιο διαδεδομένο στους δίχρονους κινητήρες, οι οποίοι γενικά χρειάζονται λάδια χαμηλής τέφρας. Απλώς, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, τα λιπαντικά των κινητήρων αερίου θα πρέπει να προστατεύουν από την υποχώρηση της έδρας της βαλβίδας και τη ρύπανση του μπουζί. Αυτά τα προβλήματα μερικές φορές περνούν απαρατήρητα για χιλιάδες ώρες σε ακίνητους κινητήρες. Όσον αφορά τη λειτουργία με διαβρωτικά αέρια (που προκαλούνται από μόλυνση από θείο ή αλογόνο), πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επαρκή αντιδιαβρωτική προστασία.

## **2.5 ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΓΙΑ ΣΑΣΜΑΝ**

Το λάδι λίπανσης του κιβωτίου ταχυτήτων είναι ένα στοιχείο της μηχανής με ιδιαίτερη σημασία για τον εξοπλισμό και τη μετάδοση. Κατά τη λειτουργία, το λιπαντικό έρχεται σε επαφή με τα περισσότερα από τα άλλα ενσωματωμένα εξαρτήματα του μηχανήματος. Εκτός από τη σημαντική λειτουργία της λίπανσης των συρόμενων επαφών κύλισης, το λάδι εκπληρώνει επίσης το καθήκον της ψύξης και της αφαίρεσης της θερμότητας της τριβής που παράγεται στις συρόμενες επαφές κύλισης.

Μια σύγκριση των δαπανών και του κόστους που σχετίζονται με την παραγωγή ή την κατασκευή των στοιχείων της μηχανής μιας μετάδοσης, όπως τα ρουλεμάν κυλίνδρων, οι οδοντωτοί τροχοί, οι άξονες, οι τσιμούχες ή τα κιβώτια ταχυτήτων, δείχνει ότι, γενικά, το λιπαντικό είναι ένα στοιχείο της μετάδοσης που μπορεί να παράγεται σχετικά απλά με χαμηλό κόστος. Ωστόσο, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιόπιστη και μακροχρόνια διάρκεια ζωής, η επιλογή του κατάλληλου λιπαντικού, σε σύγκριση με την επιλογή των άλλων εξαρτημάτων του μηχανήματος, είναι καθοριστικής σημασίας κατά τη φάση κατασκευής και σχεδιασμού. Για παράδειγμα, ένα νέο μη λιπαντικό ρουλεμάν που χρησιμοποιείται σε ένα όχημα έφτασε σε διάρκεια ζωής 4 λεπτών. Ένα

ρουλεμάν του ίδιου τύπου που χρησιμοποιείται υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας έφτασε σε διάρκεια ζωής αρκετών ωρών μετά την εφαρμογή περίπου. 2 mL λαδιού στις ράγες του ρουλεμάν.

Διάφοροι τύποι λιπαντικών χρησιμοποιούνται στη λίπανση εργαλείων και κιβωτίων ταχυτήτων, όπου ένα λιπαντικό λάδι αποτελείται κυρίως από ένα βασικό λάδι και ένα πρόσθετο προσαρμοσμένο στο βασικό λάδι και στην εφαρμογή. Τα ακόλουθα βασικά λάδια δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τη λίπανση των κιβωτίων ταχυτήτων αλλά και για πολλές άλλες εφαρμογές:

- Ορυκτέλαια
- Συνθετικοί υδρογονάνθρακες (πολυαλφαολεφίνες)
- Πολυ(αλκυλενογλυκόλες) (ομοπολυμερή)
- Εστέρες (φιλικά προς το περιβάλλον λάδια, κυρίως σε συνθετική βάση)
- Ναφθενικά έλαια

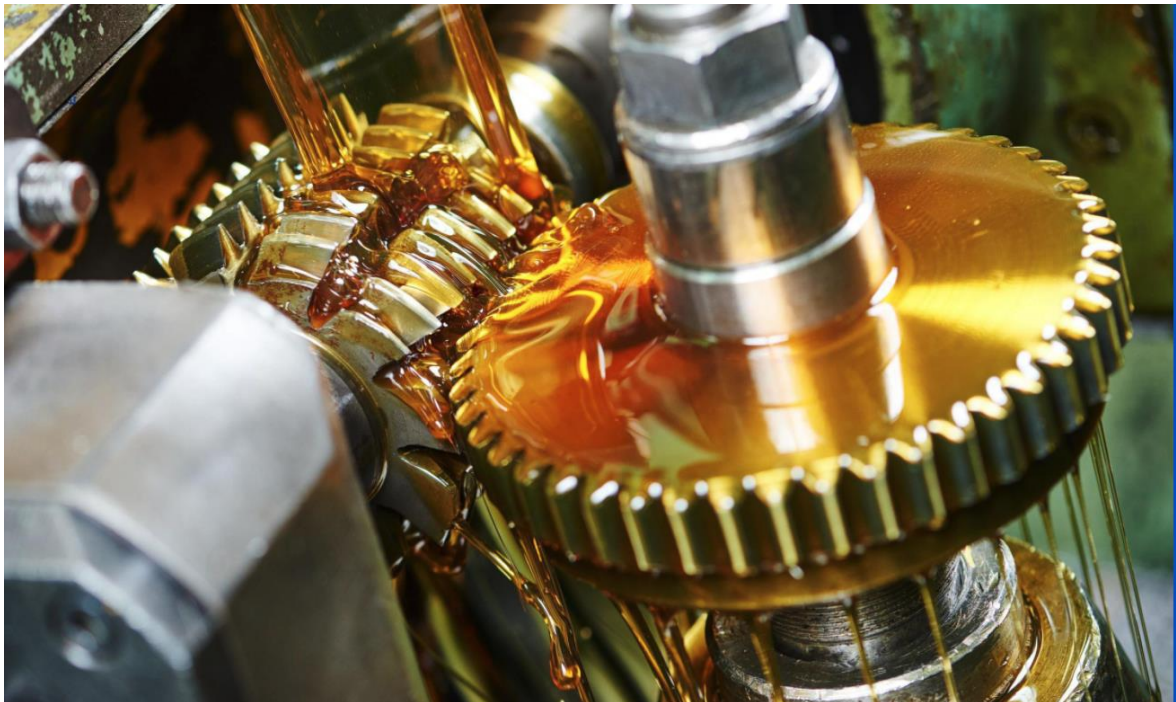
Εκτός από τα διάφορα βασικά λάδια, ο τύπος και η ποσότητα του πρόσθετου, που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βασικό λάδι, έχει σημαντική επίδραση στη λειτουργία και τη διάρκεια ζωής του κιβωτίου ταχυτήτων.

Κατ' αρχήν, κάθε τύπος λιπαντικού που διατίθεται στην αγορά, συμπεριλαμβανομένων των λιπαντικών του κινητήρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε ταχύτητα και μετάδοση, διασφαλίζοντας έτσι τη λειτουργικότητα.

Ωστόσο, σε αυτό το σημείο υπάρχουν κάποιοι κίνδυνοι σχετικοί με αυτό το σενάριο, όταν χρησιμοποιείται κάποιο επόμενο καλύτερο λιπαντικό χωρίς να είναι γνωστές οι συνθήκες λειτουργίας και το περιβάλλον της εφαρμογής. Οι συνθήκες λειτουργίας περιλαμβάνουν τις περιόδους μεταγωγής και τις δυνάμεις που πρέπει να μεταφερθούν, δηλαδή τα λεγόμενα ειδικά φορτία του κάθε μεμονωμένου εξαρτήματος της μηχανής που προκύπτουν από την ταχύτητα λειτουργίας και τη μεταφερόμενη ροπή. Η λειτουργία ενός κιβωτίου ταχυτήτων προκαλεί απώλειες τριβής σε όλες τις συρόμενες κυλιόμενες επαφές που προκαλούν θέρμανση. Σε αυτή την περίπτωση, η ανεπαρκής ή ακατάλληλη λίπανση, συχνά σε συνδυασμό με την ανεπαρκή ψύξη των σημείων επαφής της τριβής, οδηγεί σε βραχυπρόθεσμη αστοχία του συστήματος.

Τα πιο συχνά κριτήρια αστοχίας για γρανάζια και κιβώτια ταχυτήτων είναι τα εξής:

- Εξαιρετική λειαντική φθορά
- Πρόωρη αποτυχία της αντοχής και κόπωση των εξαρτημάτων
- Γράψιμο και χάραξη των επαφών τριβής



Εικόνα 2.3: Χρήση λιπαντικού σε κιβώτιο ταχυτήτων (directindustry, n.d.)

Η επιλογή ενός λιπαντικού, που δεν είναι προσαρμοσμένο στα αντίστοιχα κατασκευαστικά εξαρτήματα και στις συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος των γραναζιών και των κιβωτίων ταχυτήτων, μπορεί να οδηγήσει σε πρόωμη αστοχία του μηχανήματος, οδηγώντας σε μέγιστες διαδοχικές ζημιές μέχρι την πλήρη κατάρρευση των συστημάτων. Οι προκύπτοντες χρόνοι επισκευής και αδράνειας του συστήματος οδηγούν σε ένα απρόβλεπτο κόστος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό είναι το αποτέλεσμα της προσπάθειας εξοικονόμησης από το σχετικά χαμηλό κόστος του λιπαντικού. Αυτό το παράδειγμα υπογραμμίζει την ιδιαίτερη σημασία του λιπαντικού ως στοιχείου της μηχανής στον εξοπλισμό και στα κιβώτια ταχυτήτων σήμερα.

Σε πολλούς τομείς του σχεδιασμού των μηχανών, η μεταφορά της ροπής παίζει καθοριστικό ρόλο. Καθένας από τους προαναφερθέντες τύπους της μεταφοράς της ροπής θέτει συγκεκριμένες απαιτήσεις για τα λιπαντικά που πρέπει να πληρούνται για να διασφαλιστεί η αξιόπιστη λειτουργία των μηχανών και των εγκαταστάσεων. Έτσι, τα βαριά φορτωμένα λιπαντικά σε υποειδείς οδοντωτούς τροχούς απαιτούν υψηλή

σταθερότητα οξειδωσης, μαζί με πολύ καλό γδάρισμα και χάραξη και ικανότητα φθοράς, λόγω του υψηλού φορτίου των επαφών των δοντιών. Ταυτόχρονα, ο σχηματισμός ενός ικανού φορτίου και διαχωριστικού πάχους του φιλμ για επαρκή λίπανση και ψύξη των συρόμενων επαφών κύλισης στα γρανάζια απαιτεί ένα λιπαντικό με επαρκώς υψηλό ιξώδες σε συγκεκριμένη θερμοκρασία λειτουργίας.

Από την άλλη πλευρά, τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε υδροδυναμικά γρανάζια, όπως οι μετατροπείς ροπής, οι υδροδυναμικοί υγροί συμπλέκτες ή οι επιβραδυντές, δεν χρειάζεται να έχουν καλή ικανότητα «γρατσουνίσματος» και βαθμολόγησης. Ωστόσο, πρέπει να έχουν υψηλή σταθερότητα οξειδωσης. Λόγω των απωλειών που εξαρτώνται από το ιξώδες, τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε υδροδυναμικά γρανάζια έχουν επομένως σαφώς χαμηλότερο ιξώδες στη θερμοκρασία λειτουργίας σε σύγκριση με τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε άλλα γρανάζια.

Οι προαναφερθέντες τύποι γραναζιών χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των μηχανών και εγκαταστάσεων με μεταβλητό χρόνο έκθεσης. Οι απαιτήσεις που ισχύουν για αυτά τα γρανάζια είναι στενά συνδεδεμένες με τις απαιτήσεις για τα λιπαντικά των κιβωτίων των ταχυτήτων και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με συγκεκριμένο τρόπο σε ολόκληρο τον κλάδο όσον αφορά τη διάρκεια ζωής και τα διαστήματα αποστράγγισης του λαδιού.

Η ανάπτυξη θερμότητας σε ένα γρανάζι παράγει θερμότητα και αυξάνει τη θερμοκρασία του κάρτερ λαδιού και τη θερμοκρασία στη δεξαμενή του λαδιού. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τη διάρκεια ζωής του λιπαντικού, καθώς επιταχύνει τη διαδικασία της γήρανσης του λαδιού και ως εκ τούτου, μπορεί να προκαλέσει μείωση της διάρκειας ζωής του λαδιού. Η ανάπτυξη της θερμότητας και επομένως, της θερμοκρασίας του λαδιού, καθορίζεται από τον τύπο του γραναζιού, τη μεταφερόμενη ροπή, το ειδικό φορτίο, καθώς και από τις περιόδους μεταγωγής τη μόνιμη ή διακοπτόμενη λειτουργία και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (τη χρήση του γραναζιού σε θερμά ή ψυχρά κλίματα) ή σε φορητή ή σταθερή εφαρμογή.

Τα γρανάζια που απαιτούν εκτεταμένη διάρκεια ζωής, όπως μηχανές χαρτιού ή πρέσες, το λιπαντικό πρέπει να αντικατασταθεί σύμφωνα με τον μηχανικό και θερμικό ισχυρισμό, σύμφωνα με τις συστάσεις των παραγωγών του λαδιού. Υποθέτοντας ότι η μέση θερμοκρασία στο κάρτερ λαδιού σε τέτοιες μεταδόσεις είναι περίπου 90 °C, το λάδι πρέπει να εναλλάσσεται σε διαστήματα 2500 ωρών λειτουργίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του κάρτερ λαδιού κατά 10 K οδηγεί σε μείωση της διάρκειας ζωής κατά 50%, ενώ η μείωση της θερμοκρασίας κατά την ίδια τιμή διπλασιάζει τη διάρκεια ζωής του λαδιού γενικά.

Οι θερμοκρασίες του κάρτερ λαδιού σε αυτά τα κιβώτια ταχυτήτων συχνά ανεβαίνουν έως και 130 °C. Ως εκ τούτου, συνιστάται η χρήση συνθετικών λιπαντικών σε αυτές τις εφαρμογές. Κατάλληλα συνθετικά λιπαντικά, όπως πολυ(αλκυλενογλυκόλες) γλυκόλες ή συνθετικοί υδρογονάνθρακες, μειώνουν τις απώλειες τριβής και συνεπώς τη θερμοκρασία των κιβωτίων ταχυτήτων. Γενικά, η διάρκεια ζωής και επομένως, το διάστημα αποστράγγισης του λαδιού των συνθετικών λιπαντικών είναι τρεις φορές μεγαλύτερο από τη διάρκεια ζωής των ορυκτελαίων. Ωστόσο, οι τρέχουσες τιμές για τα συνθετικά λιπαντικά είναι επίσης τρεις φορές υψηλότερες από αυτές για τα ορυκτέλαια.



Σύμφωνα με το μερίδιο αγοράς των κινητών και σταθερών γραναζιών, διαφοροποιείται μεταξύ των «εργαλείων για βιομηχανική εφαρμογή» και των «εργαλείων για χρήση σε αυτοκίνητα». Όσον αφορά το λιπαντικό του κιβωτίου ταχυτήτων, τα οικιακά και τεχνικά μηχανήματα παίζουν μόνο δευτερεύοντα ρόλο, καθώς εδώ απαιτούνται μόνο σχετικά σύντομες ζωές λειτουργίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα μηχανήματα αυτά δεν λιπαίνονται με λάδι αλλά με γράσο.

## 2.6 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

Η υδραυλική περιγράφει τη μεταφορά ενέργειας και σημάτων μέσω υγρών. Σε αυτή τη διαδικασία μετάδοσης, η ισχύς μεταφέρεται στην οδήγηση, τον έλεγχο και την κίνηση. Υδραυλικά υγρά με βάση ορυκτέλαια, συνθετικά υγρά και πυράντοχα υγρά χρησιμοποιούνται σε όλους τους τύπους μηχανημάτων και εξοπλισμού. Η υδραυλική είναι μέρος της καθημερινότητας. Δεν υπάρχει σχεδόν μηχάνημα ή αεροσκάφος που να λειτουργεί χωρίς υδραυλική. Οι κατασκευαστές υδραυλικών εξαρτημάτων προμηθεύουν σχεδόν όλες τις βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των τομέων της γεωργίας και των μηχανημάτων κατασκευής, της τεχνολογίας μεταφορέων, των βιομηχανιών τροφίμων και συσκευασίας, της ξυλουργικής και εργαλειομηχανών, της ναυπηγικής, της εξόρυξης και της χαλυβουργίας, της αεροπορίας και της αεροδιαστημικής, της ιατρικής, της περιβαλλοντικής τεχνολογίας και των χημικών. Πολλές από αυτές τις βιομηχανίες είναι κορυφαίοι παίκτες στην παγκόσμια αγορά. Η τεχνολογία των υγρών συμβάλλει σημαντικά στην ανταγωνιστικότητα αυτών των βιομηχανιών. Η καινοτόμος ανάπτυξη των υδραυλικών εξαρτημάτων και συστημάτων που χρησιμοποιούν τα πιο πρόσφατα υλικά, λιπαντικά και ηλεκτρονικά δίνει νέα ώθηση στις τεχνικές εξελίξεις:

- Η τεχνολογία των ρευστών είναι μια βασική τεχνολογία, αφού πολλές εφαρμογές είναι οικονομικές μόνο εάν χρησιμοποιείται τεχνολογία υγρών.
- Η τεχνολογία των ρευστών είναι πανταχού παρούσα, είτε σε σταθερές είτε σε κινητές εφαρμογές, σε όλο τον κόσμο.
- Η τεχνολογία των ρευστών ωφελεί το περιβάλλον ως τεχνολογία αβλαβής για το περιβάλλον και χρησιμοποιείται σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες εγκαταστάσεις.
- Η τεχνολογία των ρευστών συμβάλλει στην ποιότητα ζωής.
- Η τεχνολογία των ρευστών προωθεί ένα εύρυθμο μέλλον, όπου κι αν συμβαίνει κάτι, απαιτούνται δυνάμεις και ροπή, όπως και η υδραυλική.

- Η τεχνολογία των ρευστών, γενικά, ικανοποιεί τις ανάγκες μιας ποικιλίας τελικών χρηστών.

Ο τομέας της τεχνολογίας των ρευστών και συνεπώς της υδραυλικής χωρίζεται σε υδροστατική και υδροδυναμική. Στα υδροστατικά συστήματα, η μεταφορά της ενέργειας απαιτεί στατική πίεση και έτσι οι πιέσεις είναι υψηλές αλλά οι ρυθμοί ροής είναι χαμηλοί. Στα υδροδυναμικά συστήματα χρησιμοποιείται η κινητική ενέργεια του ρέοντος ρευστού, επομένως οι πιέσεις είναι χαμηλές αλλά οι ρυθμοί ροής είναι υψηλοί. Τα υγρά που έχουν σχεδιαστεί για υδροδυναμικές εφαρμογές είναι γνωστά ως λάδια μετάδοσης ισχύος και τα υγρά που έχουν σχεδιαστεί για υδροστατικές εφαρμογές είναι γνωστά ως υδραυλικά λάδια. Το ρευστό είναι το πιο σημαντικό στοιχείο σε υδροστατικά και υδροδυναμικά συστήματα και πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν στοιχείο της μηχανής στο σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη θέση σε λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων.

Μετά τα λιπαντικά του κινητήρα, τα υδραυλικά λάδια είναι η δεύτερη πιο σημαντική ομάδα των λιπαντικών. Αντιπροσωπεύουν περίπου το 13–14% της συνολικής κατανάλωσης των λιπαντικών (124 400 της κατανάλωσης το 2012). Το 2013, τα υδραυλικά λάδια με βάση τα ορυκτά αντιπροσώπευαν περίπου το 80–85% όλων των υδραυλικών λιπαντικών στη Γερμανία. Τα πυρίμαχα υγρά είχαν μερίδιο αγοράς περίπου 6%, τα ταχέως βιοαποδομήσιμα υδραυλικά υγρά περίπου 7% και οι συνθετικές πολυαλφαολεφίνες (PAO) ή υγρά με βάση HC περίπου 1%. Μεταξύ των υγρών με βάση τα ορυκτά, τα προϊόντα που βασίζονται σε υδροεπεξεργασμένα βασικά έλαια (βασικά έλαια HC και βασικά έλαια της ομάδας III) αυξήθηκαν σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, η υδραυλική έχει αναπτυχθεί ραγδαία. Η γερμανική VDMA (Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbau eV, German Machinery and Plant Manufacturers' Association) ίδρυσε μια συμβουλευτική ομάδα «Oil Hydraulics and Pneumatics» το 1959. Σύμφωνα με την VDMA, το 2003 οι πωλήσεις υδραυλικού εξοπλισμού και μηχανημάτων στην Η Γερμανία ανήλθαν συνολικά σε 4,1 δισεκατομμύρια ευρώ περίπου με τις εξαγωγές να ανέρχονται στο ~50%. Η τεχνολογία των ρευστών είναι επομένως μια ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία και ο ρυθμός ανάπτυξής της είναι σημαντικά υψηλότερος από εκείνον της μηχανικής.

Τα σύγχρονα υδραυλικά μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικούς τομείς: στατικά, κινητά και αεροπορικά υδραυλικά. Κάθε μία από αυτές τις περιοχές έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στα εξαρτήματά της, αλλά και στο υδραυλικό μέσο. Τα τελευταία χρόνια, η απόδοση των υδραυλικών συστημάτων έχει αυξηθεί σημαντικά. Αυτό αντανακλάται σε υψηλότερες πιέσεις, υψηλότερες θερμοκρασίες συστήματος και χαμηλότερους όγκους συστήματος που αυξάνουν την κυκλοφορία και συνεπώς την πίεση στο μέσο.

Οι εξελίξεις στα υδραυλικά υγρά, τόσο μέχρι σήμερα όσο και στο μέλλον, καθώς και οι σωστές εφαρμογές τους έχουν τεράστια οικονομική σημασία. Οι βέλτιστες εφαρμογές εξοικονομούν ενέργεια, μειώνουν τα διαστήματα συντήρησης, μειώνουν τη

φθορά, αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του μηχανήματος και έτσι επιτρέπουν την αξιόλογη εξοικονόμηση.

Γενικά, ένα υδραυλικό ρευστό αποτελείται από ένα βασικό ρευστό, που συνήθως ονομάζεται βασικό λάδι, και από χημικές ουσίες, που συνήθως ονομάζονται πρόσθετα. Η ποιότητα και η απόδοση ενός υδραυλικού υγρού εξαρτώνται από την ποιότητα του βασικού ρευστού και το συνδυασμό των προσθέτων ή των συστημάτων πρόσθετων που χρησιμοποιούνται. Τα πρόσθετα βελτιώνουν ορισμένα χαρακτηριστικά που το βασικό ρευστό δε μπορεί να προσφέρει σε κάποιο βαθμό. Λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνικές και οικολογικές πτυχές, οι τύποι των βασικών ρευστών και των προσθέτων αποφασίζουν τελικά την ταξινόμηση ενός υδραυλικού λαδιού.

Ως ρευστά βάσης ή βασικά έλαια χρησιμοποιούνται ρευστά με βάση ορυκτέλαια (παραφινικά έλαια, ναφθενικά έλαια και λευκά έλαια) ή/και μείγματα αυτών. Τα συνθετικά ρευστά που βασίζονται σε υδρογονοπυρόλυση (έλαια HC ή τα λεγόμενα έλαια της ομάδας III), πολυαλφαολεφίνες, εστερικά έλαια (POE) και PAG χρησιμοποιούνται κυρίως σε πυρίμαχα, ταχέως βιοαποδομήσιμα υγρά ή ειδικά υδραυλικά ρευστά. Τα φυσικά φυτικά έλαια όπως το κραμβέλαιο βρίσκονται συχνά σε ταχέως βιοαποδομήσιμα υγρά. Τα υδραυλικά λάδια για τρόφιμα βασίζονται γενικά σε ειδικά λευκά λάδια, πολυαλφαολεφίνες και πολυγλυκόλες.

Τα ορυκτέλαια αντιπροσωπεύουν ~88% (κυρίως παραφινικά έλαια της ομάδας I). Τα συνθετικά έλαια αποτελούν το 12% (80% εστέρας, 15% πολυγλυκόλες κ.λπ.). Τα υδροσπασμένα/υδροκατεργασμένα λάδια αυξάνουν το μερίδιο αγοράς λόγω των εξαιρετικών τεχνικών ιδιοτήτων τους και της καλής αναλογίας τιμής/απόδοσης.

### **3. ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΙΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

#### **3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ**

Το λιπαντικό είναι μια ουσία ικανή να μειώνει την τριβή, τη θερμότητα και τη φθορά σχηματίζοντας ένα προστατευτικό στρώμα μεταξύ δύο μεταλλικών επιφανειών σε επαφή. Εκτός αυτού, το λιπαντικό φέρει επίσης έξι διαφορετικές λειτουργίες, παροχή σταθερού φιλμ λαδιού μεταξύ των ολισθαίνων επιφανειών, παροχή αξιόπιστης λειτουργίας του κινητήρα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, προστασία από τη σκουριά ή διάβρωση των εξαρτημάτων του κινητήρα, καθαρισμό των μερών του κινητήρα από λάσπη, στεγανοποίηση του κενού δακτυλίου εμβόλου-κύλινδρου και ψύξη των εξαρτημάτων του κινητήρα. Ως εκ τούτου, η σύνθεση του λιπαντικού είναι προσαρμοσμένη με βάση το ιξώδες του ώστε να εκπληρώνει την κύρια λειτουργία του να μειώνει την τριβή σε διάφορους τομείς εφαρμογής, όπως σε βιομηχανικά, υδραυλικά συστήματα, μηχανουργική κατεργασία και αυτοκίνητα.

Το ιξώδες όπως έχει αναφερθεί εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όταν το λιπαντικό απορροφήσει θερμική ενέργεια από το περιβάλλον του, τα μόρια δονούνται πιο γρήγορα τυχαία, και με αυτόν τον τρόπο δημιουργούν ένα χώρο γύρω τους που είναι ανάλογος της κινητικής τους ενέργειας. Εάν η τοπική θερμοκρασία του κινητήρα είναι σημαντικά υψηλότερη, ο χώρος που δημιουργείται θα είναι πολύ ισοδύναμος με την κινητική ενέργεια των σωματιδίων που απορροφώνται, επιταχύνοντας έτσι το αποτέλεσμα της αραίωσης του λιπαντικού. Το ιξώδες πρέπει να είναι αρκετά υψηλό ώστε να διατηρείται ένα λιπαντικό φιλμ, αλλά αρκετά χαμηλό ώστε το λάδι να μπορεί να ρέει γύρω από τα μέρη του κινητήρα υπό όλες τις συνθήκες. Μερικοί ερευνητές έχουν αναφέρει ότι με χαμηλότερο ιξώδες σε συνθήκες λειτουργίας κινητήρα υψηλής θερμοκρασίας, το λιπαντικό θα μπορούσε να προσφέρει μείωση της τριβής και μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή απόδοση της κατανάλωσης του καυσίμου (Carvalho M. , Seidl P., Belchior C., Sodré J., 2010).

Τα αυτοκίνητα λειτουργούν με κινητήρα εσωτερικής καύσης (είτε ως κύριο σύστημα, είτε ως δευτερεύον) για να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια. Η διαδικασία της καύσης συνήθως απελευθερώνει θερμότητα σημαντικά υψηλότερη από τους 100 °C και μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση του κινητήρα. Το σύστημα λίπανσης έχει σχεδιαστεί για να παρέχει επαρκή ποσότητα λιπαντικού λαδιού σε όλα τα μέρη του κινητήρα σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Ως αποτέλεσμα, η θερμική ενέργεια που έχει ο κινητήρας απορροφάται έμμεσα από το

λιπαντικό. Ως εκ τούτου, η λειτουργία του λιπαντικού ως μειωτήρα της τριβής μπορεί να διαταραχθεί καθώς επηρεάζεται το ιξώδες του λιπαντικού. Κατά μέσο όρο, το τυπικό λάδι του κινητήρα μπορεί να αποτελείται από 15 έως 25 τοις εκατό πρόσθετα κατά βάρος και 75 έως 85 τοις εκατό κατά βάρος του βασικού λαδιού (Surinder P., 2010). Ένα πρόσθετο μετάλλων είναι ένα από αυτά και κοινώς γνωστό ως πρόσθετα κατά της φθοράς, που αποτελεί περίπου το 0,04 έως 0,09 wt% σε τυπική σύνθεση λιπαντικού (Boyd S., 2002). Καταναλώνεται για την παροχή ενός προστατευτικού στρώματος μεταξύ της επαφής του μετάλλου με μέταλλο με την προσθήκη ενώσεων που σχηματίζουν φιλμ που προστατεύουν τις επιφάνειες είτε με φυσική προσρόφηση είτε με χημική αντίδραση (Pereira G., Lachenwitzer A., Kasrai M., Bancroft G. M., Norton P. R., Abrecht M., Gilbert P. U. P. A., Regier T., Blyth R. I. R., Thompson J., 2007). Αυτή η επίστρωση προστατεύει την επιφάνεια του εξαρτήματος από την άμεση επαφή με άλλο μέρος, μειώνοντας τη φθορά. Τα κύρια στοιχεία, τα οποία ευθύνονται για την ακραία πίεση και τη δράση κατά της φθοράς, είναι το θείο και ο φώσφορος [10]. Οι ενώσεις διθειοφωσφορικού διαλκυλίου μετάλλου χρησιμοποιούνται συνήθως ως πρόσθετα σε λιπαντικά έλαια λόγω της πολυλειτουργικής τους απόδοσης ως πρόσθετα κατά της φθοράς, της ακραίας πίεσης, της τροποποίησης της τριβής, των αντιοξειδωτικών και της αναστολής της διάβρωσης. Εκτός αυτού, τα διαλκυλοδιθειοφωσφορικά διαφορετικά μέταλλα, όπως το μολυβδαίνιο, το κάδμιο, ο χαλκός, το τιτάνιο, το γαδολίνιο, ο σίδηρος, ο κασσίτερος, το αντιμόνιο και άλλα μέταλλα, έχουν επίσης εισαχθεί σε λιπαντικά, αν και οι διθειοφωσφορικοί διαλκυλικοί ψευδάργυροι (ZDDP) είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι.

Ωστόσο, οι έμποροι δεν έχουν αποκαλύψει πλήρως τους τύπους των προσθέτων και τις συγκεντρώσεις τους στο κοινό λόγω της σπουδαιότητάς τους και των υψηλών λεπτομερειών τους. Επιπλέον, η τεχνολογία προστατεύεται επίσης μέσω επίσημων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας ή άλλου μηχανισμού προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας για να αποτρέψει την αντιγραφή των αντιπάλων. Η έρευνα που πραγματοποίησαν οι Roslan A. et al. (2016) έγινε σχετικά με τη δυσκολία προσδιορισμού των πρόσθετων μετάλλων που χρησιμοποιούνται προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση που μπορούν να προσφέρουν στις λιπαντικές ιδιότητες. Σε αυτήν τους την εργασία, πραγματοποίησαν ανάλυση του συστήματος για τον προσδιορισμό των συνθέσεων των πρόσθετων μετάλλων σε πέντε διαφορετικές μάρκες λαδιού κινητήρα SAE10W-30 με αξιολόγηση των συγκεντρώσεων μεταλλικών ιόντων χρησιμοποιώντας επαγωγικά συζευγμένο φασματομέτρο οπτικής εκπομπής πλάσματος (ICP-OES). Στη συνέχεια, οι πληροφορίες συγκρίθηκαν με τη θερμοχωρητικότητα, τα δεδομένα ιξώδους κ.λπ. Η ανάλυση του συστήματος παρείχε πληροφορίες σχετικά με την επίδραση του συνδυασμού των μεταλλικών πρόσθετων στο λάδι του κινητήρα.

### **3.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΣΗ**

Σε όλους τους παλινδρομικούς κινητήρες, από τους κινητήρες πρώτης γενιάς έως αυτούς των υψηλών επιδόσεων, η στεγανοποίηση του θαλάμου καύσης παίζει

ζωτικό ρόλο για την εγγύηση της απόδοσης του κινητήρα και των εκπομπών ρύπων. Η κύρια λειτουργία του πακέτου του δακτυλίου του εμβόλου είναι η ενίσχυση της στεγανοποίησης του εμβόλου και του κυλίνδρου, αλλά επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση της μηχανικής, θερμικής, τριβολογικής και δυναμικής συμπεριφοράς του εμβόλου, η οποία απαιτεί προσοχή και δοκιμή. Η πειραματική διερεύνηση ως μια από τις πιο υιοθετημένες προσεγγίσεις είναι δαπανηρή, χρονοβόρα και διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση. Τα αναλυτικά μοντέλα και τα μοντέλα προσομοίωσης συντομεύουν το χρόνο δοκιμής και μειώνουν το κόστος, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό της πραγματικής συμπεριφοράς λεπτομερώς και την ικανότητα μελέτης της επίδρασης των παραμέτρων που επηρεάζουν.

Τις προηγούμενες δεκαετίες, διεξήχθη ένας σημαντικός αριθμός μελετών για τη δυναμική και τη λίπανση του εμβόλου. Οι πρώιμες μελέτες επικεντρώθηκαν στη δυναμική του εμβόλου και στο πρόβλημα του χτυπήματος χωρίς να λάβουν υπόψη τον μηχανισμό της λίπανσης. Οι αλληλεπιδράσεις του συγκροτήματος του δακτυλίου του εμβόλου (PRA) με το τοίχωμα του κυλίνδρου επηρεάζουν την τριβολογική απόδοση, την κατανάλωση του λαδιού και τις εκπομπές των ρύπων. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις επηρεάζονται από διάφορες παραμέτρους, όπως οι μετατοπίσεις του στροφαλοφόρου άξονα, το διάκενο εμβόλου/επένδυσης, η υφή της επιφάνειας και η ελαστική συμπεριφορά των σωμάτων επαφής, καθώς και η θερμική και μηχανική παραμόρφωση των προφίλ της επένδυσης και του ποδιού. Ως εκ τούτου, η λίπανση του ποδιού και η δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου έχουν πρωταρχική σημασία να αξιολογηθούν πειραματικά και αριθμητικά, προκειμένου να σχεδιαστούν νέα ελαφριά έμβολα χαμηλής τριβής με χαρακτηριστικά χαμηλού θορύβου και κραδασμών.

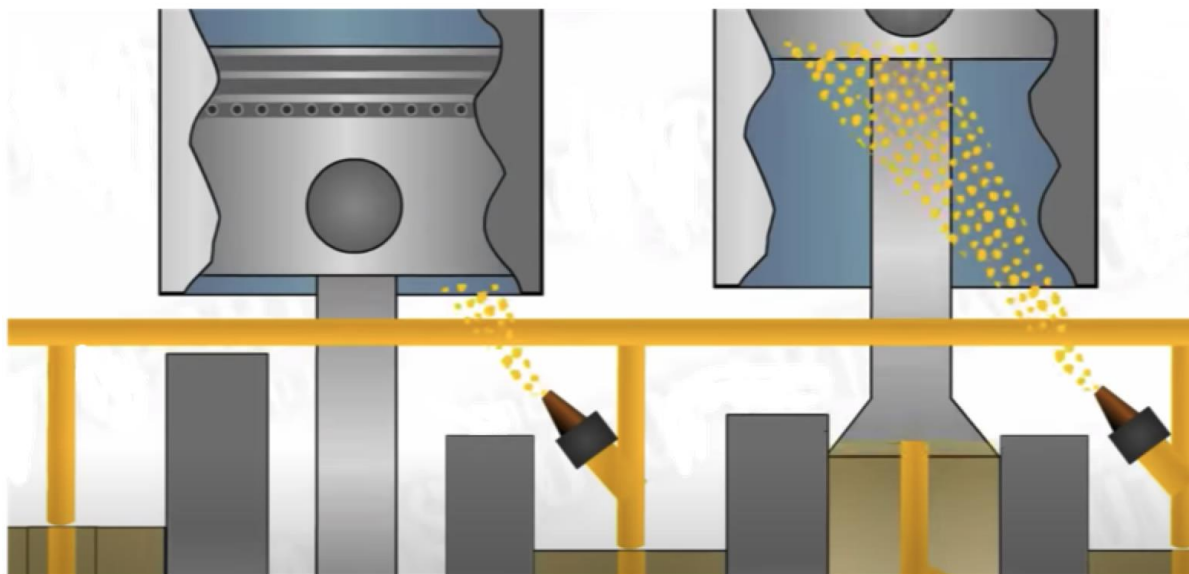
Η επίδραση όλων αυτών των παραμέτρων μπορεί να αξιολογηθεί ως προς το καθεστώς της λίπανσης του εμβόλου. Είναι επίσης γνωστό ότι το έμβολο μπορεί να πάρει υδροδυναμική, μικτή και οριακή λίπανση κατά τη διάρκεια της διαδρομής του. Η εργασία των Delprete C. και Razavykia A. (2018) οργανώνεται με βάση αυτή την ταξινόμηση των μηχανισμών λίπανσης. Αρχικά, παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των μηχανισμών της λίπανσης και της δευτερεύουσας κίνησης του εμβόλου. Δεύτερον, συζητείται μια ανασκόπηση προηγούμενων μελετών για την εξέταση της δευτερεύουσας κίνησης του εμβόλου λαμβάνοντας υπόψη το καθεστώς της λίπανσης. Τρίτον, συνοψίζεται μια περίληψη των πειραματικών ερευνών που διεξήχθησαν σχετικά με τη δυναμική του εμβόλου και το χτύπημα του εμβόλου. Τέλος, αναφέρεται μια σύντομη επεξήγηση των εξισώσεων που διέπουν τη λίπανση του του εμβόλου και τη δευτερεύουσα κίνηση υπό υδροδυναμικό καθεστώς.

Οι περισσότερες από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τη δυναμική των εμβόλων βασίζονται σε διακριτές υποθέσεις και παραδοχές, οι οποίες διευκολύνουν τη διαδικασία αξιολόγησης, αλλά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σφάλματα. Επομένως, η κύρια πρόκληση για τους ερευνητές είναι να υιοθετήσουν μια αξιόπιστη προσέγγιση που οδηγεί σε σφάλματα που αποκλίνουν μικρότερα από τα πειραματικά.

Τα φορτωμένα παλινδρομικά και περιστρεφόμενα σώματα μπορούν να αντιμετωπίσουν τέσσερα διαφορετικά καθεστώτα λίπανσης στα οποία κάθε μηχανισμός μπορεί να αναγνωριστεί με ειδικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη

συνολική απόδοση του συστήματος, όπως ικανότητα φόρτωσης, θερμική και μηχανική παραμόρφωση της επιφάνειας του ρουλεμάν και τριβολογική συμπεριφορά. Στην υδροδυναμική λίπανση (HL) ή στη λίπανση πλήρους μεμβράνης, το λιπαντικό φιλμ είναι επαρκώς παχύ για να αντέχει τα φορτία και να διαχωρίζει τα περιστρεφόμενα και τα ολισθαίνοντα σώματα. Η ελαστοϋδροδυναμική λίπανση (EHL) είναι ένας τύπος HL που σχετίζεται με σημαντική ελαστική παραμόρφωση των συζευγμένων επιφανειών. Πιο συγκεκριμένα, αλλάζει εκτενώς το σχήμα του προφίλ του πάχους του φιλμ. Η μικτή λίπανση είναι η μεταβατική περιοχή μεταξύ EHL και οριακών καθεστώτων, στην οποία το φορτίο διατηρείται τόσο από το λιπαντικό φιλμ όσο και από τις επαφές αδράνειας. Η μικτή λίπανση πραγματοποιείται με την παρουσία υψηλού φορτίου, χαμηλής ταχύτητας ή χαμηλού ιξώδους λόγω υψηλής θερμοκρασίας. Όταν οι φέρουσες επιφάνειες έρχονται σε επαφή υπό μικτή λίπανση, οι ιδιότητες της επιφάνειας όπως η συνδυασμένη τραχύτητα επιφάνειας και οι συντελεστές ροής της πίεσης γίνονται σημαντικά στοιχεία στο σχεδιασμό των επιφανειών μεταφοράς φορτίου και ολίσθησης. Η οριακή λίπανση ασχολείται με συνθήκες όπου το λιπαντικό φιλμ είναι λεπτό και το φορτίο υποστηρίζεται κυρίως ή πλήρως από επαφές αδράνειας.

Το στέλεχος του εμβόλου είναι το χαμηλότερο μέρος του εμβόλου και έχει το καθήκον να προστατεύει το έμβολο από την υπερβολική ταλάντωση στον κύλινδρο, ο οποίος συνήθως κατασκευάζεται με μικρές αυλακώσεις για να βοηθήσει τη συγκράτηση του λαδιού και τη μεταφορά του λιπαντικού στο τοίχωμα του κυλίνδρου για να ενθαρρύνει τη σωστή λίπανση. Όταν το έμβολο είναι κεντραρισμένο από το σετ δακτυλίου, μη ισορροπημένες δυνάμεις και ροπές που είναι κάθετες στον άξονα του πείρου (περιέχει πλευρές ώθησης και αντιώθησης) επιδρούν στο έμβολο. Μια τέτοια ενέργεια προκαλεί μικρές μετατοπίσεις και περιστροφές του εμβόλου μέσα σε ένα καθορισμένο διάκενο. Αυτές οι κινήσεις είναι γνωστές ως δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου και μπορούν να οριστούν μέσω εκκεντροτήτων στο πάνω και στο κάτω μέρος του στελέχους. Η δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου έχει πολλές σημαντικές επιδράσεις στην τριβολογική απόδοση του PRA, όπως διαρροή αερίου (Blow-by), δύναμη κρούσης του εμβόλου και ακτινοβολούμενο θόρυβο, καθώς και ιξώδη τριβή λόγω μεταφερόμενου λαδιού στη διεπαφή εμβόλου/επένδυσης.



Εικόνα 3.1: Αναπαράσταση ψεκασμού λαδιού σε πιστόνι  
([https://www.youtube.com/watch?v=mmmcj53TNic&ab\\_channel=AutomotiveSystem](https://www.youtube.com/watch?v=mmmcj53TNic&ab_channel=AutomotiveSystem), n.d.)

Ο Bishop G. και ο Leavitt A. (1975) μελέτησαν την τριβολογική συμπεριφορά του δακτυλίου του εμβόλου. Ένας από τους κύριους στόχους αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογήσει τις επιδράσεις της τριβής της αυλάκωσης του δακτυλίου στην τριβή PRA. Για τον υπολογισμό της τριβολογίας και του στελέχους του εμβόλου, υποτέθηκε ότι ο σφόνδυλος και ο στροφαλοφόρος άξονας έχουν την απαραίτητη αδράνεια και ακαμψία για να ενθαρρύνουν τη σταθερή ταχύτητα περιστροφής. Υπολογίστηκε η περιστροφική ροπή για τη ράβδο σύνδεσης εκτός από την κίνηση της μετατόπισης του εμβόλου και η μάζα της θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στον πείρο.

Οι Knoll G. και Peecken H. (1982) αξιολόγησαν τη λίπανση του στελέχους του εμβόλου και τη δυναμική του εμβόλου υπό HL. Η αξιολόγηση της δυναμικής του εμβόλου πραγματοποιήθηκε ως προς τις ταλαντωτικές, πλευρικές και περιστροφικές κινήσεις. Η πρωτογενής κίνηση του εμβόλου προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας μια σειρά εξισώσεων ως προς τις παραμέτρους σχεδιασμού, ενώ η δευτερεύουσα κίνησή του αξιολογήθηκε με δυναμικές εξισώσεις του εμβόλου, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις δυνάμεις και τις ροπές που ασκούνται σε αυτό. Το σχήμα των πεπερασμένων στοιχείων εφαρμόστηκε για την επίλυση της εξίσωσης Reynolds, η οποία χρησιμοποιήθηκε ως η κυρίαρχη εξίσωση για τον προσδιορισμό της παραγόμενης υδροδυναμικής πίεσης (Knoll G. & Peecken H. , 1982).

Οι Li D. et al. (1983) ενσωμάτωσαν εξισώσεις HL και κίνησης σε σχέση με τις εκκεντρότητες του εμβόλου στο πάνω και στο κάτω μέρος του στελέχους. Τόσο οι εγκάρσιες όσο και οι περιστροφικές κινήσεις του εμβόλου θεωρήθηκαν ως συναρτήσεις της γωνίας του στροφαλού για τη μελέτη της επίδρασης της θέσης του πείρου, της απόστασης του εμβόλου και των λιπαντικών ιδιοτήτων. Επισημάνθηκε ότι η δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου και η τριβολογική απόδοση του στελέχους επηρεάζονται σημαντικά από τη θέση του στηρίγματος του πείρου. Επιπλέον, η πλευρική μετατόπιση και η κλίση του εμβόλου επηρεάζονται δραματικά από το διάκενο



εμβόλου/επένδυσης και το ιξώδες του λαδιού. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί ως ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη μελέτη του θορύβου του εμβόλου.

Οι Rezek S. και Henein N. (1984) ανέπτυξαν ένα σύνολο εμπειρικών μοντέλων για τον υπολογισμό της στιγμιαίας τριβής του στελέχους και των στοιχείων του. Θεωρήθηκε ότι το στέλεχος του εμβόλου χωριζόταν από ένα παχύ φιλμ λαδιού επειδή το φορτίο του αερίου συγκρατείται από το πακέτο του δακτυλίου. Το εμπειρικό μοντέλο δύναμης της τριβής του στελέχους βασίζεται στους νόμους του Νεύτωνα για τον υπολογισμό της δύναμης της τριβής και της αντίστοιχης ροπής.

Οι Ohta K. et al. (1887) μελέτησαν θεωρητικά την πλευρική δύναμη και το χτύπημα του εμβόλου ως τα αποτελέσματα της δευτερεύουσας κίνησης του εμβόλου. Εξετάστηκαν τρόποι συντονισμού αντιστροφής για το έμβολο και την επένδυση. Χρησιμοποιήθηκε ένα συζευγμένο σύστημα εξισώσεων για τη ρύθμιση της δυναμικής συμπεριφοράς του εμβόλου. Εφαρμόστηκε μια προσέγγιση ολοκλήρωσης χρονικού βήματος για την ανάλυση της κρούσης του εμβόλου.

Ο Mourelatos Z. P. (1988) διεξήγαγε μια θεωρητική ανάλυση για να αξιολογήσει την τροχιά ενός εγκάρσιου εμβόλου χωρίς δακτύλιο σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης (ICE). Εφαρμόστηκε η μέθοδος ελαχιστοποίησης χωρίς περιορισμούς για να βρεθεί η συσχέτιση μεταξύ της ελαστικής παραμόρφωσης του εμβόλου και της παραγόμενης υδροδυναμικής πίεσης στη διεπαφή εμβόλου/επένδυσης. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι ένα έμβολο δεν αγγίζει το τοίχωμα της επένδυσης εάν το προφίλ του εμβόλου έχει σχεδιαστεί με ακρίβεια. Στην περίπτωση προφίλ στελέχους ενός εμβόλου διπλής σφήνας, το χτύπημα του εμβόλου είναι αναπόφευκτο.

Ο Ciulli E. (1992) συνόπισε τόσο τις θεωρητικές όσο και τις πειραματικές μελέτες για να διευκρινίσει τις απώλειες του κινητήρα εσωτερικής καύσης που συνέβαλαν η δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου, η σειρά βαλβίδων και το ρουλεμάν. Συζητήθηκαν η επίδραση της μετατόπισης του στηρίγματος του πείρου στη δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των απωλειών της τριβής, όπως η μέθοδος floating-liner.

Το Southwest Research Institute (SwRI) εισήγαγε ένα γενικό μοντέλο τριβής του κινητήρα που ενθαρρύνει την αναλυτική σύγκριση της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων σχεδιασμού στις συνολικές απώλειες τριβής του κινητήρα. Το μοντέλο αναπτύχθηκε με βάση εξισώσεις που προέρχονται από τις πρώτες αρχές, όπου ήταν δυνατόν και τροποποιήθηκε από εμπειρικές σταθερές όπου ήταν απαραίτητο. Ο Thring εφάρμοσε το μοντέλο τριβής κινητήρα SwRI για να εξετάσει την επίδραση των παραμέτρων σχεδιασμού στην τριβολογία του κινητήρα.

Οι Haddad S. και ο Tjan K. (1995) υιοθέτησαν μια αναλυτική προσέγγιση για να εξετάσουν τα αποτελέσματα της μετατόπισης του στηρίγματος του πείρου, του κέντρου βάρους του εμβόλου (CG), της μετατόπισης του στροφαλοφόρου άξονα και της υδροδυναμικής πίεσης στο χτύπημα του εμβόλου. Το χτύπημα του εμβόλου προκαλεί απώλεια της κινητικής ενέργειας του εμβόλου και μειώνει την απόδοση του κινητήρα. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι οι μετατοπίσεις του πείρου του εμβόλου και του στροφαλοφόρου άξονα παίζουν σημαντικό ρόλο και επηρεάζουν τη δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου, τη διακύμανση της κινητικής ενέργειας και κατ' επέκταση τη μηχανική απόδοση του κινητήρα.

Οι Nakada T. et al. (1997) εφάρμοσαν τη θεωρία λίπανσης για την αξιολόγηση της επίδρασης της υδροδυναμικής πίεσης στο χιτώνιο του εμβόλου θεωρώντας το ιξώδες του λαδιού ως συνάρτηση της αξονικής θέσης του εμβόλου. Το διάκενο εμβόλου/επένδυσης θεωρήθηκε ότι δεν τυλίχθηκε από το λιπαντικό περιφερειακά. Το χτύπημα του εμβόλου και το «κούνημα» (ως πρόσκρουση και στις δύο πλευρές ώθησης και κατά της ώθησης) επισημάνθηκαν στις υψηλές στροφές του κινητήρα. Το μοντέλο ενθαρρύνει την ανάλυση της επίδρασης της διέγερσης της πίεσης της καύσης στη δευτερεύουσα κίνηση και το χτύπημα του εμβόλου.

Ο Stanly και οι συνάδελφοί του εισήγαγαν ένα μοντέλο για την αξιολόγηση της τριβολογικής απόδοσης του PRA με βάση τη θεωρία λίπανσης, εξετάζοντας παράλληλα το υδροδυναμικό καθεστώς. Μια παροδική δισδιάστατη (2D) εξίσωση Reynolds και δυναμικές εξισώσεις εμβόλου εφαρμόστηκαν ως κύριες εξισώσεις. Μια μέθοδος πεπερασμένων διαφορών και μια αριθμητική λύση χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθεί μια εμπειρική σχέση μεταξύ της γεωμετρίας του στελέχους του εμβόλου, της κατάστασης λειτουργίας και του ιξώδους του λαδιού για τον υπολογισμό της δύναμης της τριβής στη διεπιφάνεια των σωμάτων και των ρουλεμάν.

Οι Nakashima K. et al. (1999) μελέτησαν μια αριθμητικά μελετημένη λίπανση του στελέχους για να διευκρινιστεί η δευτερεύουσα κίνηση και η δύναμη κρούσης του εμβόλου ως ένας τρόπος μείωσης του θορύβου από το χτύπημα του εμβόλου. Για να αντισταθμιστεί η επίδραση της αδρανειακής δύναμης του εμβόλου, τονίστηκε ότι πρέπει να δοθεί η κατάλληλη προσοχή στη θέση του CG, η οποία υπολογίστηκε με αριθμητική προσέγγιση. Τα μοντέλα έδειξαν ότι η μετατόπιση των στηριγμάτων και η CG είναι σημαντικές παράμετροι για τη μείωση της εκπομπής θορύβου.

Ο Taraza D. et al. (2000) εισήγαγαν ένα γενικό μοντέλο για να λάβουν υπόψη τη συμβολή των μεμονωμένων κύριων στοιχείων στις συνολικές απώλειες τριβής και την επίδραση των παραμέτρων σχεδιασμού και των συνθηκών λειτουργίας. Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε σχέση με τους μηχανισμούς λίπανσης, τις παραμέτρους σχεδιασμού και τη φυσική που διέπει την τριβή.

Ο Haubner F. (2001) παρουσίασε ένα μοντέλο για την αξιολόγηση της δευτερεύουσας κίνησης του εμβόλου λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία των φερόντων σωμάτων, την υφή της επιφάνειας και τη θερμική και θερμοδυναμική συμπεριφορά του εμβόλου και της επένδυσης. Η δυναμική του εμβόλου προσομοιώθηκε και εφαρμόστηκε ως οριακή συνθήκη για την αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς των δακτυλίων του εμβόλου. Η υφή της επιφάνειας και των δύο σωμάτων σε επαφή ενσωματώθηκε από το μοντέλο που βασίζεται σε στατιστικές μεθόδους. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι η δυναμική συμπεριφορά του εμβόλου και του δακτυλίου του εμβόλου πρέπει να θεωρηθούν ως προγνωστικά εργαλεία για τη μελέτη της φθοράς. Το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας.

Οι Keribar R. et al. (1993) ανέπτυξαν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο για τη δευτερεύουσα κίνηση του εμβόλου που θα αποτελείται από EHL στη διεπαφή στελέχους/ επένδυσης και από HL στο στήριγμα του πείρου. Το μοντέλο μπορεί να καθορίσει τη δυναμική του εμβόλου, την τριβολογική απόδοση του στελέχους, την υδροδυναμική πίεση που επιβάλλεται στο στέλεχος και στον πείρο, παροδικές παραμορφώσεις, δυνάμεις χτυπήματος του εμβόλου και φθορά. Το μοντέλο της

ελαστικότητας του εμβόλου ενσωματώνει τα αποτελέσματα της ακαμψίας της οροφής του εμβόλου και της ακαμψίας του πείρου στο σχέδιο μονομπλόκ. Η αριθμητική προσέγγιση εφαρμόστηκε για να αξιολογηθεί το σωρευτικό φορτίο φθοράς που επιβάλλεται και να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της ακαμψίας της οροφής του εμβόλου και της ακαμψίας του πείρου στα συμβατικά έμβολα.

Οι Oh K. et al. (1987) παρουσίασαν ένα αναλυτικό μοντέλο για τη μελέτη της δευτερεύουσας κίνησης του εμβόλου λαμβάνοντας υπόψη την ελαστική παραμόρφωση του στελέχους, υποθέτοντας την πλήρη περιφερική εμβάπτιση της στο λάδι. Εφαρμόστηκε μια μέθοδος πεπερασμένων διαφορών για την επίλυση της 2D εξίσωσης Reynolds που διέπει την παραγόμενη υδροδυναμική πίεση. Το μοντέλο απέδειξε ότι η ελαστική παραμόρφωση του στελέχους αλλοιώνει το προφίλ του και αλλάζει δραματικά την υδροδυναμική δύναμη και ροπή που ενεργούν συνολικά στο έμβολο.

Οι Goenka P.K et al. (1992) μελέτησαν τις επιδράσεις της ελαστικής και θερμικής παραμόρφωσης του στελέχους καθώς και την επίδραση της υψής της επιφάνειας υπό μικτό και EHL. Επιπλέον, έχει γίνει ανάλυση της επαφής του στελέχους και της επένδυσης. Το μοντέλο EHL περιλαμβάνει θερμική και ελαστική παραμόρφωση, το αξονικό και περιφερειακό προφίλ του στελέχους, την παραγόμενη υδροδυναμική πίεση και την κατάσταση λειτουργίας.

Μια προσέγγιση πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο EHL για τον υπολογισμό της ροής της θερμότητας και των συντελεστών μεταφοράς της θερμότητας, οι οποίοι στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της παραμόρφωσης του στελέχους. Το μοντέλο επαφής λαμβάνει υπόψη μόνο το φορτίο που δημιουργείται από την επαφή στερεού με στερεό και αγνοεί το φορτίο που επιβάλλεται από την υδροδυναμική πίεση. Η επίλυση της εξίσωσης Reynolds δεν είναι πλέον απαραίτητη. Η μικτή λίπανση αξιολογεί τη λίπανση του εμβόλου λαμβάνοντας υπόψη τα σώματα ως άκαμπτες επιφάνειες που τα κανονικά φορτία διατηρούνται από την υδροδυναμική πίεση και την επαφή αδράνειας.

### **3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

Το σύστημα λίπανσης ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι πολύ σημαντικό. Εάν το σύστημα λίπανσης αποτύχει, όχι μόνο θα σταματήσει ο κινητήρας, αλλά πολλά από τα εξαρτήματα είναι πιθανό να υποστούν ανεπανόρθωτη ζημιά. Το ψυκτικό προστατεύει τον κινητήρα από το πάγωμα, ή την υπερθέρμανση.

Η δουλειά του συστήματος λίπανσης είναι να διανέμει λάδι στα κινούμενα μέρη για να μειώσει την τριβή μεταξύ των επιφανειών που τρίβονται μεταξύ τους.

Μια αντλία λαδιού βρίσκεται στο κάτω μέρος του κινητήρα. Η αντλία κινείται με ατέρμονα γρανάζι από τον εκκεντροφόρο άξονα της κύριας βαλβίδας εξαγωγής. Το λάδι αντλείται στην κορυφή του κινητήρα μέσα σε μια γραμμή τροφοδοσίας. Μικρές τρύπες στη γραμμή της τροφοδοσίας επιτρέπουν στο λάδι να στάζει μέσα στον στροφαλοθάλαμο. Το λάδι στάζει πάνω στα έμβολα καθώς κινούνται στους κυλίνδρους, λιπαίνοντας την επιφάνεια μεταξύ του εμβόλου και του κυλίνδρου. Στη

συνέχεια, το λάδι κατεβαίνει στο εσωτερικό του στροφαλοθαλάμου στα κύρια ρουλεμάν που συγκρατούν τον στροφαλοφόρο άξονα. Το λάδι έπειτα συλλέγεται και εκτοξεύεται στα ρουλεμάν για να λιπανθούν και αυτές οι επιφάνειες. Κατά μήκος του εξωτερικού του πυθμένα του στροφαλοθαλάμου υπάρχει ένας σωλήνας συλλογής που συγκεντρώνει το χρησιμοποιημένο λάδι και το επιστρέφει στην αντλία λαδιού για να κυκλοφορήσει ξανά.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα λίπανσης του κινητήρα θεωρείται ότι δίνει ροή στο καθαρό λάδι στην ακριβή θερμοκρασία, με κατάλληλη πίεση σε κάθε μέρος του κινητήρα. Το λάδι αναρροφάται στην αντλία από το κάρτερ, ως η καρδιά του συστήματος, μετά ωθείται μεταξύ του φίλτρου λαδιού και η πίεση τροφοδοτείται στα κύρια ρουλεμάν και επίσης στο μανόμετρο λαδιού. Το λάδι περνά μέσα από τις οπές τροφοδοσίας των κύριων ρουλεμάν στις διάτρητες διόδους που βρίσκονται στον στροφαλοφόρο άξονα και στα ρουλεμάν της μπίελας. Τα ρουλεμάν του πείρου του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου λαμβάνουν λιπαντικό λάδι το οποίο διαχέεται από τον περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο άξονα. Κάθε έδρανο του εκκεντροφόρου τροφοδοτείται από την κύρια δίοδο τροφοδοσίας. Το λάδι που περισσεύει στη συνέχεια αποστραγγίζεται πίσω στο κάρτερ, όπου η θερμότητα μεταφέρεται στον περιβάλλοντα αέρα.

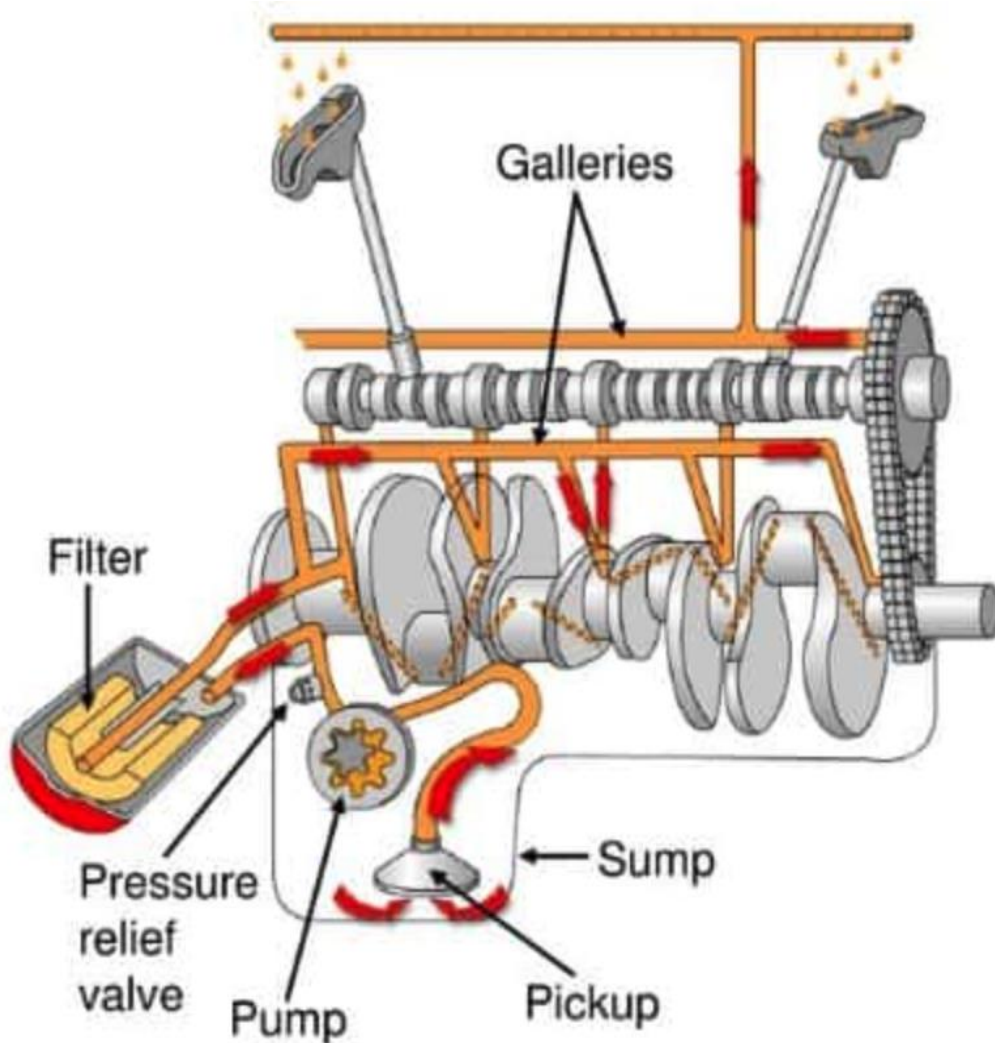
Εάν φθαρούν οι στροφαλοφόροι, ο κινητήρας θα έχει πολύ χαμηλή πίεση λαδιού και θα ρίχνει λάδι σε όλο το εσωτερικό του κινητήρα. Το περιττό πιπίλισμα θα ξεπεράσει τους δακτυλίους και μπορεί να κάνει τον κινητήρα να χρησιμοποιήσει αυτό το λάδι. Η απλή αντικατάσταση των ενθέτων ρουλεμάν μπορεί να αποκαταστήσει τις φθαρμένες επιφάνειες. Σε καλά συντηρημένο κινητήρα, η φθορά του ρουλεμάν γίνεται αμέσως μετά από μια κρύα εκκίνηση, επειδή υπάρχει λιγότερο ή καθόλου φιλμ λαδιού μεταξύ του άξονα και του ρουλεμάν. Τη στιγμή που αρκετά λιπαντικά αυτοκινήτων διασπείρονται μέσω του συστήματος υδροδυναμικής λίπανσης είναι εμφανές και σταματά την πρόοδο της φθοράς του ρουλεμάν.

Η στεγανοποίηση που αποφεύγει τη διαρροή του μείγματος αέρα ή του καυσίμου παρέχεται από τους δακτυλίους του εμβόλου. Από την άλλη πλευρά, από τη διαρροή στην περιοχή της καύσης κρατιέται το λάδι στο κάρτερ, όπου θα καεί και θα χαθεί. Αυτά τα αυτοκίνητα που καίνε λάδι πρέπει να προσθέτουν κάποια λίτρα λάδι ανά κάποια χιλιόμετρα επειδή οι δακτύλιοι πλέον δε σφραγίζονται σωστά.

Η υδροδυναμική λίπανση επικρατεί στο κέντρο του τοιχώματος του κυλίνδρου και των δακτυλίων του εμβόλου του καλοσυντηρημένου αυτοκινήτου και είναι απαραίτητη για την πολύ χαμηλότερη φθορά και τριβή. Το πάχος της μεμβράνης γίνεται ανάμεικτο και μπορεί να υπάρχει ελάχιστη λίπανση όπου το έμβολο θα σταματήσει για να ανακατευθυνθεί στο πάνω και στο κάτω μέρος του νεκρού κέντρου.

Για να αναλυθεί, ή να πραγματοποιηθεί η μεταφορά της κεφαλής καλά από το έμβολο στον κύλινδρο, είναι επιθυμητή η καλύτερη στεγανοποίηση, ελάχιστο πάχος φιλμ και ελάχιστη καύση του λαδιού. Ο δακτύλιος ελέγχου του λαδιού διατηρεί ελάχιστο το πάχος του φιλμ. Αυτός ο δακτύλιος βρίσκεται μετά τους δακτυλίους του εμβόλου, έτσι ώστε το πλεόνασμα του λαδιού να πηγαίνει απευθείας στο κάρτερ. Για τη λίπανση του παρακάτω δακτυλίου θα είναι διαθέσιμη η μεμβράνη λαδιού που έχει απομείνει στο τοίχωμα του κυλίνδρου από τη δίοδο αυτού του δακτυλίου.

Η υποβάθμιση του λαδιού προκύπτει από το μείγμα αέρα ή τη διαρροή του καυσίμου που εξέρχεται από τον θάλαμο καύσης στο κάρτερ του λαδιού. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, η συχνή αναπλήρωση λαδιού παρά την αλλαγή του λαδιού θα παραμείνει απαραίτητη ή μπορεί επίσης να γίνει πιο απαραίτητη στο μέλλον.



Εικόνα 3.2: Σύστημα λίπανσης κινητήρα

Το σύστημα λίπανσης όπως έχει επισημανθεί και από τα πρώτα κεφάλαια παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του κινητήρα. Μειώνει την τριβή δημιουργώντας μια λεπτή μεμβράνη (διάκενο) μεταξύ των κινούμενων μερών (ρουλεμάν και κορμούς). Το λάδι βοηθά να σχηματιστεί μια στεγανή σφράγιση μεταξύ των δακτυλίων του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Η εσωτερική διαρροή λαδιού (blow-by) όταν υπάρχει θα έχει ως αποτέλεσμα μπλε καπνό. Καθώς κυκλοφορεί μέσα στον κινητήρα, το λάδι μαζεύει μεταλλικά σωματίδια και άνθρακα. Όταν επιβάλλονται μεγάλα φορτία στα ρουλεμάν, το λάδι βοηθά στην απορρόφηση του φορτίου. Το ιξώδες είναι ένα μέτρο της αντίστασης του λαδιού στη ροή. Ένα λάδι χαμηλού ιξώδους είναι λεπτό και ρέει εύκολα. Από την άλλη ένα λάδι υψηλού ιξώδους είναι παχύρρευστο και ρέει αργά. Καθώς το λάδι θερμαίνεται γίνεται πιο παχύρρευστο (γίνεται λεπτό). Το λάδι του

κινητήρα πρέπει να εκτελεί πολλές λειτουργίες κάτω από πολλές διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Οι κύριες λειτουργίες του λαδιού αναφέρονται παρακάτω:

- Παρέχεται ένα φράγμα ανάμεσα στα κινούμενα μέρη για να μειωθεί η τριβή, η συσσώρευση θερμότητας και η φθορά.
- Διασκορπίζεται η θερμότητα. Η τριβή από κινούμενα μέρη και η καύση του καυσίμου παράγουν θερμότητα που πρέπει να μεταφερθεί.
- Απορροφάται και αιωρήται η βρωμιά και άλλα σωματίδια. Η βρωμιά και τα σωματίδια άνθρακα πρέπει να μεταφερθούν από το λάδι στο φίλτρο λαδιού όπου μπορούν έπειτα να παγιδευτούν.
- Εξουδετερώνονται τα οξέα που μπορούν να συσσωρευτούν και να καταστρέψουν γυαλισμένες μεταλλικές επιφάνειες.
- Επικαλύπτει όλα τα μέρη του κινητήρα. Το λάδι πρέπει να έχει την ικανότητα να αφήνει μια προστατευτική επίστρωση σε όλα τα μέρη όταν ο κινητήρας είναι σβηστός για να αποτρέψει τόσο τη σκουριά όσο και τη διάβρωση.
- Αντιστέκεται στη συσσώρευση λάσπης και βερνικιού. Το λάδι πρέπει να μπορεί να αντέχει την υπερβολική ζέστη χωρίς να αλλάζει τις φυσικές του ιδιότητες, ή να διασπάται.
- Μένει ρευστό σε κρύο καιρό

### 3.3.1 Αντλία λαδιού

Η αντλία λαδιού σε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης κυκλοφορεί το λάδι του κινητήρα υπό πίεση στα περιστρεφόμενα ρουλεμάν, τα συρόμενα έμβολα και τον εκκεντροφόρο άξονα του κινητήρα. Αυτό λιπαίνει τα ρουλεμάν, επιτρέπει τη χρήση ρουλεμάν υγρού μεγαλύτερης χωρητικότητας και βοηθά επίσης στην ψύξη του κινητήρα.

Εκτός από τον κύριο σκοπό του για τη λίπανση, το λιπαντικό υπό πίεση χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως υδραυλικό ρευστό για την τροφοδοσία μικρών ενεργοποιητών. Μία από τις πρώτες αξιοσημείωτες χρήσεις με αυτόν τον τρόπο ήταν τα υδραυλικά ωστήρια στον εκκεντροφόρο άξονα και την ενεργοποίηση των βαλβίδων. Οι ολοένα και πιο κοινές πρόσφατες χρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τον εντατήρα

για έναν ιμάντα χρονισμού ή μεταβλητές για συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων.

Ο τύπος της αντλίας που χρησιμοποιείται γενικά ποικίλλει. Οι πιο συχνές αντλίες είναι αυτές με γρανάζια, οι αντλίες τροχοειδείς αντλίες και οι αντλίες πτερυγίων. Οι αντλίες εμβόλου έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, αλλά πλέον χρησιμοποιούνται σπάνια, για μικρούς κινητήρες.

Για να αποφευχθεί η ανάγκη πλήρωσης, η αντλία τοποθετείται πάντα χαμηλά, είτε βυθισμένη είτε γύρω από τη στάθμη του λαδιού στο κάρτερ. Ένας κοντός σωλήνας συλλογής με ένα απλό φίλτρο από συρμάτινο πλέγμα φτάνει στο κάτω μέρος του κάρτερ.

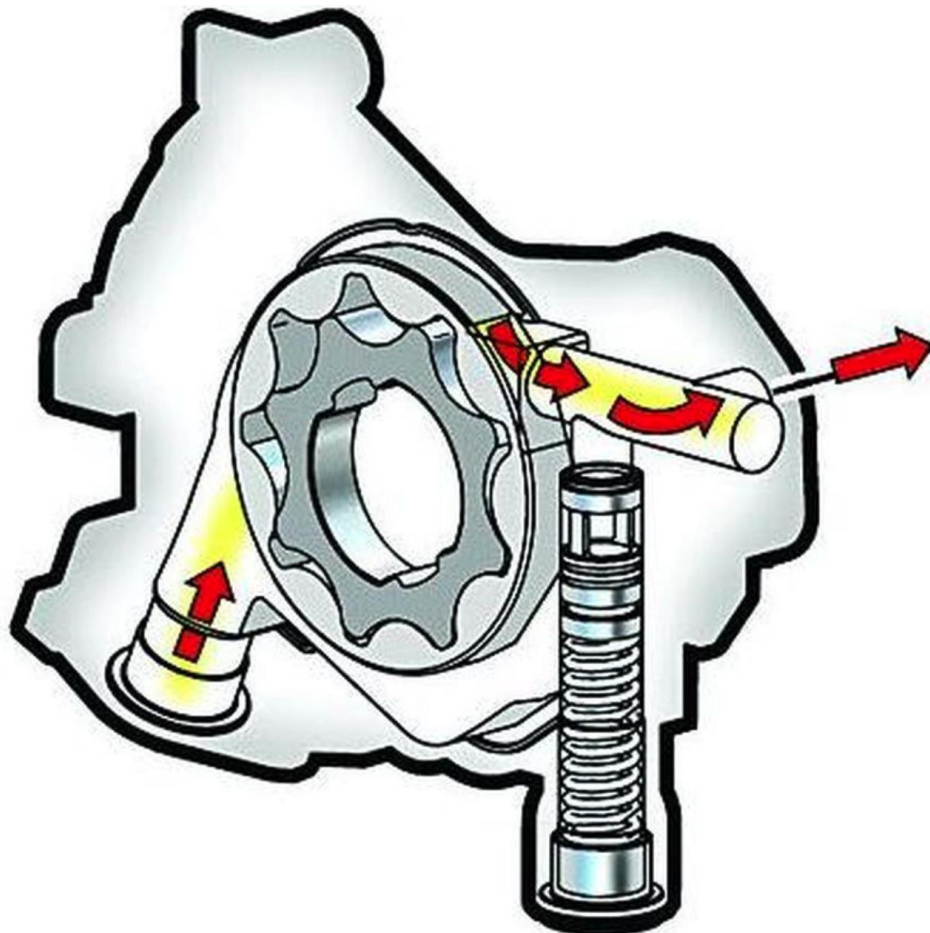


Εικόνα 3.3: Εσωτερικό αντλίας λαδιού κινητήρα εσωτερικής καύσης αυτοκινήτου (blog.beforward.jp, n.d.)

Για απλότητα και αξιοπιστία, χρησιμοποιούνται μηχανικές αντλίες, που κινούνται από μηχανικά γρανάζια από το στροφαλοφόρο άξονα. Η μείωση της ταχύτητας της αντλίας είναι ευεργετική και γι' αυτό είναι συνηθισμένο να οδηγείται η αντλία από το έκκεντρο (αν είναι τοποθετημένο στο μπλοκ κυλίνδρου) ή τον άξονα του διανομέα, ο οποίος περιστρέφεται στη μισή ταχύτητα του κινητήρα. Η τοποθέτηση της αντλίας λαδιού χαμηλά χρησιμοποιεί έναν σχεδόν κατακόρυφο άξονα μετάδοσης κίνησης, που κινείται από ελικοειδή λοξά γρανάζια από τον εκκεντροφόρο άξονα. Ορισμένοι κινητήρες, όπως ο κινητήρας Fiat Twin Cam του 1964, ξεκίνησαν ως κινητήρες με αντλία λαδιού που κινούνταν από έναν συμβατικό εκκεντροφόρο άξονα στο μπλοκ των κυλίνδρων. Όταν αναπτύχθηκε ο διπλός εκκεντροφόρος κινητήρας, η προηγούμενη διάταξη αντλίας λαδιού διατηρήθηκε και ο εκκεντροφόρος άξονας έγινε κοντύτερος. Ακόμη και όταν η θέση του διανομέα μετακινήθηκε από το προηγούμενο μπλοκ στηρίγματος για να τοποθετηθεί στους εκκεντροφόρους άξονες της κυλινδροκεφαλής, ο κινητήρας της αντλίας λαδιού παρέμεινε στην ίδια θέση, η αχρησιμοποίητη θέση του διανομέα τώρα καλύπτεται από μια κενή πλάκα. Οι μικροί

κινητήρες ή τα σκούτερ μπορεί να έχουν εσωτερικές αντλίες γραναζιών τοποθετημένες απευθείας στον στροφαλοφόρο τους άξονα.

Για αξιοπιστία, είναι σπάνιο να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός μηχανισμός μετάδοσης κίνησης, είτε ξεχωριστός ιμάντας κίνησης, είτε εξωτερικά γρανάζια, αν και οι αντλίες με εκκεντροφόρο άξονα βασίζονται συχνά στον ίδιο ιμάντα χρονισμού. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται πρόσθετοι ξεχωριστοί ιμάντες όπου έχουν προστεθεί αντλίες ξηρού κάρτερ στους κινητήρες κατά τη διάρκεια του συντονισμού.



Εικόνα 3.4: Προσομοίωση λειτουργίας αντλίας λαδιού (hemmings, n.d.)

Δεν χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές αντλίες λαδιού και πάλι για αξιοπιστία. Μερικές ηλεκτρικές βοηθητικές αντλίες λαδιού «turbo timer» τοποθετούνται μερικές φορές σε υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες. Πρόκειται για μια δεύτερη αντλία λαδιού που συνεχίζει να λειτουργεί αφού σταματήσει ο κινητήρας, παρέχοντας ψυκτικό λάδι στα ζεστά ρουλεμάν ενός στροβιλοσυμπιεστή για μερικά λεπτά, ενώ κρυώνει. Αυτές είναι γενικά επιπρόσθετες υποστηρικτικές αντλίες και δεν αντικαθιστούν την κύρια μηχανική αντλία.

Η ηλεκτρική αντλία ως κύρια αντλία κινητήρα και πάλι θα απαιτήσει μεγάλους ηλεκτρικούς κινητήρες και μπορεί να είναι απλά φθηνότερη η χρήση της λειτουργένας απευθείας από τον κινητήρα.



Η πίεση του λαδιού που παράγεται στους περισσότερους κινητήρες θα πρέπει να είναι περίπου 10 psi ανά 1000 στροφές ανά λεπτό (rpm), κορυφώνοντας περίπου τα 55-65 psi.

Η τοπική πίεση (στο στροφαλοφόρο άξονα και στο ρουλεμάν) είναι πολύ υψηλότερη από τα 50, 60 psi κ.λπ. ρυθμίζεται από τη βαλβίδα εκτόνωσης της αντλίας και φτάνει τα εκατοντάδες psi. Αυτή η υψηλότερη πίεση αναπτύσσεται από τις σχετικές ταχύτητες σε πόδια ή χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο (όχι στροφές ανά λεπτό ή κάποιο άλλο μέγεθος του στροφαλοφόρου απευθείας) του ίδιου του στροφαλοφόρου άξονα έναντι του ρουλεμάν, του πλάτους του ρουλεμάν (στην πλησιέστερη διαρροή πίεσης), του ιξώδους λαδιού και της θερμοκρασίας, ισορροπημένα με διάκενο ρουλεμάν (ο ρυθμός διαρροής).

Το μόνο που κάνει η πίεση της αντλίας είναι να ανανεώσει το λάδι στον δακτυλιοειδές χώρο γρηγορότερα από ό,τι το διώχνει η διαρροή. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι κινητήρες χαμηλής ταχύτητας έχουν σχετικά μεγάλα γεμιστήρια, με μέτριο μόνο μέγεθος και πίεση αντλίας. Η χαμηλή πίεση υποδηλώνει ότι η διαρροή από τα ρουλεμάν είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό παροχής της αντλίας.

Η πίεση του λαδιού στην έξοδο της αντλίας, η οποία είναι αυτή που ανοίγει τη βαλβίδα εκτόνωσης της πίεσης, είναι απλώς η αντίσταση στη ροή που προκαλείται από τα διάκενα και τους περιορισμούς των ρουλεμάν.

Το μανόμετρο λαδιού, ή η προειδοποιητική λυχνία, δίνει μόνο την πίεση στο σημείο όπου ο αποστολέας του εισέρχεται σε αυτό το τμήμα του συστήματος υπό πίεση. Παρά τη συχνή σύγκριση με τη θεωρία της υδραυλικής μηχανικής, αυτό δεν είναι ένα «κλειστό σύστημα» στο οποίο η πίεση λαδιού είναι ισορροπημένη και παντού ίδια. Όλοι οι κινητήρες είναι «ανοικτά συστήματα», γιατί το λάδι επιστρέφει στο κάρτερ με μια σειρά ελεγχόμενων διαρροών. Τα έδρανα που βρίσκονται πιο μακριά από την αντλία έχουν πάντα τη χαμηλότερη πίεση λόγω του αριθμού των διαρροών μεταξύ της αντλίας και αυτού του ρουλεμάν. Το υπερβολικό διάκενο αυξάνει την απώλεια πίεσης μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου ρουλεμάν στη σειρά.

Ανάλογα με την κατάσταση, ένας κινητήρας μπορεί να έχει κάποια γενική αποδεκτή πίεση και ακόμη και πίεση ίση με μόνο 5 psi σε μία μπιέλα, η οποία θα αποτύχει υπό υψηλό φορτίο.

Η πίεση στην πραγματικότητα δημιουργείται από την αντίσταση στη ροή του λαδιού γύρω από τον κινητήρα.[6] Έτσι, η πίεση του λαδιού μπορεί να ποικίλλει κατά τη λειτουργία, ανάλογα με τη θερμοκρασία, τις στροφές του κινητήρα και τη φθορά του κινητήρα. Η ψυχρότερη θερμοκρασία λαδιού μπορεί να προκαλέσει υψηλότερη πίεση, καθώς το λάδι είναι παχύτερο, ενώ οι υψηλότερες στροφές του κινητήρα κάνουν την αντλία να λειτουργεί πιο γρήγορα και να σπρώχνει περισσότερο λάδι μέσα από τον κινητήρα. Λόγω των διακυμάνσεων στη θερμοκρασία και των κανονικών υψηλότερων στροφών του κινητήρα κατά την εκκίνηση του κινητήρα με κρύο, είναι φυσιολογικό να υπάρχει υψηλότερη πίεση λαδιού κατά την εκκίνηση του κινητήρα από ό,τι σε κανονικές θερμοκρασίες λειτουργίας, όπου η κανονική πίεση του λαδιού συνήθως πέφτει μεταξύ 30 και 45 psi. Η υπερβολική πίεση λαδιού μπορεί να δημιουργήσει περιττή εργασία για τον κινητήρα και ακόμη και να προσθέσει αέρα στο σύστημα. Για

να διασφαλιστεί ότι η πίεση του λαδιού δεν υπερβαίνει το ονομαστικό μέγιστο, μόλις η πίεση υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, μια βαλβίδα εκτόνωσης της πίεσης με ελατήριο εκτοξεύει την υπερβολική πίεση είτε στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας είτε απευθείας πίσω στο κάρτερ λαδιού ή στη δεξαμενή.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα λιπαντικά των κινητήρων καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα και χαρακτηρίζονται από τους τύπους των κινητήρων, το καύσιμο που χρησιμοποιείται, τη διαδικασία της καύσης και το σέρβις του κινητήρα κ.λπ. Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες αποτελούνται από μείγματα βασικών λιπαντικών, τα οποία διακρίνονται από το ιξώδες τους, και τα πρόσθετα της απόδοσης. Τα βασικά λιπαντικά μπορεί να είναι με βάση το πετρέλαιο (ορυκτέλαια), συνθετικά παραγόμενα ή φυσικά φυτικά έλαια. Τα πρόσθετα της απόδοσης καλύπτουν μια σειρά τύπων όπως, κατασταλτικά σημείου ροής, τροποποιητές ιξώδους, αντιοξειδωτικά, αναστολείς φθοράς, διασκορπιστικά, απορρυπαντικά, βασικά πρόσθετα, τροποποιητές τριβής, παράγοντες ακραίας πίεσης, γαλακτωματοποιητές, αναστολείς σκουριάς, αναστολείς διάβρωσης και αναστολείς αφρού.

Η κύρια λειτουργία του λιπαντικού του κινητήρα είναι να μειώνει την τριβή και τη φθορά σε κινούμενα μέρη και να καθαρίζει τον κινητήρα από τη λάσπη (μία από τις λειτουργίες των διασκορπιστικών) και το βερνίκι (απορρυπαντικά). Εξουδετερώνει επίσης τα οξέα που προέρχονται από το καύσιμο και την οξείδωση του λιπαντικού (απορρυπαντικά), βελτιώνει τη στεγανοποίηση των δακτυλίων του εμβόλου και ψύχει τον κινητήρα μεταφέροντας τη θερμότητα μακριά από κινούμενα μέρη.

Το λιπαντικό κινητήρα μπορεί να αποτελείται μόνο από ένα βασικό απόθεμα λιπαντικού στην περίπτωση του μη απορρυπαντικού λαδιού ή από ένα βασικό απόθεμα λιπαντικού συν πρόσθετα για τη βελτίωση της απορρυπαντικότητας του λαδιού, την απόδοση σε ακραίες πιέσεις και την ικανότητα αναστολής της διάβρωσης των εξαρτημάτων του κινητήρα.

Τα λιπαντικά του κινητήρα αναμειγνύονται χρησιμοποιώντας βασικά έλαια που αποτελούνται από υδρογονάνθρακες με βάση το πετρέλαιο, πολυαλφαολεφίνες (PAO) ή μίγματά τους σε διάφορες αναλογίες, μερικές φορές με έως και 20% κατά βάρος εστέρες για καλύτερη διάλυση των προσθέτων.

Το λάδι του κινητήρα είναι ένα λιπαντικό που χρησιμοποιείται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίες τροφοδοτούν αυτοκίνητα, μοτοσικλέτες, χλοοκοπτικά, γεννήτριες κινητήρων και πολλά άλλα μηχανήματα. Στους κινητήρες, υπάρχουν μέρη που κινούνται μεταξύ τους και η τριβή μεταξύ των εξαρτημάτων σπαταλά χρήσιμη ενέργεια μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε θερμότητα. Επίσης, φθείρει αυτά τα μέρη, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερη απόδοση και υποβάθμιση του κινητήρα. Η σωστή λίπανση μειώνει την κατανάλωση καυσίμου, μειώνει τη σπατάλη ισχύος και αυξάνει τη μακροζωία του κινητήρα.

Το λιπαντικό δημιουργεί ένα διαχωριστικό φιλμ μεταξύ των επιφανειών των παρακείμενων κινούμενων μερών όπως αναφέρθηκε με λεπτομέρεια στα προηγούμενα κεφάλαια για να ελαχιστοποιήσει την άμεση επαφή μεταξύ τους, μειώνοντας τη θερμότητα τριβής και μειώνοντας τη φθορά, προστατεύοντας έτσι τον κινητήρα. Κατά τη χρήση, το λάδι μεταφέρει θερμότητα μέσω της αγωγιμότητας καθώς ρέει μέσω του κινητήρα.

Σε έναν κινητήρα με αντλία λαδιού ανακυκλοφορίας, αυτή η θερμότητα μεταφέρεται μέσω της ροής του αέρα στην εξωτερική επιφάνεια του κάρτερ του λαδιού, ή της ροής αέρα μέσω του ψυγείου του λαδιού και μέσω των αερίων λαδιού που εκκενώνονται από το σύστημα θετικού αερισμού του στροφαλοθαλάμου. Ενώ οι σύγχρονες αντλίες ανακυκλοφορίας παρέχονται συνήθως σε επιβατικά αυτοκίνητα και άλλους κινητήρες παρόμοιου ή μεγαλύτερου μεγέθους, το λιπαντικό ολικής απώλειας είναι μια σχεδιαστική επιλογή που παραμένει δημοφιλής σε μικρούς και μικροσκοπικούς κινητήρες.

Στους κινητήρες βενζίνης (βενζίνης), ο δακτύλιος του επάνω εμβόλου μπορεί να εκθέσει το λάδι κινητήρα σε θερμοκρασίες 160 °C (320 °F). Στους κινητήρες ντίζελ, ο επάνω δακτύλιος μπορεί να εκθέσει το λάδι σε θερμοκρασίες άνω των 315 °C (600 °F). Τα λιπαντικά του κινητήρα με υψηλότερους δείκτες ιξώδους αραιώνουν λιγότερο σε αυτές τις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η επίστρωση μεταλλικών μερών με λάδι τα εμποδίζει επίσης να εκτεθούν στο οξυγόνο, εμποδίζοντας την οξειδωση σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, αποτρέποντας τη σκουριά ή τη διάβρωση. Μπορούν επίσης να προστεθούν αναστολείς διάβρωσης στο λάδι κινητήρα. Πολλά λιπαντικά κινητήρα έχουν επίσης απορρυπαντικά και διασκορπιστικά που βοηθούν τον κινητήρα να διατηρείται καθαρός και να ελαχιστοποιείται η συσσώρευση λάσπης στο λάδι. Το λάδι είναι ικανό να παγιδεύει την αιθάλη από την καύση από μόνη της, αντί να την αφήνει να εναποτίθεται στις εσωτερικές επιφάνειες.

Το τρίψιμο των μεταλλικών μερών του κινητήρα αναπόφευκτα παράγει μερικά μικροσκοπικά μεταλλικά σωματίδια από τη φθορά των επιφανειών. Τέτοια σωματίδια θα μπορούσαν να κυκλοφορούν στο λάδι και να τρίβονται με τα κινούμενα μέρη, προκαλώντας φθορά. Επειδή τα σωματίδια συσσωρεύονται στο λάδι, συνήθως κυκλοφορούν μέσω ενός φίλτρου λαδιού το οποίο τα «αιχμαλωτίζει» ώστε να τα απομακρύνει από τη ροή. Μια αντλία λαδιού, είναι μια αντλία με πτερύγια ή γρανάζια που τροφοδοτείται από τον κινητήρα, αντλεί το λάδι σε όλο τον κινητήρα, συμπεριλαμβανομένου του φίλτρου λαδιού. Τα φίλτρα λαδιού μπορεί να είναι τύπου πλήρους ροής ή παράκαμψης.

Στο στροφαλοθάλαμο ενός κινητήρα οχήματος, το λάδι του κινητήρα λιπαίνει τις περιστρεφόμενες ή ολισθαίνουσες επιφάνειες μεταξύ των ρουλεμάν του στροφαλοφόρου (κύρια ρουλεμάν και ρουλεμάν μεγάλου άκρου) και των ράβδων που συνδέουν τα έμβολα με το στροφαλοφόρο άξονα. Το λάδι έπειτα συλλέγεται στο κάρτερ, στο κάτω μέρος του στροφαλοθαλάμου. Σε ορισμένους μικρούς κινητήρες, όπως κινητήρες χλοοκοπτικών, οι διακοπτήρες στο κάτω μέρος των μπιέλας βυθίζονται στο λάδι στο κάτω μέρος και το εκτοξεύουν γύρω από τον στροφαλοθάλαμο, όπως χρειάζεται για να λιπάνουν εξαρτήματα στο εσωτερικό. Στους

σύγχρονους κινητήρες οχημάτων, η αντλία λαδιού παίρνει λάδι από το κάρτερ λαδιού και το στέλνει μέσω του φίλτρου λαδιού σε στοές λαδιού, από τις οποίες το λάδι λιπαίνει τα κύρια ρουλεμάν που συγκρατούν τον στροφαλοφόρο άξονα στους κύριους κρίκους και τα ρουλεμάν εκκεντροφόρου που λειτουργούν τις βαλβίδες. Στα τυπικά σύγχρονα οχήματα, το λάδι που τροφοδοτείται με πίεση από τις στοές του λαδιού στα κύρια ρουλεμάν εισέρχεται σε οπές στους κύριους κρίκους του στροφαλοφόρου άξονα.

Από αυτές τις οπές στους κύριους κρίκους, το λάδι κινείται μέσα από διόδους μέσα στον στροφαλοφόρο άξονα για να βγει από τις οπές στα γεμιστήρια των ράβδων για να λιπάνει τα ρουλεμάν της ράβδου και τις μπιέλες. Μερικά απλούστερα σχέδια βασίστηκαν σε αυτά τα ταχέως κινούμενα μέρη για να πιτσιλίσουν και να λιπάνουν τις επιφάνειες επαφής μεταξύ των δακτυλίων του εμβόλου και των εσωτερικών επιφανειών των κυλίνδρων.

Στα μοντέρνα σχέδια, υπάρχουν επίσης διόδοι μέσω των ράβδων που μεταφέρουν λάδι από τα ρουλεμάν ράβδου στις συνδέσεις ράβδου-εμβόλου και λιπαίνουν τις επιφάνειες επαφής μεταξύ των δακτυλίων του εμβόλου και των εσωτερικών επιφανειών των κυλίνδρων. Αυτή η μεμβράνη λαδιού χρησιμεύει επίσης ως στεγανοποίηση μεταξύ των δακτυλίων του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου για να διαχωρίσει το θάλαμο καύσης στην κυλινδροκεφαλή από τον στροφαλοθάλαμο. Στη συνέχεια, το λάδι στάζει πίσω στο κάρτερ λαδιού.

Το λάδι του κινητήρα μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως ψυκτικός παράγοντας. Σε ορισμένους κινητήρες, το λάδι ψεκάζεται μέσω ενός ακροφυσίου στο εσωτερικό του στροφαλοθαλάμου πάνω στο έμβολο για να παρέχει ψύξη συγκεκριμένων εξαρτημάτων που υφίστανται καταπόνηση υψηλής θερμοκρασίας. Από την άλλη πλευρά, η θερμική χωρητικότητα της δεξαμενής του λαδιού πρέπει να γεμίσει, δηλαδή το λάδι πρέπει να φτάσει στο σχεδιασμένο εύρος θερμοκρασίας για να μπορέσει να προστατεύσει τον κινητήρα υπό το υψηλό φορτίο. Αυτό συνήθως διαρκεί περισσότερο από τη θέρμανση του κύριου ψυκτικού παράγοντα, δηλαδή του νερού ή μειγμάτων αυτού, μέχρι τη θερμοκρασία λειτουργίας του. Προκειμένου να ενημερωθεί ο οδηγός σχετικά με τη θερμοκρασία του λαδιού, ορισμένοι παλαιότεροι και πιο υψηλών επιδόσεων, ή αγωνιστικοί κινητήρες διαθέτουν θερμομέτρο λαδιού.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- statista*. (2021). Retrieved from [www.statista.com: https://www.statista.com/statistics/411616/lubricants-demand-worldwide/](https://www.statista.com/statistics/411616/lubricants-demand-worldwide/)
- ipsos*. (2021). Retrieved from [www.ipsos.com: https://www.ipsos.com/en/new-lubricant-trade-asean-promising-new-era](https://www.ipsos.com/en/new-lubricant-trade-asean-promising-new-era)
- Lindemann L. (2013). Lubricant development against the background of new raw materials. *OilDoc Conference, Rosenheim*.
- Gosalia, A. (2013). The Lubricants Industry & FUCHS: A Journey along the Process & Value Chain. *FUCHS Bankeninformationsveranstaltung, Mannheim*.
- Gosalia A. . (2012). Sustainability and the global lubricants industry . *The 16th ICIS World Base Oils & Lubricants Conference, London*.
- Wimmer M., Grad S., Kaup T., Hänni M. (2004). Tribology Approach to the Engineering and Study of Articular Cartilage. *Tissue engineering* .
- Karbacher R. (2006). Mixed film lubrications of rolling bearings. *15th International Colloquium Tribology, Automotive and Industrial Lubrication (17–19 January), Technische Akademie Esslingen*.
- Wiersch P. & Schwarze H. (2006). EHL simulation under mixed friction conditions using the example of a cam tappet contact. *15th International Colloquium Tribology, Automotive and Industrial Lubrication, Technische Akademie Esslingen*.
- Czichos H. (1992). Basic Tribological Parameters Friction. *Lubrication and Wear Technology, ASTM Handbook, vol. 18, p. 474*.
- Gold P., Loos J., Kretschmer T., Wincierz C. . (2006). Influence of VI improvers on pressure-viscosity behaviour. *Proceedings of the 15th International Colloquium Tribology, Automotive and Industrial Lubrication, 17–19 January 2006, Technische Akademie Esslingen*.
- Klamann D. (1984). *Lubricants and Related Products*. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- Weissenberg K. & Freeman S.M. (1948). (/49). Proceedings of the First International Rheology Congress, Holland, pp. 11–12.
- Downey W.R. (2005). Impact of GTL Technology on the Future of the Lubes Business. *UEIL World Congress*.

- Beerbower A. . (1984). Environmental Capabilities of Liquid Lubricants. *ASLE Special Publication*, SP-15, pp. 58–69.”.
- Lansdown A.R. (1994). High Temperature Lubrication. *Mechanical Engineering Publications*.
- Rudnik, L.R. . (2013). Polyalphaolefins, in Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology. *CRC Press*.
- Rudnik L.R. (2013). Comparison of synthetic, mineral oil, and bio-based fluids, in Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology. *CRC Press*.
- Boyde S.& Randles S.J. . (2013). Esters, in Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology.
- Rudnick, Leslie R. . (2013). Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology, 2nd edn . *CRC Press, Boca Raton*.
- Lingg G. (2004). Unconventional Base Oils for Liquid and Semi-Solid Lubricants. *14th International Colloquium*, 1, pp. 1–4.
- learnmech. (n.d.). *learnmech.com*. Retrieved 10 2021, from <https://learnmech.com/engine-lubrication-system-working-principle-types-and-components/>
- Antusch S., Dienwiebel M., Nold E., Albers P., Spicher U., Scherge M. . (2010). On the tribochemical action of engine soot. *Wear*, 269, 1–12.
- Harenbrock M., Kolczyk M., Gray C., Robson R. (2004). Ageing of Filter Media in Automotive Engine Oils. *Proceedings of the 14th International Colloquium Tribology, Esslingen*.
- Schwarze H., Knoll G., Longo C., Kopnarski M., Emrich, S. . (2010). Auswirkung von Ethanol E85 auf Schmierstoffalterung und Verschleiß im Ottomotor *Motortech*. 286–292.
- Küpper C., Artmann C., Pischinger S., Rabl H.-P. . (2013). Schmierölverdünnung von direkteinspritzenden Ottomotoren unter Kaltstartrandbedingungen. *Motortech. Z.*, 9, 710–715.
- Shimokoji D. & Okuyama Y. . (2009). Analysis of Engine Oil Deterioration under Bio Diesel Fuel Use. *SAE 2009-01-1872.*” *Excerpt From: Mang, Wilfried Dresel*.
- Lauterwasser F., Hutchinson P., Wincierz C., Ulzheimer S., Gray D. (2012). The Role of VI Improvers in the Formulation of Fuel Efficient Engine Oils with Long Drain Intervals . *Proceedings of the 18th International Colloquium Tribology, Esslingen*.
- enginebuildermag*. (n.d.). Retrieved from [www.enginebuildermag.com](http://www.enginebuildermag.com): [https://www.enginebuildermag.com/wp-content/uploads/adding\\_oil-web.jpg](https://www.enginebuildermag.com/wp-content/uploads/adding_oil-web.jpg)

- directindustry*. (n.d.). Retrieved 10 2021, from [www.directindustry.com:https://www.directindustry.com/prod/totalenergies-lubricants/product-37490-2316577.html](http://www.directindustry.com:https://www.directindustry.com/prod/totalenergies-lubricants/product-37490-2316577.html)
- Roslan A., Ibrahim A. S., Hadi A. (2016). Metal additives composition and its effect on lubricant characteristic. *Aip conference proceedings*, <https://doi.org/10.1063/1.4965083>.
- Carvalho M. , Seidl P., Belchior C., Sodré J. (2010). Lubricant viscosity and viscosity improver additive effects on diesel fuel economy. *Tribology international*, *43*, 2298-2302.
- Surinder P. (2010). Petroleum Fuels Manufacturing Handbook including specialty Products and Sustainable Manufacturing Techniques. *The McGraw-Hill Companies, Inc.*
- Boyde S. (2002). A Review:Green lubricants. Environmental benefits and impacts of lubrication. *Green Chemistry*, *4*, 293–307.
- Pereira G., Lachenwitzer A., Kasrai M., Bancroft G. M., Norton P. R., Abrecht M., Gilbert P. U. P. A., Regier T., Blyth R. I. R., Thompson J. (2007). Chemical and mechanical analysis of tribofilms from fully formulated oils. *Part 1 – Films on 52100 steel. Tribology*, *1*.
- Delprete C. & Razavykia A. . (2018). Piston dynamics, lubrication and tribological performance evaluation: A review. *International journal of engine research*.
- Bishop G. & Leavitt A. (1975). Performance simulation of a diesel piston and ring system. . *SAE technical paper 750768*.
- Knoll G. & Peeken H. . (1982). Hydrodynamic lubrication of piston skirts. *J Lubr Technol* *104(4)*, 504–508.
- Li D., Rohde S., Ezzat H. . (1983). An automotive piston lubrication model. *ASLE Trans*; *26(2)*, 151–160.
- Rezeka S.F. & Henein N.A. . (1984). A new approach to evaluate instantaneous friction and its components in internal combustion engines. *SAE technical paper 840179*.
- Ohta K., Irie Y., Yamamoto K. Ishikawa H. . (1987). Piston slap induced noise and vibration of internal combustion engines. *SAE technical paper 870990*.
- Mourelatos Z.P. (1988). Trajectory of a ringless piston within the cylinder of an internal combustion engine with a cross- head design. *SAE technical paper 880194*.
- Ciulli E. . (1992). A review of internal combustion engine losses part 1: specific studies on the motion of pistons, valves and bearings. . *Proc IMechE, Part D: J Automobile Engi- neering* *1992; 206(4)*, 223–236.



- Haddad S.D. & Tjan K.T. (1995). An analytical study of offset piston and crankshaft designs and the effect of oil film on piston slap excitation in a diesel engine. *Mech Mach Theory* 30(2), 271–284.
- Nakada T., Yamamoto A., Abe T. . (1997). A numerical approach for piston secondary motion analysis and its application to the piston related noise. *SAE technical paper 972043*.
- Nakashima K., Yajima Y., Suzuki K. (1999). Approach to minimization of piston slap force for noise reduction– investigation of piston slap force by numerical simulation. *JSAE Rev*; 20(2), 211–216.
- Taraza D., Henein N. and Bryzik W. (2000). Friction losses in multi-cylinder diesel engines. *SAE technical paper 2000- 01-0921*.
- Haubner F.G. . (2001). Simulation of the piston and piston ring dynamic. *SAE technical paper 2001-01-3368*.
- Keribar R., Dursunkaya Z., Ganapathy V. (1993). An integrated design analysis methodology to address piston tribological issues. *SAE technical paper 930793*.
- Oh K., Li C., Goenka P. (1987). Elastohydrodynamic lubrication of piston skirts. *J Tribol*, 109(2), 356–362.
- Goenka P.K. & Meernik P.R. (1992). Lubrication analysis of piston skirts. *SAE technical paper 920490*.
- [https://www.youtube.com/watch?v=mmmcyj53TNic&ab\\_channel=AutomotiveSystem](https://www.youtube.com/watch?v=mmmcyj53TNic&ab_channel=AutomotiveSystem). (n.d.). Retrieved 10 2021
- hemmings. (n.d.). Retrieved 11 2021, from <https://www.hemmings.com/stories/article/oil-pumps>:  
<https://www.hemmings.com/stories/article/oil-pumps>
- blog.beforward.jp*. (n.d.). Retrieved 11 2021, from <https://blog.beforward.jp/auto-parts/infrequent-oil-oil-filter-damage-engines.html>
- kaman*. (n.d.). Retrieved 11 2021, from kaman: <http://kaman-hampa.com/field-of-activity/kaman-group/production/production-brands/rayar-llc-armenia/>