



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΣ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μέτρηση ιξώδους ορυκτελαίου, συνθετικού λιπαντικού και
λιπαντικού που περιέχει φουλερένιο (C60) και σύγκριση
μεταξύ τους**

Ανυφαντή Αλεξάνδρα-Στεφανία

AM 1071002

Επιβλέπων καθηγητής: Παντελής Νικολακόπουλος

Πάτρα, 2024

Περιεχόμενα

ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ	9
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ.....	10
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ	12
ΧΡΗΣΕΙΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ	13
ΠΡΟΣΘΕΤΑ	13
ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ.....	14
ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΓΡΑ	15
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ	16
ΠΟΛΥΑΛΦΑΟΛΕΦΙΝΕΣ (ΡΑΟs).....	16
ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΑ	18
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ	20
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ	20
ΝΑΝΟΛΙΠΑΝΤΙΚΑ.....	22
ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....	24
ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΣΤΟ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ	26
ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ SAE 30.....	26
ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ SAE10W-40	27
ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΟΥΛΕΡΕΝΙΩΝ	28
ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΙΞΩΔΟΥΣ-ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	30
ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΙΞΩΔΟΥΣ-ΠΙΕΣΗΣ	32
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟΥ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ	33
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	34
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	35
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	36
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38

ABSTRACT

The primary purpose of lubrication is to reduce wear and heat between contacting surfaces in relative motion. While wear and heat cannot be eliminated, they can be reduced to negligible or acceptable levels. Because heat and wear are related to friction, both effects can be minimized by reducing the coefficient of friction between the contact surfaces. Lubrication is also used to reduce oxidation and prevent rust to provide insulation in transformer applications, to transmit mechanical power in hydraulic fluid power applications and to seal from dust, dirt, and water.

Much is said about lubricants and their categories, such as how they are produced, their uses and the research that is being carried out these days that can improve their performance. There is a comparison between mineral oils, synthetic oils, bio-lubricants, and nano-lubricants, referring advantages and disadvantages for each of them. Mineral oils are produced from crude oil using fractional distillation as a refining mechanism and are divided into paraffinic, naphthenic, and aromatic.

Fractional distillation is a process that divides the crude oil mixture into components or fractions by using heat to raise its temperature and gradually vaporize it. Synthetic oils are artificially manufactured by modifying petroleum products and exhibit advantageous properties compared to mineral oils such as increased wear protection, increased energy efficiency, reduced maintenance costs and improved lubrication capabilities at low or high temperatures.

Bio-lubricants are manufactured by vegetable oils and exhibit beneficial properties such as renewability, biodegradability and prove to be environmentally friendly. Finally, the addition of nanoparticles to the lubricants is effective in reducing wear and friction. The results show that the nanoparticles which present in nano-lubricants are deposited on the friction surfaces and improve the tribological properties, thus exhibiting good friction and reduced wear characteristics.

Finally, there is a reference to uncertainty and its major importance to every measurement done. Also, the difference between error and uncertainty is made clear because the two concepts are easily confused. Some results of research under laboratory conditions on the viscosity behavior of commercial oils with different performance levels such as (mineral SAE 30, synthetic SAE10W-40, and lubricant containing fullerene as additives) are presented in this paper. It is described that the action of pressure and temperature play a key role to oils behavior. Also, there are presented several viscosity models to measure dynamic viscosity of a lubricant given the temperature and the pressure. The viscosity is a high importance parameter to choose the best lubricant for every application.

Key words: Lubricants, viscometer, minerals, fullerene

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο πρωταρχικός σκοπός της λίπανσης είναι η μείωση της φθοράς και της θερμότητας μεταξύ των επιφανειών που έρχονται σε επαφή σε σχετική κίνηση. Ενώ η φθορά και η θερμότητα δεν μπορούν να εξαλειφθούν, μπορούν να μειωθούν σε αμελητέα ή αποδεκτά επίπεδα. Επειδή η θερμότητα και η φθορά σχετίζονται με την τριβή, και τα δύο αποτελέσματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τη μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ των επιφανειών επαφής. Η λίπανση χρησιμοποιείται επίσης για τη μείωση της οξείδωσης και την πρόληψη της σκουριάς για την παροχή μόνωσης σε εφαρμογές μετασχηματιστών, για τη μετάδοση μηχανικής ισχύος σε εφαρμογές ισχύος υδραυλικού υγρού και για τη σφράγιση από τη σκόνη, τη βρωμιά και το νερό.

Πολλά λέγονται για τα λιπαντικά και τις κατηγορίες τους, όπως ο τρόπος παραγωγής τους, οι χρήσεις τους και η έρευνα που διεξάγεται αυτές τις μέρες που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοσή τους. Γίνεται σύγκριση μεταξύ ορυκτελαίων, συνθετικών ελαίων, βιολιπαντικών και νανολιπαντικών, αναφέροντας πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για καθένα από αυτά. Τα ορυκτέλαια παράγονται από αργό πετρέλαιο χρησιμοποιώντας κλασματική απόσταξη ως μηχανισμό διύλισης και χωρίζονται σε παραφινικά, ναφθενικά και αρωματικά. Τα συνθετικά λάδια κατασκευάζονται τεχνητά με τροποποίηση προϊόντων πετρελαίου και παρουσιάζουν πλεονεκτικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα ορυκτέλαια, όπως αυξημένη προστασία από τη φθορά, αυξημένη ενεργειακή απόδοση, μειωμένο κόστος συντήρησης και βελτιωμένες δυνατότητες λίπανσης σε χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες.

Τα βιολιπαντικά παρασκευάζονται από φυτικά έλαια και παρουσιάζουν ευεργετικές ιδιότητες όπως βιοαποδομησιμότητα και αποδεικνύονται φιλικά προς το περιβάλλον. Τέλος, η προσθήκη νανοσωματιδίων στα λιπαντικά είναι αποτελεσματική στη μείωση της φθοράς και της τριβής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα νανοσωματίδια που υπάρχουν στα νανολιπαντικά εναποτίθενται στις επιφάνειες τριβής και βελτιώνουν τις τριβολογικές ιδιότητες, παρουσιάζοντας έτσι καλά χαρακτηριστικά τριβής και μειωμένης φθοράς.

Τέλος, γίνεται αναφορά στην αβεβαιότητα και τη μεγάλη σημασία της σε κάθε μέτρηση που γίνεται. Επίσης, η διαφορά μεταξύ σφάλματος και αβεβαιότητας καθίσταται σαφής επειδή οι δύο έννοιες συγχέονται εύκολα. Ορισμένα αποτελέσματα έρευνας σε εργαστηριακές συνθήκες σχετικά με τη συμπεριφορά ιξώδους εμπορικών ελαίων με διαφορετικά επίπεδα απόδοσης όπως (ορυκτό SAE 30, συνθετικό SAE10W-40 και λιπαντικό που περιέχει φουλερένιο) παρουσιάζονται σε αυτό το άρθρο. Περιγράφεται ότι η δράση της πίεσης και της θερμοκρασίας παίζουν βασικό ρόλο στη συμπεριφορά των λαδιών. Επίσης, παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα ιξώδους για τη μέτρηση του δυναμικού ιξώδους ενός λιπαντικού

δεδομένης της θερμοκρασίας και της πίεσης. Το ιξώδες είναι μια παράμετρος μεγάλης σημασίας για την επιλογή του καλύτερου λιπαντικού για κάθε εφαρμογή.

Λέξεις κλειδιά: Λιπαντικά, Ιξωδόμετρο, ορυκτέλαια, φουλερένιο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίπανση ορίζεται ως η διαδικασία με την οποία η φθορά του ενός ή και των δύο κινούμενων επιφανειών σε κοντινή απόσταση μειώνεται με τη χρήση μιας ουσίας που ονομάζεται λιπαντικό μεταξύ των επιφανειών. Το λιπαντικό μεταφέρει ή βοηθά στη μεταφορά της παραγόμενης πίεσης (ή του φορτίου) μεταξύ των απέναντι επιφανειών. Το λιπαντικό δρα ως μέσο κατά της τριβής, διευκολύνει την εξομάλυνση της λειτουργίας, διατηρεί τις αξιόπιστες λειτουργίες του μηχανήματος και μειώνει τον κίνδυνο συχνής βλάβης. Ένα λιπαντικό μπορεί να είναι ένα υγρό, ένα ημιστερεό (γράσο) ή ένα στερεό (συμπεριλαμβανομένων επικαλύψεων και σωματιδίων). [1]

Ενώ είναι δύσκολο να εξαλειφθεί η φθορά και η θερμότητα εντελώς, με τη χρήση λιπαντικών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν και να ελεγχθούν σε αποδεκτά επίπεδα. Έχουν επισημανθεί τρεις κύριες λειτουργίες των λιπαντικών ως εξής:

(α) έλεγχος τριβής: Αυτός είναι ο πρωταρχικός ρόλος των λιπαντικών δηλαδή η μείωση της τριβής και πρόληψη. Καλά ελεγχόμενη, υψηλή τριβή απαιτείται για συμπλέκτες, σπασίματα κ.λπ. Βελτιστοποιημένες επιδόσεις με ελαχιστοποιημένες παρενέργειες θα μπορούσαν να επιτευχθούν με την κατάλληλη επιλογή λιπαντικών για συγκεκριμένα στοιχεία μηχανής. Καθώς τα σύγχρονα μηχανήματα απαιτούνται να λειτουργούν με πιο ενεργειακά αποδοτικό τρόπο, οι ρόλοι των λιπαντικών αυξάνονται.

(β) καθαρισμός επαφής: Μπορεί να εμφανιστούν σωματίδια λόγω φθοράς, εξωτερικές σκόνες ή εναποθέσεις από παλιά λιπαντικά κατά τη λειτουργία του μηχανήματος. Αυτοί οι ρύποι επηρεάζουν αρνητικά τις επιδόσεις λίπανσης. Η κυκλοφορία ενός λιπαντικού μπορεί να ξεπλύνει αυτές τις ενοχλήσεις. Τα προηγμένα λιπαντικά περιέχουν ορισμένες ουσίες που βοηθούν τη διαδικασία καθαρισμού.

(γ) ψύξη της επαφής: Η θερμότητα που παράγεται λόγω τριβής μπορεί να έχει πολλές αρνητικές επιρροές σε επιφανειακά υλικά, όπως μετασχηματισμούς μικροδομής ή θερμική αστοχία. Η γήρανση του λιπαντικού επιταχύνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η συσσώρευση θερμότητας θα μπορούσε να αποτραπεί με κυκλοφορία ενός υγρού λιπαντικού. Η θερμοχωρητικότητα ενός λιπαντικού είναι ο παράγοντας ελέγχου για τη λειτουργία του. Αυτή η λειτουργία υποστηρίζεται κυρίως από τις ιδιότητες των βασικών ρευστών. [2]

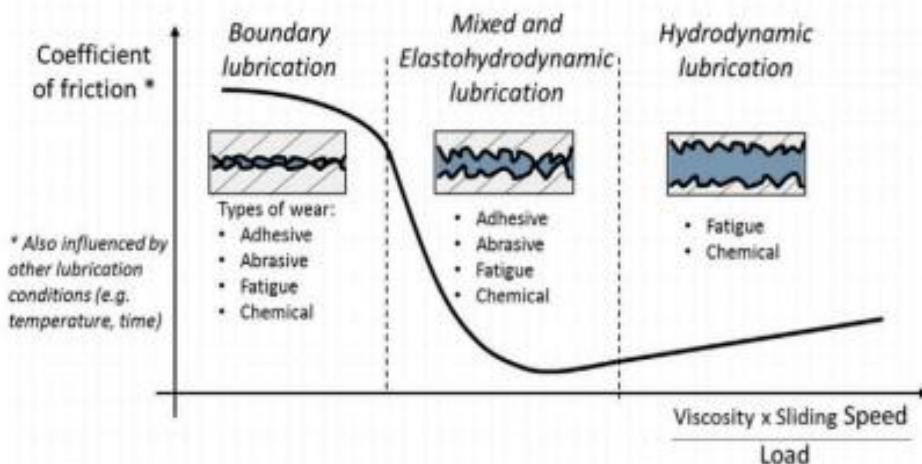
Η λίπανση είναι απαραίτητη για να ξεπεραστεί και να μειωθεί η τριβή μεταξύ δύο αλληλοεπιδρώντων στοιχείων. Σύμφωνα με την καμπύλη Stribeck, υπάρχουν τρία γνωστά καθεστώτα λίπανσης. Το πρώτο καθεστώς είναι η οριακή λίπανση (BL), το δεύτερο καθεστώς είναι μικτή και η ελαστοϋδροδυναμική λίπανση (EHL), και το τρίτο καθεστώς είναι η υδροδυναμική λίπανση (HL), όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.

Η οριακή συμβαίνει όταν η επαναλαμβανόμενη φόρτιση/υψηλό φορτίο ή η χαμηλή ταχύτητα ολίσθησης παράγει θερμότητα και προκαλεί υψηλή φθορά και απώλειες ενέργειας λόγω του ασταθούς και λεπτού τριβο-φιλμ που σχηματίζεται στις επιφάνειες τριβής. Έτσι, τα λιπαντικά πρόσθετα είναι σημαντικά για την προστασία των επιφανειών τριβής σε αυτή την περίπτωση. Η φόρτιση κραδασμών είναι επίσης ένας παράγοντας που προκύπτει στην οριακή λίπανση.

Με περαιτέρω μείωση του φορτίου ή αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης, τα συστήματα λίπανσης θα μεταβούν σε ένα μικτό καθεστώς (ελαστοϋδροδυναμική) και στη συνέχεια σε ένα υδροδυναμικό καθεστώς. Μέσα από αυτή τη μετάβαση, η τριβή και η φθορά θα μειωθεί λόγω της υδροδυναμικής ανύψωσης αφού ένα παχύτερο τριβο-φιλμ θα διαχωρίσει τις επιφάνειες επαφής.

Στην υδροδυναμική λίπανση, δεν παρουσιάζεται σημαντική μηχανική φθορά εκτός από κόπωση λόγω τους πλήρους λίπανσης των επαφών και η τριβή που κυριαρχείται από ιξώδεις δυνάμεις έλξης. Η ελαστοϋδροδυναμική λίπανση είναι παρόμοια με την υδροδυναμική, αλλά αυτή η λίπανση εμπλέκεται στην κίνηση κύλισης.

Η μικτή λίπανση είναι συνδυασμός οριακής και υδροδυναμικής λίπανσης. Όταν βρισκόμαστε υπό καθεστώς μικτής/ελαστοϋδροδυναμικής, το τριβο-φιλμ έχει περίπου 1-3 φορές μεγαλύτερο πάχος φιλμ από την τραχύτητα τους επιφάνειας. Υπό το υδροδυναμικό καθεστώς, το τριβο-φιλμ έχει τρεις φορές μεγαλύτερο πάχος φιλμ από την τραχύτητα τους επιφάνειας. Εξάλλου, το τριβο-φιλμ στην ελαστοϋδροδυναμική λίπανση είναι πολύ πιο λεπτό και η πίεση που ασκείται είναι μεγαλύτερη από την υδροδυναμική λίπανση. Συνήθως, ο συντελεστής τριβής (COF) της οριακής είναι μεγαλύτερη από 0,1, ενώ για μικτή/ελαστοϋδροδυναμική λίπανση έχει εύρος 0,01–0,10 και για υδροδυναμική έχει COF μικρότερο από 0,01. **[3]**



Εικόνα 1 Καμπύλη Stribeck

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥΣ

Τα λιπαντικά μπορεί να εμφανίζονται ως υγρά, ως ημιστερεά (γράσα) ή ως στερεά (συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων και επικαλύψεων). Επειδή οι λειτουργίες καθαρισμού και ψύξης χρειάζονται ρευστότητα, τα γράσα και τα στερεά λιπαντικά θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε στοιχεία μηχανής όπου η θερμότητα και η μόλυνση δεν είναι σοβαροί παράγοντες. Επειδή από τις τρεις λειτουργίες και το πλεονέκτημα του χειρισμού, τα υγρά λιπαντικά είναι πιο πανταχού παρόντα σε πολλές πρακτικές εφαρμογές. Ως εκ τούτου, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται διάφορα πρόσθετα.

■ ΥΓΡΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

Όλα τα υγρά παρέχουν κάποιου είδους λίπανση, αλλά μερικά το κάνουν πολύ καλύτερα από άλλα. Η διαφορά μεταξύ ενός λιπαντικού και ενός άλλου είναι συχνά η διαφορά μεταξύ επιτυχούς λειτουργίας μιας μηχανής και αστοχίας. Σχεδόν για κάθε περίπτωση, τα προϊόντα πετρελαίου έχουν βρεθεί να υπερέχουν ως λιπαντικά. Τα λιπαντικά πετρελαίου έχουν υψηλή ικανότητα διαβροχής μετάλλων, πολλές πρόσθετες ιδιότητες που είναι απαραίτητες για τη σύγχρονη λίπανση, όπως καλή αντοχή στο νερό, εγγενή χαρακτηριστικά προστασίας από τη σκουριά, φυσική πρόσφυση, σχετικά καλή θερμική σταθερότητα και δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας τριβής από τα μέρη που έρχονται σε επαφή μαζί τους. Επιπλέον, σχεδόν όλες αυτές οι ιδιότητες μπορούν να τροποποιηθούν κατά την κατασκευή για να παραχθεί ένα κατάλληλο λιπαντικό για κάθε μία από μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.

▪ ΗΜΙΣΤΕΡΕΑ

Τα ημιστερεά λιπαντικά ή αλλιώς γράσα χρησιμοποιούνται όταν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν υγρά λιπαντικά, για παράδειγμα όταν ένα υγρό λιπαντικό δεν θα παραμείνει στην επαφή ή για σκοπούς προστασίας της επαφής από μόλυνση από συντρίμμια ή νερό ή από ένα διαβρωτικό περιβάλλον. Τα γράσα είναι ημι-υγρά που αποτελούνται από ρευστό βάσης με πυκνωτικό 5–30%. Ο βασικός τύπος ρευστού μπορεί να ποικίλλει (δηλαδή ορυκτό, συνθετικό ή φυτικό λάδι). Η χρήση ενός συνθετικού ρευστού βάσης θα βελτιώσει τις ιδιότητες χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας του γράσου. Το πυκνωτικό μπορεί να είναι σαπούνι, πολυμερές ή πηλός. Το ρευστό βάσης λιπαίνει την επαφή, ενώ το παχυντικό επιτρέπει στο γράσο να παραμείνει στην επαφή και να προστατεύει από τη μόλυνση. Τα γράσα περιγράφονται από τη συνοχή τους, το σημείο πτώσης και το ιξώδες του ρευστού βάσης. Η συνοχή μετريέται σε αριθμούς συνέπεια αφήνοντας έναν κώνο να βυθιστεί στο γράσο μετρώντας το βάθος διείσδυσης. Τα γράσα έχουν αριθμό συνοχής 2. Το σημείο πτώσης είναι η θερμοκρασία στην οποία το γράσο αλλάζει φάση από ημιστερεό σε υγρό. Διαφορετικά γράσα θα λιώσουν σε διαφορετικές θερμοκρασίες ανάλογα με το πυκνωτικό και την αλληλεπίδραση του ρευστού βάσης και του πυκνωτικού.

▪ ΣΤΕΡΕΑ

Η λίπανση μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω στερεών λιπαντικών. Στερεά λιπαντικά χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν προβλήματα με τη διατήρηση ενός ρευστού λιπαντικού στην επαφή, το εξάρτημα ή το σύστημα, για παράδειγμα όταν η πίεση ή η θερμοκρασία επαφής γίνεται πολύ υψηλή για ένα ρευστό λιπαντικό ώστε να λειτουργήσει σωστά. Διαφορετικοί τύποι στερεών λιπαντικών είναι ο γραφίτης, το δισουλφίδιο του βολφραμίου και το PTFE (πολυτετραφθοροαιθυλένιο). Μπορούν να εφαρμοστούν ως επικαλύψεις ή ως στερεά πρόσθετα σε μορφή σκόνης που μεταφέρονται σε γράσα. Επιστρώσεις χαμηλής τριβής χρησιμοποιούνται επίσης σε συνδυασμό με ρευστό λιπαντικό, κυρίως για προστασία των επιφανειών στο καθεστώς οριακής λίπανσης. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος χαμηλής τριβής είναι η επίστρωση άνθρακα τύπου διαμαντιού DLC. Επιστρώσεις μαλακών υλικών, όπως επικαλύψεις Babbitt με βάση μόλυβδο ή κασσίτερο, χρησιμοποιούνται επίσης για να ασφαλιστεί η λειτουργία στην οριακή λίπανση. Η διαδικασία κατασκευής και το κόστος πρέπει να είναι λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του τύπου επίστρωσης.

Τα λιπαντικά είναι ουσίες που συντίθενται από βασικά έλαια που κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση. Αυτές οι κατηγορίες είναι: (α) ορυκτέλαια, (β) συνθετικά έλαια, (γ) βιολιπαντικά και τα τελευταία χρόνια (δ) νανολιπαντικά. Τα ορυκτέλαια παράγονται από αργό πετρέλαιο με χρήση κλάσματος απόσταξη ως μηχανισμός εξευγενισμού και διακρίνονται σε παραφινικές, ναφθενικές και αρωματικές.

ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ

Τα ακατέργαστα πετρέλαια είναι φυσικά, εξαιρετικά πολύπλοκα μείγματα που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες, και περιέχουν θείο, άζωτο, οξυγόνο και μέταλλα ελάχιστα συστατικά στοιχεία. Η βιομηχανία του πετρελαίου, η οποία κατέχει κορυφαία θέση στη σύγχρονη παγκόσμια οικονομία, έχει, κατά κύριο λόγο, επίκεντρο το αργό πετρέλαιο. Η οικονομική σημασία του αργού πετρελαίου βρίσκεται στα πολυάριθμα πιθανά προϊόντα μέσω διύλισης – οι χρήσεις αυτών των προϊόντων στον σύγχρονο βιομηχανοποιημένο κόσμο δικαιολογούν τους πόρους που δεσμεύονται για την εξερεύνηση και την παραγωγή του. Καύσιμα κινητήρα, οικιακά καύσιμα, βιομηχανικά καύσιμα για θέρμανση και παραγωγή ρεύματος καθώς και λιπαντικά είναι μεταξύ των προϊόντων που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο.

Οποιαδήποτε περιγραφή των λιπαντικών ελαίων θα ήταν ελλιπής χωρίς να ληφθούν υπόψη τα λιπαντικά για κινητήρες οχημάτων. Αυτά τα λάδια χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη ποσότητα από όλα τα άλλα λιπαντικά μαζί και ενδιαφέρουν περισσότερους ανθρώπους από οποιοδήποτε άλλο λιπαντικό. Τα λιπαντικά κινητήρα γενικά συνιστώνται από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων σύμφωνα με την ταξινόμηση ιξώδους του Society American of Automotive Engineers (SAE). [4]

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το αργό πετρέλαιο είναι η βάση για τη διύλιση ή τη σύνθεση ορυκτών βασικών ελαίων με περιεκτικότητα κυρίως σε παραφινικές και ναφθενικές δομές. Το αργό πετρέλαιο πρέπει να υποβάλλεται σε επεξεργασία για την ανάκτηση βασικών ελαίων κατάλληλων για παραγωγή λιπαντικών. Η διαδικασία διύλισης διαχωρίζει το αργό πετρέλαιο σε συστατικά μόρια. Ως τελικό στάδιο το βασικό έλαιο αντιδρά με υδρογόνο. Η διύλιση είναι μια ισορροπία μεταξύ της αφαίρεσης των ανεπιθύμητων, διατηρώντας παράλληλα τα επιθυμητά. Επιθυμητά μπορεί να είναι θειούχες ενώσεις, οι οποίες είναι φυσικά αντιοξειδωτικά. Ο σκοπός της διαδικασίας διύλισης είναι η απόκτηση βασικών ελαίων με ομοιόμορφη και καθορισμένη ποιότητα που είναι χρήσιμα για την παραγωγή λιπαντικού. Η

διαδικασία εξευγενισμού ξεκινά με απόσταξη σε ατμοσφαιρική πίεση. Το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται και θα υπάρχει μια διαβάθμιση θερμοκρασίας σε όλο τον πύργο απόσταξης, όπου η κορυφή του πύργου θα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και το κάτω μέρος του πύργου θα έχει υψηλότερη θερμοκρασία. Τα μόρια του αργού πετρελαίου διαχωρίζονται ανάλογα με τη διαφορά πτητικότητας τους. Τα πιο πτητικά μόρια, δηλαδή τα μόρια χαμηλού βάρους, θα εξατμιστούν και θα μετακινηθούν στη κορυφή και τα λιγότερο πτητικά μόρια, δηλαδή τα μόρια μεγάλου βάρους, θα παραμείνουν στην υγρή φάση και θα μετακινηθεί προς τα κάτω. Τα μόρια χαμηλού βάρους (δηλαδή ελαφρά κλάσματα) θα αφαιρούνται συνεχώς από την κορυφή του πύργου. Πρόκειται για αέρια, βενζίνη, νάφθα, κηροζίνη και ελαφρύ πετρέλαιο εσωτερικής καύσης.

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα πολύπλοκο μείγμα υδρογονανθράκων. Ενώ τα ακατέργαστα από διαφορετικές πηγές ποικίλλουν ως προς τη χημική τους σύνθεση, όλα έχουν τα ίδια βασικά συστατικά. Τα ελαφρά αέρια υδρογονάνθρακες, η βενζίνη, το καύσιμο ντίζελ και τα κλάσματα μαζούτ αποστώνονται από το αργό, αφήνοντας υπόλειμμα, από το οποίο προέρχονται τα αποθέματα ορυκτών λιπαντικών. Μια ποικιλία εξελιγμένων τεχνικών διύλισης χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση ή τον ευεργετικό μετασχηματισμό ανεπιθύμητων συστατικών όπως οι ενώσεις θείου και αζώτου. Αυτό που απομένει είναι ένα βασικό απόθεμα λιπαντικού λαδιού που, παρά τον βαθμό χημικού εξευγενισμού, εξακολουθεί να περιέχει ένα πολύπλοκο μείγμα οργανικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων ενώσεων οξυγόνου, θείου και αζώτου, καθώς και μια ποικιλία κυκλικών υδρογονανθράκων, καθώς και μικρού μεγέθους ποσότητες ανόργανων ουσιών. Από τις χιλιάδες μοριακές δομές που υπάρχουν στο αργό πετρέλαιο, πολλές ή οι περισσότερες από αυτές αφαιρούνται με διύλιση. Ωστόσο, πολλές άλλες διαφορετικές δομές θα παραμείνουν σε αποθέματα ορυκτελαίων λιπαντικών, είτε κατασκευάζονται με τεχνικές επεξεργασίας με διαλύτες είτε με υδρογόνο. [5]

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Μια ιδέα της πολυπλοκότητας του προβλήματος της διύλισης μπορεί να ληφθεί από την εξέταση των παραλλαγών που μπορούν να υπάρχουν σε ένα μόνο μόριο υδρογονάνθρακα με συγκεκριμένο αριθμό ατόμων άνθρακα. Για παράδειγμα, το παραφινικό μόριο που περιέχει 25 άτομα άνθρακα έχει 52 άτομα υδρογόνου. Αυτή η ένωση μπορεί να έχει περίπου 37.000.000 διαφορετικές μοριακές διατάξεις. Οι υδρογονάνθρακες του αργού πετρελαίου αποτελούνται από:

- **Παραφινικά συστατικά**

Τα παραφινικά συστατικά, τα οποία καθορίζουν το σημείο ροής, περιέχουν όχι μόνο γραμμικές αλλά και διακλαδισμένες παραφίνες. Οι παραφίνες ευθείας αλυσίδας υψηλού μοριακού βάρους αυξάνουν το σημείο ροής των ελαίων (κηρώδεις ενώσεις) και πρέπει να αφαιρούνται με διαδικασίες αποκήρωσης. [6]

Οι διακλαδισμένες παραφίνες είναι χημικά ενδιαφέροντες υδρογονάνθρακες και βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες σε κλάσματα λιπαντικών ελαίων από παραφινικά ακατέργαστα. Το έλαιο πλούσιο σε παραφινικούς υδρογονάνθρακες έχει σχετικά χαμηλή πυκνότητα και ιξώδες για το μοριακό τους βάρος και το εύρος βρασμού. Επίσης, έχουν καλά χαρακτηριστικά ιξώδους/θερμοκρασίας. Γενικά, τα παραφινικά συστατικά είναι αρκετά ανθεκτικά στην οξείδωση και έχουν ιδιαίτερα καλή απόκριση στους αναστολείς οξείδωσης.

- **Ναφθενικά συστατικά**

Έχουν μάλλον μεγαλύτερη πυκνότητα και ιξώδες για το μοριακό τους βάρος σε σύγκριση με τα παραφινικά συστατικά. Ένα πλεονέκτημα που έχουν τα ναφθενικά συστατικά έναντι των παραφινικών είναι ότι τείνουν να έχουν χαμηλό σημείο ροής και έτσι δεν συμβάλλουν στο κερί. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα είναι ότι έχουν κατώτερα χαρακτηριστικά ιξώδους/θερμοκρασίας. Ωστόσο, τα αλεικυκλικά ενός δακτυλίου με μακριές παραφινικές πλευρικές αλυσίδες μοιράζονται πολλές ιδιότητες με τις διακλαδισμένες παραφίνες και μπορούν στην πραγματικότητα να είναι ιδιαίτερα επιθυμητά συστατικά για λιπαντικά βασικά έλαια. Τα ναφθενικά συστατικά τείνουν να έχουν καλύτερη ισχύ φερεγγυότητας για πρόσθετα από τα παραφινικά συστατικά, αλλά η σταθερότητά τους στις οξειδωτικές διεργασίες είναι κατώτερη.

- **Αρωματικά συστατικά**

Έχουν πυκνότητες και ιξώδη που εξακολουθούν να είναι υψηλότερα. Τα χαρακτηριστικά ιξώδους/θερμοκρασίας είναι γενικά φτωχά, αλλά το σημείο ροής είναι χαμηλό, αν και έχουν την καλύτερη ισχύ φερεγγυότητας για πρόσθετα, η σταθερότητά τους στην οξείδωση είναι κακή. Όσον αφορά τα αλεικυκλικά, τα αρωματικά ενός δακτυλίου με μακριά παραφινική πλευρική αλυσίδα μπορεί να είναι πολύ επιθυμητά συστατικά βασικού ελαίου. Η ταξινόμηση των υδρογονανθράκων ως παραφινικών, ναφθενικών και αρωματικών ομάδων που χρησιμοποιούνται γενικά για τον χαρακτηρισμό του βασικού ελαίου δεν πρέπει να λαμβάνεται ως απόλυτη αλλά ως έκφραση των κυρίαρχων χημικών τάσεων των βασικών αποθεμάτων.

▪ Συστατικά χωρίς υδρογονάνθρακες

Τα συστατικά χωρίς υδρογονάνθρακες στο λιπαντικό λάδι είναι ανάλογα από πολλές απόψεις με τους υδρογονάνθρακες. Οι ενώσεις θείου και αζώτου βρίσκονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου σε δομές δακτυλίου όπως σουλφίδια, θειοφαίνιο, πυριδίνη και πυρρόλη. Πιο πολύπλοκα μόρια πιστεύεται επίσης ότι υπάρχουν στο λιπαντικό λάδι στο οποίο βρίσκονται άτομα αζώτου και θείου στο ίδιο μόριο. Όπως και στην περίπτωση των υδρογονανθράκων, αυτές οι ενώσεις πιθανότατα θα έχουν επίσης παραφινικές πλευρικές αλυσίδες και πιθανώς να συμπυκνώνονται με ναφθενικές και αρωματικές δομές δακτυλίου.

Αν και αυτοί οι μη υδρογονάνθρακες μπορεί να υπάρχουν μόνο σε ίχνη, συχνά παίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των ιδιοτήτων των λιπαντικών ελαίων. Γενικά είναι χημικά πιο δραστικά από τον υδρογονάνθρακα και ως εκ τούτου μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά ιδιότητες όπως η σταθερότητα στην οξείδωση, η θερμική σταθερότητα και οι τάσεις σχηματισμού εναποθέσεων. Κατά τη διύλιση, η γενική τάση είναι να μειωθεί η περιεκτικότητα σε μη υδρογονάνθρακες στο ελάχιστο. [6]

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Ο όρος "ορυκτέλαια" τείνει να είναι μη ειδικός, και η χρήση του στη βιβλιογραφία θα μπορούσε να προκαλέσει κάποια σύγχυση καθώς αναφέρεται σε διάφορες ουσίες. Ωστόσο, σε αυτό το πλαίσιο, θεωρείται ότι αναφέρεται σε όλα τα λάδια τα οποία παρασκευάζονται από ακατέργαστα έλαια με βάση την παραφίνη τα οποία αναμειγνύονται με πρόσθετα για να προσδώσουν ιδιότητες για συγκεκριμένες χρήσεις. Ως εκ τούτου, η προέλευσή τους είναι το πετρέλαιο – είναι παρασκευασμένο από βασικά αποθέματα πετρελαίου με περίπου 10-25% πρόσθετα. Αυτά τα πρόσθετα αποτελούνται από αντιοξειδωτικά και απενεργοποιητές μετάλλων, απορρυπαντικά, αναστολείς διάβρωσης, αναστολείς σκουριάς, και άλλων.

Η κατανομή του αριθμού άνθρακα και κατά επέκταση του ιξώδους σε υδραυλικά υγρά ορυκτελαίων ποικίλλει ανάλογα με την αναμενόμενη εφαρμογή του υγρού. Επίσης, όσο υψηλότερος είναι ο άνθρακας τόσο υψηλότερο είναι το ιξώδες του εν λόγω ρευστού. Τα ορυκτέλαια αποτελούνται από ίσιους και διακλαδισμένους αλυσιδωτούς παραφινικούς, ναφθενικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες με 15 ή περισσότερους άνθρακες σε ένα σύνθετο μείγμα. Γενικά, οι φυσικές ιδιότητες των ορυκτελαίων εξαρτώνται από τη σύνθεση τους ως προς την κατανομή του αριθμού άνθρακα, και αυτό ορίζεται από την πηγή του αργού πετρελαίου.

Αυτές οι φυσικές ιδιότητες ποικίλλουν ευρέως: τα σημεία βρασμού κυμαίνονται γενικά από 300 έως 600°C, ενώ τα ειδικά βάρη κυμαίνονται από 0,820 για ελαφριά παραφινικά έλαια βάσης/επεξεργασμένα έως λίγο πάνω από 1,0 για έλαια βάσης/επεξεργασμένα υψηλής αρωματικότητας. Είναι όλα γενικά αδιάλυτα στο νερό και το αλκοόλ, αλλά είναι διαλυτά σε βενζόλιο, χλωροφόρμιο, αιθέρα, δισουλφίδιο άνθρακα, και πετρελαϊκό αιθέρα. Στα περισσότερα διυλιστήρια αργού πετρελαίου, βασικά αποθέματα λιπαντικών λαμβάνονται από το κλάσμα πετρελαίου βαρέως κενού και ανηγμένο αργό από παραφινικά ή ναφθενικά έλαια. [7]

ΧΡΗΣΕΙΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Τα πρώτα κέντρα παραγωγής ορυκτελαίων μεγάλης κλίμακας βρίσκονταν στην Πενσυλβάνια και στο Μπακού. Γενικά, εκεί έγινε μια έκρηξη προϊόντων με βάση το ορυκτέλαιο παγκοσμίως τον τελευταίο αιώνα λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων της εκβιομηχάνισης. Πολυάριθμα χρήσιμα προϊόντα μπορούν να ληφθούν από ορυκτέλαια βάσης για πολλές εφαρμογές, και αυτές περιγράφονται παρακάτω. Οι χρήσεις των ορυκτελαίων περιλαμβάνουν εφαρμογές όπως λιπαντικά κινητήρα, λιπαντικά αυτοκινήτων και βιομηχανικών ταχυτήτων, υγρά μετάδοσης κίνησης, υδραυλικά υγρά, υδραυλικά λάδια, λάδια ρουλεμάν και λάδια μηχανών. Άλλες χρήσεις είναι λάδια εργαλειομηχανών, λάδια συμπιεστών και ψυγείων, λάδια εργαλείων αέρα, λάδια ατμομηχανών, λάδια επεξεργασίας μετάλλων, λάδια προστασίας σκουριάς, λάδια μετασχηματιστών και ούτω καθεξής. Η λίστα είναι σχεδόν ατελείωτη, υποδεικνύοντας ότι τον τελευταίο αιώνα, είναι σωστό να πούμε ότι το ορυκτέλαιο έχει εκμεταλλευθεί στο έπακρο από την πρώιμη ανακάλυψή του. Μια άλλη χρήση των ορυκτελαίων είναι σε ιατρικές εφαρμογές, όπως έλαια που είναι γνωστά ως φαρμακευτικά λευκά έλαια, τα οποία είναι ουσιαστικά μείγματα εξαιρετικά εξευγενισμένων παραφινικών και ναφθενικών υγρών υδρογονανθράκων που λαμβάνονται από ορυκτά αργά έλαια μέσω διαφόρων σταδίων διύλισης, συμπεριλαμβανομένης της απόσταξης, της εκχύλισης και της κρυστάλλωσης, με επακόλουθο καθαρισμό με όξινη και καταλυτική υδροεπεξεργασία. Αυτά έχουν ιατρικές εφαρμογές – σε καθαρικά, σε προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την περιποίηση δέρματος, ως παράγοντας εναιώρησης και καθίζησης σε αλοιφές με βάση το θείο και σε εμβόλια ζώων. [7]

ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Εκτός από τα βασικά αποθέματα πετρελαίου, τα ορυκτέλαια στις εμπορικές τους εφαρμογές περιέχουν περίπου το 10 – 25% των ουσιών που είναι γνωστές ως

πρόσθετα. Αυτά τα πρόσθετα είναι απαραίτητα για τη μεταβίβαση ιδιοτήτων που εξετάζονται κατάλληλες για συγκεκριμένες εφαρμογές. Αυτά τα πρόσθετα, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό μέρος της σύνθεσης των ορυκτελαίων και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:

- πρόσθετα ακραίας πίεσης που βοηθούν στην αποφυγή ζημιών στην επιφάνεια υπό σοβαρή φόρτιση (οργανικές ενώσεις που περιέχουν θείο, φώσφορο και χλώριο)
- πρόσθετα κατά της φθοράς, τα οποία εμποδίζουν τη φθορά υπό ελαφρά φορτία (λιπαρά οξέα και παράγωγα, οργανοφωσφορικοί εστέρες)
- αναστολείς διάβρωσης που αποτρέπουν τη διάβρωση από οξυγόνο και νερό (λιπαρά οξέα και άλατα λιπαρών οξέων)
- αναστολείς οξείδωσης οι οποίοι αναστέλλουν την οξείδωση του υδραυλικού υγρού (φαινόλες, αμίνες και σουλφίδια)
- αντιαφριστικά που εμποδίζουν το σχηματισμό αφρού (έλαια σιλικόνης)
- βελτιωτικά δείκτη ιξώδους, τα οποία μειώνουν την εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία (πολυαλφαολεφίνες, πολυμεθακρυλικά και πολυαλκυλστυρένια)
- κατασταλτικά σημείου ροής, τα οποία μειώνουν το σημείο ροής της θερμοκρασίας (πολυμεθακρυλικά)
- απογαλακτωματοποιητές, που επιτρέπουν το διαχωρισμό του ελαίου και νερού (ιονογόνες και μη ιοντικές πολικές ενώσεις)
- διασκορπιστικά, τα οποία αποτρέπουν τις ανεπιθύμητες εναποθέσεις (σουλφονικά και αμίδια)

ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

Τα συνθετικά προϊόντα παράγονται συνήθως με αντιδράσεις χημικής σύνθεσης πολύ καθαρών, μικρών μορίων για την παραγωγή εξίσου καθαρών συνθετικών βασικών ελαίων. Συχνά, η σύνθεση της αντίδρασης μέχρι το επιθυμητό τελικό προϊόν περιλαμβάνει διάφορα στάδια, καθένα από τα οποία απαιτεί έναν καθαρισμό των ενδιάμεσων προϊόντων. Αυτή η προκύπτουσα ελευθερία από ανεπιθύμητες ενώσεις είναι που δίνει στα συνθετικά λιπαντικά τα διακριτικά τους χαρακτηριστικά. Συμβάλλει επίσης στο υψηλότερο κόστος τους, σε σύγκριση με τα ορυκτέλαια. Το καθαρό κόστος ενός συνθετικού προϊόντος είναι το άθροισμα του κόστους των πρώτων υλών και του κόστους των επιμέρους σταδίων της διαδικασίας. Τα στάδια σύνθεσης των κύριων τύπων συνθετικών βασικών ελαίων περιγράφονται παρακάτω.

ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΓΡΑ

Περίπου το 80% της παγκόσμιας αγοράς συνθετικών λιπαντικών αποτελείται από τρεις γενικές ομάδες: ΡΑΟ (45%), οργανικούς εστέρες (25%) και πολυγλυκόλες (10%). Από τα υπόλοιπα συνθετικά λιπαντικά, οι φωσφορικοί εστέρες και τα πολυβουτένια είναι πιθανώς τα μεγαλύτερα σε όγκο πωλήσεων (και τα δύο περίπου 5%) και τα αλκυλιωμένα βενζόλια που αντιπροσωπεύουν περίπου λιγότερο από το 5%. Τα συνθετικά λιπαντικά αναπτύχθηκαν αρχικά για ειδικές εφαρμογές όπου τα προϊόντα πετρελαίου είναι ανεπαρκή (π.χ. σε εξαιρετικά υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες, υπό ακραίες συνθήκες φθοράς) ή όπου το λιπαντικό πρέπει να έχει ειδικά χαρακτηριστικά, όπως μεγάλη διάρκεια ζωής, καλή απόδοση εξοπλισμού ή να είναι μη εύφλεκτο. Η χρήση συνθετικών λιπαντικών συνιστάται όταν μπορούν να είναι οικονομικά αποδοτικά από την άποψη της αξιοπιστίας του μηχανήματος, της διάρκειας ζωής του λαδιού, της κατανάλωσης ενέργειας, της βιοδιασπαιμότητας και της ασφάλειας, παρά τη σχετικά υψηλή τιμή τους. Με τα σχέδια βιομηχανικού εξοπλισμού να συνεχίζουν την τάση για αύξηση των απαιτήσεων των συνθηκών υπηρεσίας για εξαιρετική λίπανση, τα συνθετικά λιπαντικά θεωρούνται πλέον από τους κατασκευαστές εξοπλισμού και τους τελικούς χρήστες ως κανόνας σε πολλές εφαρμογές, και όχι απλώς ως εξειδικευμένα προϊόντα. Τα χαρακτηριστικά των συνθετικών λιπαντικών προέρχονται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των βασικών ρευστών και από την επίδραση των προσθέτων που χρησιμοποιούνται. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των βασικών ρευστών αποτελούν η συμπεριφορά ιξώδους-θερμοκρασίας, η ρευστότητα χαμηλής θερμοκρασίας, η πτητικότητα, η πρόσφυση, η συμβατότητα με χρώματα και στεγανωτικά, η αναμειξιμότητα με πετρέλαιο, η υδρολυτική σταθερότητα και η ικανότητα διάλυσης χημικών προσθέτων.

Ένα συνθετικό μείγμα είναι ένας συνδυασμός συμβατικού λαδιού κινητήρα και συνθετικών βασικών αποθεμάτων. Η προσθήκη του συνθετικού στο συμβατικό ορυκτέλαιο δίνει μεγαλύτερη προστασία από τη χρήση του συμβατικού λιπαντικού από μόνο του. Υπάρχουν πολλοί τύποι συνθετικών με σαφώς διαφορετικές ιδιότητες και εφαρμογές. Ωστόσο, τα περισσότερα συνθετικά που χρησιμοποιούνται στο σέρβις αυτοκινήτων είναι πολυαλφαολεφίνες(ΡΑΟs). Για απλότητα, η κύρια αναφορά στα συνθετικά λάδια θα αφορά τα ΡΑΟs. Τα συνθετικά λιπαντικά χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε υδραυλικούς κινητήρες και ηλεκτρομηχανικές κινήσεις. Στο USACE, τα συνθετικά λιπαντικά κιβωτίων ταχυτήτων χρησιμοποιούνται ευρέως στις ηλεκτρομηχανικές κινήσεις. Τα συνθετικά έλαια είναι τεχνητά υγρά με επιστημονικά σχεδιασμένα μόρια. Τα μόρια έχουν σταθερή δομή κάτι που κάνει τις ιδιότητες του υγρού πολύ αναμενόμενες. Ένα παράδειγμα είναι η μεγαλύτερη υδρολυτική σταθερότητα (ικανότητα αντίστασης σε χημική αποσύνθεση ή υδρόλυση παρουσία νερού). Τα συνθετικά λάδια είναι γενικά ανώτερα από τα λιπαντικά ορυκτελαίων στις περισσότερες περιπτώσεις. Στις

Ηνωμένες Πολιτείες, υπάρχουν δύο (από το American Petroleum Institute) κατηγορίες βασικών ελαίων που περιλαμβάνουν συνθετικά. Το πρώτο είναι το API ομάδα IV. Το μόνο συνθετικό του βασικού ελαίου που περιλαμβάνεται σε αυτή την ομάδα είναι η πολυαλφαολεφίνη (PAO). Η δεύτερη κατηγορία είναι το API ομάδα V. Πρόκειται για συνθετικές βάσεις χωρίς PAO. Παραδείγματα είναι οι διεστέρες, οι πολυολεστέρες, τα αλκυλιωμένα βενζόλια και οι φωσφορικοί εστέρες. Μερικά λιπαντικά API ομάδα III επίσης διατίθενται στο εμπόριο ως συνθετικά. Πρόκειται για ακατέργαστα πετρέλαια υψηλής επεξεργασίας που βρίσκονται πολύ κοντά σε ιδιότητες στην Ομάδα IV PAO. [9]

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ

Τα συνθετικά έλαια γενικά αποδίδουν καλύτερα από τα ορυκτέλαια στα ακόλουθα σημεία:

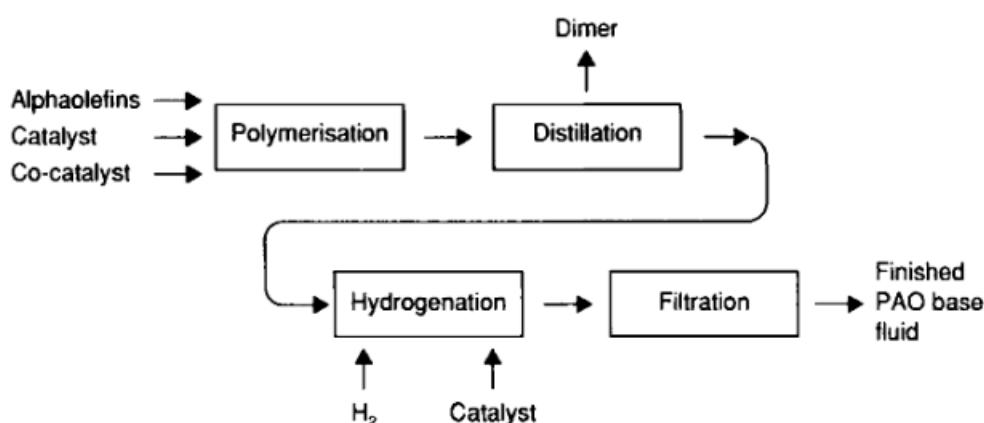
- Καλύτερη σταθερότητα ή αντοχή στην οξείδωση
- Καλύτερος δείκτης ιξώδους
- Χαμηλότερο σημείο ροής έως και -50°C για ορισμένα συνθετικά
- Χαμηλότερος συντελεστής τριβής
- Καλύτερη σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και προστασία κατά της βλάβης
- Καλύτερο ιξώδες σε χαμηλή θερμοκρασία
- Παρατεταμένη διάρκεια ζωής

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα συνθετικά λάδια είναι πιο αξιοσημείωτα είτε σε πολύ χαμηλές είτε σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η καλή σταθερότητα στην οξείδωση και ο χαμηλότερος συντελεστής τριβής επιτρέπουν τη λειτουργία σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο καλύτερος δείκτης ιξώδους και τα χαμηλότερα σημεία ροής επιτρέπουν τη λειτουργία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των συνθετικών ελαίων είναι το αρχικό κόστος, το οποίο μπορεί να είναι δύο έως τρεις φορές υψηλότερο (ή περισσότερο) από τα ορυκτέλαια. Ωστόσο, το αρχικό υψηλότερο κόστος συνήθως ανακτάται κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, η οποία μπορεί να είναι δυνητικά τρεις φορές μεγαλύτερη από τα λιπαντικά με βάση το πετρέλαιο. [8]

ΠΟΛΥΑΛΦΑΟΛΕΦΙΝΕΣ (PAOs)

Οι πολυαλφαολεφίνες (PAOs) είναι υγροί υδρογονάνθρακες που μοιάζουν με παραφίνη που αντιπροσωπεύουν μια δομή κατηγορίας ρευστών γνωστών ως συνθετιμμένοι υδρογονάνθρακες που περιλαμβάνουν μόρια που περιέχουν μόνο άνθρακα και υδρογόνο. Η κύρια εφαρμογή των PAOs είναι ως βασικό απόθεμα λιπαντικού. Αυτή η κατηγορία συνθετικών υγρών μοιάζει πολύ με ορυκτέλαιο σε

πολλές ιδιότητες, αλλά με βασικές βελτιώσεις. Τα PAOs παρουσιάζουν έναν μοναδικό συνδυασμό συγκράτησης ιξώδους σε υψηλή θερμοκρασία, εξαιρετική σταθερότητα διάτμησης, χαμηλή πτητικότητα, πολύ χαμηλό σημείο ροής και εξαιρετική απόκριση στα αντιοξειδωτικά πρόσθετα, με αποτέλεσμα πολύ υψηλό δυναμικό αντοχής στην οξείδωση. Τα PAOs εμφανίζουν επίσης ιδιότητες χαμηλής πρόσφυσης που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόδοση και χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας σε συγκεκριμένο βιομηχανικό εξοπλισμό, όπως κιβώτια ταχυτήτων. Αυτά τα χαρακτηριστικά προκύπτουν από τον συνδυασμό μετρίως διακλαδισμένων μορίων προκαθορισμένου μήκους αλυσίδας. Το σχήμα παρακάτω δείχνει τη βασική χημεία - πολυμερισμό και υδρογόνωση - της παραγωγής PAOs. Παρόμοιες διαδικασίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή συνθετικών βασικών ελαίων PAOs υψηλότερου ιξώδους. Τα βασικά βήματα της διαδικασίας είναι τα εξής. Το αιθυλένιο παράγεται από πετρέλαιο, άνθρακα ή φυσικό αέριο και αντιδρά για να σχηματίσει γραμμικές αλφαολεφίνες που είναι τα βασικά δομικά στοιχεία των λιπαντικών PAOs. Το δεκένιο πολυμερίζεται παρουσία καταλύτη, δίνοντας διμερή (δύο μόρια δεκενίου σε μήκος). [6]



Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα PAOs μοναδικά κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών βιομηχανικών λιπαντικών, όπως:

- γρανάζια υψηλής θερμοκρασίας γενικής χρήσης και λιπαντικά ρουλεμάν
- γεμάτα διάρκεια ζωής κιβώτια ταχυτήτων, συμπεριλαμβανομένων υψηλότερης απόδοσης/υψηλότερου φορτίου
- λιπαντικά κιβωτίων ταχυτήτων για αεριοστροβίλους ξηράς
- λάδια κυκλοφορίας μεγάλης διάρκειας, ειδικά για εφαρμογές μηχανών χαρτιού
- λιπαντικά ψυκτικού συμπιεστή υπό σοβαρές συνθήκες συντήρησης
- γράσα ευρείας κλίμακας θερμοκρασίας για βιομηχανικές αεροπορικές και αυτοκινητοβιομηχανίες
- λάδια κιβωτίων ταχυτήτων ακραίας πίεσης για εφαρμογές κλειστού και ανοιχτού κιβωτίου ταχυτήτων
- λιπαντικά υδροστροβίλου
- λιπαντικά για τρόφιμα

ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

Ο κόσμος εξαρτάται από τα προϊόντα με βάση τα ορυκτά καύσιμα, όπως τα προϊόντα πετρελαίου και τα πετροχημικά, σε μεγάλο βαθμό στους τομείς της βιομηχανίας και των μεταφορών. Αυτά όμως, τα προϊόντα μπορούν να προκαλέσουν σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους και ρύπανση. Η βιομάζα και τα στερεά απόβλητα μπορεί να είναι πιθανοί υποψήφιοι για την παραγωγή καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας, όπως τα υγρά καύσιμα, η μεθανόλη και τα βιοέλαια. Στον τομέα της λίπανσης, που είναι μια σημαντική εφαρμογή των προϊόντων πετρελαίου, τα λιπαντικά με βάση τα ορυκτά μπορούν να αντικατασταθούν από βιολιπαντικά που μπορούν ενδεχομένως να αντιμετωπίσουν ορισμένες από τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα βιολιπαντικά παρουσιάζουν ανώτερες λιπαντικές ιδιότητες σε σχέση με τα συμβατικά λιπαντικά εκτός του ότι είναι ανανεώσιμα και βιοαποδομήσιμα. Τα βιολιπαντικά συνήθως προέρχονται από φυτικά έλαια, φυτικούς πολυμερείς υδατάνθρακες και εστέρες από κερί.

Το παρασκεύασμα περιλαμβάνει μια αντίδραση μετεστεροποίησης όπου ένας εστέρας αντιδρά με μια αλκοόλη για να παραχθεί ένας άλλος εστέρας μέσω ανταλλαγής της αλκυλομάδας. Η μετεστεροποίηση των φυτικών ελαίων παράγει αλκυλεστέρες λιπαρών οξέων διαφορετικών μηκών αλκοολικής αλυσίδας. Η αντίδραση συνήθως καταλύεται από ανόργανα οξέα και βάσεις και το τελικό προϊόν, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, βιοντίζελ κ.α.

Τα βασικά συστατικά ενός λιπαντικού περιλαμβάνουν λάδι βάσης και πρόσθετα, τα οποία ενισχύουν τις ιδιότητες του λαδιού. Η τυπική αναλογία βασικού λαδιού και προσθέτων στο λιπαντικό είναι 90:10. Τα συνθετικά υγρά όπως οι υδρογονωμένες πολυολεφίνες, οι εστέρες, οι σιλικόνες και οι φθοράνθρακες χρησιμοποιούνται ως βασικά έλαια σε συμβατικά λιπαντικά, ενώ τα φυτικά έλαια χρησιμοποιούνται σε βιολιπαντικά. Τα κύρια συστατικά των φυτικών ελαίων περιλαμβάνουν τις τριακυλογλυκερόλες (98%), διγλυκερόλες (0,5%), ελεύθερα λιπαρά οξέα (0,1%), στερόλες (0,3%) και τοκοφερόλες (0,1%). Η δομή των τριγλυκεριδίων αποτελείται από τρεις υδροξυλομάδες εστεροποιημένες με καρβοξυλομάδες λιπαρών οξέων. Λόγω του υψηλού μοριακού βάρους, τα τριγλυκερίδια έχουν υψηλό ιξώδες και δείκτη ιξώδους. [7]

Έχει περιγράψει ότι το βιολιπαντικό έχει εξαιρετική λιπαντική ικανότητα και προκαλεί μείωση του συντελεστή τριβής, των δυνάμεων τριβής και της φθοράς σε σύγκριση με άλλα λιπαντικά. Καθώς τα φυτικά έλαια έχουν εγγενώς εξαιρετικές τριβολογικές ιδιότητες, θεωρούνται πολύ αποτελεσματικά λιπαντικά. Ωστόσο, η υδρολυτική σταθερότητα και η θερμική σταθερότητα των φυτικών ελαίων έχει αναφερθεί ότι είναι χειρότερες από αυτές των συμβατικών ορυκτελαίων και θα

πρέπει να βελτιωθούν. Η οικονομική και περιβαλλοντική σημασία των βασικών ελαίων και των βιώσιμων λιπαντικών συζητήθηκε αρκετά καθώς σχεδόν το 66% της ενέργειας καυσίμου χάνεται στο περιβάλλον λόγω θερμικών, τριβών, μετάδοσης και άλλων εξαρτημάτων. Είναι επιτακτική ανάγκη για τη βελτίωση της απόδοσης του καυσίμου. Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι περισσότερο από 1% εξοικονόμηση στο ΑΕΠ μπορεί να επιτευχθεί ετησίως με την εφαρμογή καλύτερων λιπαντικών στους τομείς της μεταποίησης, των μεταφορών, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των οικιακών τομέων. Ένα άλλο ενδιαφέρον θέμα είναι η χημική τροποποίηση των φυτικών ελαίων για να παραχθεί μια εναλλακτική λύση στα υλικά με βάση το πετρέλαιο. Τα βιολιπαντικά μπορούν επίσης να παρασκευαστούν από απόβλητα μαγειρικά έλαια και κυκλικά οξυγονωμένα άλατα μέσω μιας καταλυτικής διαδικασίας τεσσάρων σταδίων. Έχει επισημανθεί από ορισμένους ερευνητές ότι το ιξώδες είναι η πιο σημαντική ιδιότητα των λιπαντικών, καθώς καθορίζει το μέγεθος της τριβής μεταξύ δύο επιφανειών. Για να μειωθεί η φθορά, τα λιπαντικά με υψηλότερο ιξώδες έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερο λόγο ιξώδους και χαμηλότερους ρυθμούς φθοράς. Τα φιλικά προς το περιβάλλον λιπαντικά γράσα πολλαπλών χρήσεων από φυτικά υπολειμματικά έλαια έχουν μελετηθεί και έχει παρατηρηθεί ότι έχουν ανώτερη τριβολογική απόδοση σε σύγκριση με τα εμπορικά γράσα. [8]

Για την ικανοποίηση των νέων περιβαλλοντικών κανονισμών, η επιστημονική κοινότητα ανέπτυξε νέα λιπαντικά με μεγαλύτερη βιοδιασπασιμότητα και λιγότερη τοξικότητα. Υπό αυτή την έννοια, τα λιπαντικά που λαμβάνονται από πηγές βιολογικής βάσης (βιολιπαντικά) έχουν αναδειχθεί ως πιθανές εναλλακτικές για να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά ορυκτά έλαια που συντίθενται από πετρέλαιο. Τα βιολιπαντικά εμφανίζουν εξαιρετικές φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως π.χ ως δείκτες υψηλού ιξώδους και σημεία ανάφλεξης καθώς και καλή αντοχή στη διάτμηση και υψηλή βιοδιασπασιμότητα. Έτσι, αυτές οι ενώσεις να μπορούν να θεωρηθούν ανανεώσιμες και εύκολα βιοαποδομήσιμες, επιτρέποντάς τους να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των γαλακτωματοποιητών, λιπαντικών, πλαστικοποιητών κ.α.

Η προσεκτική επιλογή του αρχικού ελαίου για τη σύνθεση ενός βιολιπαντικού είναι σημαντική, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις, τα φυτικά έλαια χρησιμοποιούνται στην τροφική αλυσίδα. Η χρήση αυτών των ελαίων για βιομηχανικές εφαρμογές θα μπορούσε να προκαλέσει αύξηση στην κερδοσκοπία, αυξάνοντας έτσι τις τιμές και τις κοινωνικές ανισορροπίες. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα δεδομένα, η πιο βιώσιμη εναλλακτική είναι η χρήση φυτικών ελαίων, τα οποία δεν παρεμβαίνουν στην τροφική αλυσίδα.

Advantages	
-	Higher boiling point (less emissions)
-	Higher biodegradability (free of aromatics)
-	Higher lubricity
-	Lower volatility
-	Better skin compatibility
-	Higher shear stability
-	Higher tool life
-	Higher viscosity index
-	Higher safety on shop floor

Εικόνα 2: Πλεονεκτήματα βιολιπαντικών σε σχέση με τα κοινά λιπαντικά

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Τα βιολιπαντικά μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη χημική ρευστή σύσταση τους σε φυσικά και συνθετικά λάδια. Τα φυσικά έλαια παρασκευάζονται από λαχανικά, φρούτα ή σπόρους, καθώς και λίπη που λαμβάνονται από ζώα, και έχουν χρησιμοποιηθεί ως πρώτες ύλες για τη λήψη των αντίστοιχων ελαίων τους μέσω πολλών μεθόδων εκχύλισης και απόσταξης. Ενώ τα συνθετικά έλαια χρησιμοποιούν φυσικά έλαια ως πρώτες ύλες για το σχηματισμό πιο προηγμένων βιολιπαντικών. Μεταξύ αυτών, αναφέρθηκε ότι η σύνθεση του εστέρα, συμπεριλαμβανομένης τροποποίησης από μικροοργανισμούς, αλκοόλες, πολυαλκοόλες, πολυγλυκόλες και άλλα είδη μπορεί να εισχωρήσει σε ένα φυσικό έλαιο με τέτοιο τρόπο ώστε το συνθετικό βιολιπαντικό να παρουσιάσει θερμοοξειδωτική σταθερότητα, αντοχή στη φθορά και λιπαντικές ιδιότητες ακόμη μεγαλύτερες από αυτές που παρουσιάζουν τα ορυκτέλαια. Ωστόσο, οι συνθετικοί εστέρες εμφανίζουν επίσης αρκετούς περιορισμούς, καθώς η χημική τροποποίηση αυξάνει την τιμή του λιπαντικού, αυξάνει ελαφρώς την αστάθεια και την τοξικότητα, μειώνει την ανοχή στην τριβή και οι εστέρες δεν λειτουργούν καλά με τα ορυκτέλαια σε σύγκριση με μη τροποποιημένα φυτικά έλαια. [10]

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

■ Θερμοοξειδωτική σταθερότητα

Οι ακόρεστοι δεσμοί έχουν δυσμενή επίδραση στη θερμοοξειδωτική σταθερότητα των βιολιπαντικών. Ωστόσο, είναι δυνατό να επιτευχθεί μια κατάλληλη σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς των δεσμών με χαμηλή θερμοκρασία και της θερμοοξειδωτικής σταθερότητας: μερικά βιολιπαντικά με άριστες ιδιότητες και περιεκτικότητα σε φυτικό έλαιο (ηλίανθος, κανόλα ή σόγια) πάνω από 80%. Η θερμοοξειδωτική σταθερότητα μπορεί επίσης να βελτιωθεί με χημική τροποποίηση του φυτικού ελαίου μέσω κορεσμού του δεσμού $-C=C-$, λαμβάνοντας έτσι

βιολιπαντικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υδραυλικά λιπαντικά, υγρά μετάδοσης και λιπαντικά κινητήρα ή συμπιεστή. Η θερμοοξειδωτική σταθερότητα και ο δείκτης ιξώδους μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω με κορεσμό δεσμών $C=C$ (μέσω εποξειδωσης) και στη συνέχεια προκαλώντας τους να διακλαδωθούν. Επομένως, είναι δυνατό να ρυθμιστεί το ιξώδες τροποποιώντας το μήκος της αλκυλικής αλυσίδας.

▪ Υδρολυτική σταθερότητα

Η αντίσταση των βιολιπαντικών σε χημικές επιθέσεις, όπου το H_2O εμπλέκεται ως αντιδραστήριο ή προϊόν, είναι μια άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη σχετικά με τη σταθερότητα του βιολιπαντικού. Γενικά, τα βιολιπαντικά σχηματίζονται από εστέρες, οι οποίοι είναι επιρρεπείς σε υδρόλυση από το αντίστοιχο καρβοξυλικό οξύ και αλκοόλη. Ο κορεσμός βελτιώνει την υδρολυτική σταθερότητα. Ομοίως, οι κορεσμένοι δικαρβοξυλικοί εστέρες αποδείχθηκαν εξαιρετικά σταθεροί λόγω των στερικών επιδράσεων. Η υδρολυτική σταθερότητα των βιολιπαντικών ενισχύεται όταν χρησιμοποιούνται αλκοόλες μικρής αλυσίδας. Αυτή η αντίσταση μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας διακλαδισμένες αλκοόλες. Η χρήση της γλυκερίνης ως αλκοόλ σε ένα βιολιπαντικό έχει ως αποτέλεσμα την υδρολυτική σταθερότητα, η οποία είναι συγκρίσιμη με αυτή που εμφανίζεται στους μονοεστέρες που σχηματίζονται από διακλαδισμένες αλκοόλες. Παρά την υδρολυτική σταθερότητα που προκαλεί την υποβάθμιση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του βιολιπαντικού, αυτή η παράμετρος είναι το κλειδί για την απόκτηση βιολιπαντικών με υψηλή βιοδιασπασιμότητα και μικρότερες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

▪ Ιξώδες

Το ιξώδες είναι μια παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την αντικατάσταση των παραδοσιακών λιπαντικών που προέρχονται από αργό πετρέλαιο. Τα περισσότερα βιολιπαντικά εμφανίζουν υψηλό ιξώδες και το ιξώδες άμεσα αυξάνεται με το μήκος της υδρογονανθρακικής αλυσίδας του καρβοξυλικού οξέος ή της αλκοόλης στα βιολιπαντικά με εστέρα. Η παρουσία υδροξυλομάδων στο λιπαρό οξύ τροποποιεί τον δείκτη ιξώδους λόγω αυξημένων αλληλεπιδράσεων δεσμών υδρογόνου. Το ιξώδες σχετίζεται επίσης άμεσα με τη θερμοκρασία. Αναφέρθηκε ότι τα βιολιπαντικά με υψηλό δείκτη ιξώδους εμφάνισαν λιγότερες τροποποιήσεις ιξώδους όταν η θερμοκρασία αυξήθηκε. Η διακλάδωση του επηρεάζει επίσης τον δείκτη ιξώδους, αφού η αυξημένη διακλάδωση στην αλκοόλη ή στο καρβοξυλικό οξύ ευνοεί έναν χαμηλότερο δείκτη ιξώδους, ενώ το αυξημένο μήκος έχει αρνητικό αποτέλεσμα αυξάνοντας το δείκτη ιξώδους.

▪ Βιοδιασπασιμότητα

Ένα λιπαντικό θεωρείται βιοαποικοδομήσιμο όταν μπορεί να διασπαστεί από ένζυμα σε ανανεώσιμες πρώτες ύλες που προέρχονται από αερόβιες ή αναερόβιες διεργασίες από οργανισμούς ή τα ένζυμα τους. Η βιοδιασπασιμότητα ενός λιπαντικού πραγματοποιείται μέσω πολλών βημάτων. Στο πρώτο βήμα, το πρωτότυπο βιολιπαντικό εξαφανίζεται για να σχηματίσει μια άλλη ένωση που μπορεί ή όχι να είναι πλήρως βιοαποικοδομημένη. Αυτή η πρωτογενής αποικοδόμηση μετράται με την ανάλυση του δεσμού C-H μέσω της υπέρυθρης φασματοσκοπίας. Στη συνέχεια, στο δεύτερο βήμα, η οργανική ένωση καθορίζει την αποικοδόμησης οργανικής ένωσης σε CO₂ και H₂O με βιοαποικοδόμηση εντός 28 ημερών.

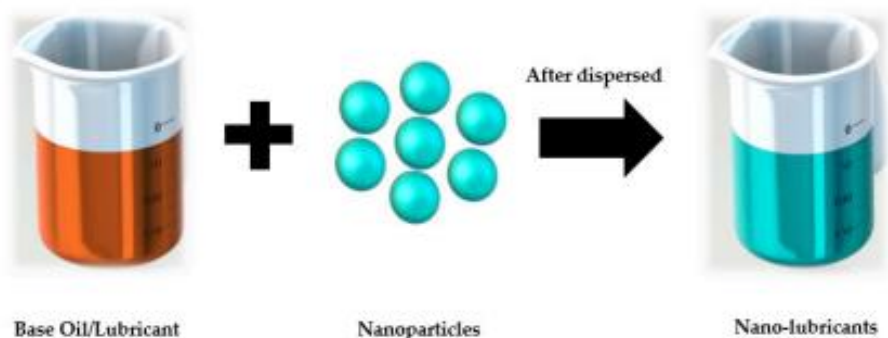
▪ Οικοτοξικότητα

Η οικοτοξικότητα είναι μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να ελέγχεται, καθώς ορισμένα συστατικά του λιπαντικού είναι τοξικά για το περιβάλλον και μπορούν να επηρεάσουν μη αναστρέψιμα τα ζωντανά όντα. Τα υδατικά οικοσυστήματα είναι πιο επιρρεπή σε ισχυρές βλάβες, επομένως είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η τοξικότητα του λιπαντικού νερού που μπορεί να δηλητηριάσει οργανισμούς στόχους όπως βακτήρια, φύκια, μικρά ψάρια ή αρουραίους εργαστηρίου. Η οικοτοξικότητα μετριέται χρησιμοποιώντας το LD50, δηλ. την απαιτούμενη δόση για να σκοτώσει το 50% ενός πληθυσμού. Ένα βιολιπαντικό δεν θεωρείται οικοτοξικό όταν το LD50 είναι πάνω από 1000 ppm. [10]

NANOLIΠΑΝΤΙΚΑ

Τα νανοσωματίδια έχουν προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια λόγω των καλών χημικών και φυσικών τους ιδιοτήτων. Η τριβολογία περιλαμβάνει τη μελέτη της τριβής, φθοράς και λίπανσης σε μακροεπίπεδο, ενώ η νανοτριβολογία ασχολείται με τη διακύμανση των τριβολογικών ιδιοτήτων των λιπαντικών και επιφανειών επαφής στο μικρό/νανοεπίπεδο. Ένα λιπαντικό που λαμβάνεται με την προσθήκη των νανοσωματιδίων σε ένα ορισμένο ποσοστό ονομάζεται νανολιπαντικό. Έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες σχετικά με τις τριβολογικές ιδιότητες των λιπαντικών με την πρόσθεση διαφορετικών νανοσωματιδίων. Έχει αναφερθεί ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων στο λιπαντικό είναι αποτελεσματική στη μείωση της φθοράς και της τριβής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα νανοσωματίδια που υπάρχουν στο νανολιπαντικό εναποτίθενται στις επιφάνειες τριβής και βελτιώνουν τις τριβολογικές ιδιότητες, εμφανίζοντας έτσι καλή τριβή και χαρακτηριστικά μειωμένης φθοράς. Η συμπεριφορά μείωσης τριβής και φθοράς εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των νανοσωματιδίων, όπως το μέγεθος, το σχήμα και τη συγκέντρωση. Ωστόσο, ανόργανα νανοσωματίδια (ειδικά γυμνά νανοσυμπλέγματα) είναι εγγενώς ασταθή και εύκολο να συγκεντρώνονται ή

οξειδώνονται από το περιβάλλον, γεγονός που τα εμποδίζει σε μεγάλο βαθμό να εφαρμόζονται σε πρόσθετα σε λιπαντικά λάδια και γράσα. Με άλλα λόγια, η κακή διαλυτότητα και διασπορά των ανόργανων νανοσωματιδίων στα λιπαντικά έλαια περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις εφαρμογές τους ως πρόσθετα σε τυποποιημένα λιπαντικά. [10]



Η χρήση νανοσωματιδίων ως λιπαντικών προσθέτων παρουσιάζει σημαντικά οφέλη σε σύγκριση με συμβατικά λιπαντικά. Πρώτον, τα νανοσωματίδια χαρακτηρίζονται από μικρό μέγεθος το οποίο ποικίλλει εντός των ορίων της νανομετρικής κλίμακας, χαμηλό σημείο τήξης καθώς και αυξημένη χημική αντιδραστικότητα. Αυτές οι πτυχές τους επιτρέπουν να γεμίζουν τις διεπαφές τριβής και να λειτουργούν ως αντι-φθορές και τροποποιητές τριβής και έτσι προσφέρουν εξαιρετικές ιδιότητες. Επιπλέον, διευκολύνουν την εναπόθεση νανοσωματιδίων σε υπάρχοντα ελαττώματα που εμφανίζονται πάνω από τις διεπαφές τριβής που έχει ως αποτέλεσμα μια λειτουργία «αυτοεπισκευής». Επιπλέον, τα νανοσωματίδια παρουσιάζουν υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από το βασικό λάδι που συμβάλλει στην αυξημένη μεταφορά θερμότητας. Τα νανοσωματίδια είναι φιλικά προς το περιβάλλον, παρουσιάζουν μεγάλη τριβή και ικανότητα μείωσης της φθοράς, είναι λιγότερο επιρρεπείς στην αντίδραση με άλλα πρόσθετα και δεν απαιτούν τριβοενεργά στοιχεία για να βελτιώσουν τις τριβολογικές ιδιότητες του βασικού λαδιού. [11],[12]

Τα λιπαντικά με βάση τα νανοσωματίδια αποτελούνται γενικά από τρία συστατικά:

(α) τον διαλύτη, ο οποίος είναι το λιπαντικό λάδι.

(β) τα νανοσωματίδια που λειτουργούν ως πρόσθετα κατά της φθοράς, ακραίας πίεσης ή τροποποίησης της τριβής.

(γ) το επιφανειοδραστικό που καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ των νανοσωματιδίων και του λιπαντικού.

Τα νανοσωματίδια διασπείρονται στο λιπαντικό λάδι με τον κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να αποκτήσουν επαρκή κολλοειδή σταθερότητα.

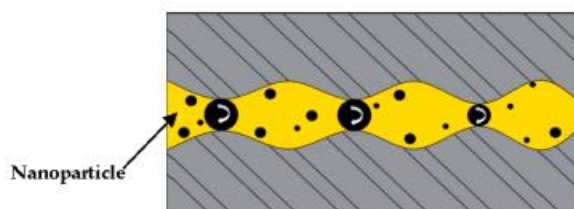
Με βάση τη χημική σύνθεση, τα νανοσωματίδια αποτελούνται από μέταλλο, οξείδιο μετάλλου, θειούχο, νανοςύνθετα υλικά, νανοσωματίδια άνθρακα και ενώσεις σπάνιων γαιών. Τα νανοσωματίδια που περιέχουν μέταλλα αποτελούν το αντικείμενο των περισσότερων μελετών που πραγματοποιήθηκαν και καταλαμβάνουν περίπου το 72%. Αντίθετα, μελέτες που επικεντρώθηκαν σε νανοσωματίδια άνθρακα, νανοςύνθετα και σπάνια οι ενώσεις γαιών αντιστοιχούσαν σε μόλις 7%, 6% και 7%, αντίστοιχα. [3]

ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

Οι μελέτες μηχανισμών λίπανσης χρησιμεύουν ως αποφασιστική παράμετρος για την κατανόηση των τριβολογικών ιδιοτήτων των νανολιπαντικών. Ο μηχανισμός λίπανσης των νανοσωματιδίων περιλαμβάνει το εφέ ρουλεμάν, τον σχηματισμό προστατευτικού φιλμ, το αποτέλεσμα επιδιόρθωσης και το γυαλιστικό αποτέλεσμα. Αυτοί οι μηχανισμοί κυρίως ταξινομούνται σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα είναι η άμεση δράση των νανοσωματιδίων στην ενίσχυση της λίπανσης(φαινόμενο ρουλεμάν/σχηματισμός προστατευτικής μεμβράνης) και η δεύτερη ομάδα είναι η ενίσχυση επιφάνειας (γυάλισμα/επιδιόρθωση). [3]

▪ Κυλιόμενο εφέ

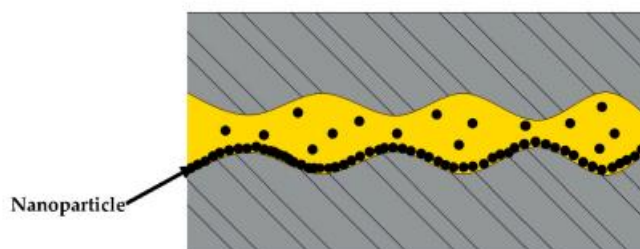
Επιπροσθέτως γνωστό ως εφέ ρουλεμάν, συνήθως σφαιρικά ή σχεδόν σφαιρικά νανοσωματίδια λειτουργούν ως ρουλεμάν που κυλίνουν μεταξύ της επιφάνειας επαφής και μετατρέπουν την τριβή ολίσθησης σε συνδυασμό τριβής ολίσθησης και κύλισης.



Εικόνα 3 Εφέ ρουλεμάν

▪ Σχηματισμός προστατευτικής μεμβράνης

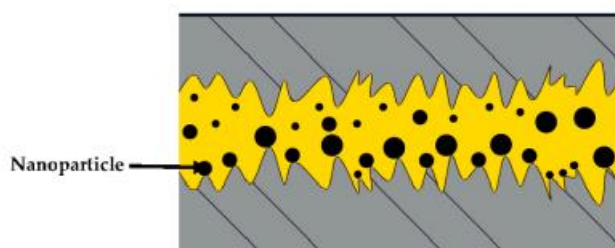
Τα νανοσωματίδια είναι πιο πιθανό να σχηματίσουν ένα άμορφο στρώμα (προστατευτικό φιλμ) στις επιφάνειες τριβής σε αυτόν τον μηχανισμό. Το τριβο-φιλμ είναι το προστατευτικό φιλμ στις επιφάνειες του υλικού. Το τριβο-φιλμ και τα υλικά κοντά στην επιφάνεια καθορίζουν την τριβολογική συμπεριφορά της επαφής. Η αντίδραση μεταξύ του υποστρώματος και των νανοσωματιδίων σχηματίζει το φιλμ κάτω από κατάσταση περιβάλλοντος. Αρκετές πειραματικές μελέτες έχουν αναφέρει τον μηχανισμό του σχηματισμού μεμβράνης για την παροχή εξαιρετικής λίπανσης.



Εικόνα 4 Σχηματισμός προστατευτικής μεμβράνης

▪ Γυαλιστικό εφέ

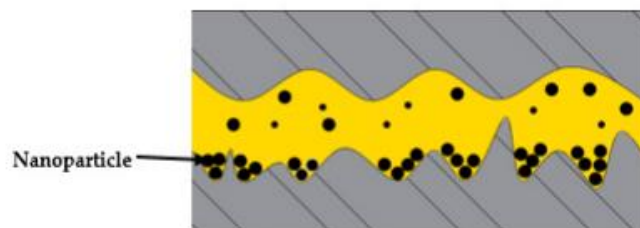
Το γυαλιστικό αποτέλεσμα που ονομάζεται επίσης αποτέλεσμα εξομάλυνσης, μειώνει την τραχύτητα της επιφάνειας λίπανσης με τριβή υποβοηθούμενη από νανοσωματίδια.



Εικόνα 5 Γυαλιστικό εφέ

▪ Επιδιορθωτική επίδραση

Το αποτέλεσμα επιδιόρθωσης ή αυτό-επιδιόρθωσης που χαρακτηρίζεται από εναπόθεση νανοσωματιδίων στις επιφάνειες τριβής αντισταθμίζουν τις απώλειες μάζας. Επιπλέον, τα νανοσωματίδια επίσης εναποτίθενται στην επιφάνεια φθοράς και γεμίζουν τις αυλακώσεις κατά τη διάρκεια αυτού του μηχανισμού.[3]



Εικόνα 6 Επιδιορθωτική επίδραση

ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΣΤΟ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ

Τα λιπαντικά που θα χρησιμοποιηθούν στην πειραματική διάταξη του ιξωδομέτρου τριχοειδούς σωλήνα είναι τα εξής:

- SAE30
- SAE10W-40
- Πρόσθετα φουλερενίου

Η ανάλυση τους θα γίνει παρακάτω.

ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ SAE 30

Το ορυκτό λιπαντικό SAE 30 είναι ένας τύπος λιπαντικού που παρασκευάζεται από ορυκτέλαια βάσης και πρόσθετα για να πληροί τις απαιτήσεις ιξώδους που καθορίζονται από την Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE). Ο χαρακτηρισμός "ορυκτό" υποδεικνύει ότι το βασικό έλαιο που χρησιμοποιείται στη σύνθεση προέρχεται από πετρέλαιο μέσω μιας διαδικασίας διύλισης. Χρησιμοποιείται συνήθως σε ποικίλες εφαρμογές όπου είναι κατάλληλο ένα λιπαντικό απλής ποιότητας με βαθμό ιξώδους 30. Μερικές από τις τυπικές τους εφαρμογές είναι:

Σε κινητήρες αυτοκινήτων: Το ορυκτό λάδι SAE 30 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένους παλαιότερους κινητήρες βενζίνης ή ντίζελ που απαιτούν λάδι με βαθμό ιξώδους 30. Ωστόσο, είναι σημαντικό να ελέγχετε τις συστάσεις του κατασκευαστή για τον συγκεκριμένο τύπο και το ιξώδες λαδιού που απαιτείται για η μηχανή.

Βιομηχανικά μηχανήματα: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένους τύπους βιομηχανικών μηχανημάτων, ιδιαίτερα εκείνων που λειτουργούν υπό συνθήκες μέτριας θερμοκρασίας και χαμηλά έως μέτρια φορτία.

Μικροί κινητήρες: Το ορυκτό λάδι SAE 30 χρησιμοποιείται συχνά σε μικρούς, αερόψυκτους κινητήρες, όπως αυτοί που βρίσκονται σε χλοοκοπτικά, γεννήτριες και άλλο εξοπλισμό εξωτερικής ισχύος.

Υδραυλικά συστήματα: Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ορυκτέλαιο SAE 30 μπορεί να είναι κατάλληλο για χρήση σε υδραυλικά συστήματα, ιδιαίτερα εκείνα που λειτουργούν σε χαμηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες.

Εν κατακλείδι, το λιπαντικό SAE 30 προσφέρει καλές λιπαντικές ιδιότητες και μπορεί να παρέχει επαρκή προστασία από τη φθορά και τη διάβρωση σε πολλές εφαρμογές. Ωστόσο, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι το λάδι είναι συμβατό με τον εν λόγω εξοπλισμό ή μηχανήματα και ότι πληροί οποιεσδήποτε συγκεκριμένες απαιτήσεις απόδοσης ή προδιαγραφές. Η τακτική συντήρηση, σε συνδυασμό με την

ανάλυση και την παρακολούθηση του λαδιού, είναι επίσης σημαντικά για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και μακροζωίας των λιπαινόμενων εξαρτημάτων.

ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ SAE10W-40

Το SAE 10W-40 είναι ένα λιπαντικό κινητήρα πολλαπλής ποιότητας που πληροί τις απαιτήσεις ιξώδους που καθορίζονται από την Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE). Η ονομασία "10W-40" υποδεικνύει τα χαρακτηριστικά ιξώδους του λαδιού σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Το τμήμα "10W" της ονομασίας υποδηλώνει το χειμερινό ιξώδες ή τα χαρακτηριστικά ροής του λαδιού. Το "W" δηλαδή, υποδεικνύει ότι το λάδι έχει δοκιμαστεί και πληροί ορισμένες απαιτήσεις ιξώδους σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σε αυτήν την περίπτωση, το λάδι SAE 10W έχει χαμηλότερο ιξώδες σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με λάδια με υψηλότερους βαθμούς ιξώδους όπως το SAE 20W ή το SAE 30W. Αυτό επιτρέπει στο λάδι να ρέει πιο εύκολα σε χαμηλές θερμοκρασίες, παρέχοντας καλύτερη προστασία του κινητήρα κατά την εκκίνηση.

Το τμήμα "40" του χαρακτηρισμού αντιπροσωπεύει το ιξώδες του λαδιού σε θερμοκρασίες λειτουργίας. Το λάδι SAE 40 έχει υψηλότερο ιξώδες σε υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με χαμηλότερους βαθμούς ιξώδους. Αυτό το ιξώδες βοηθά στη διατήρηση της σωστής λίπανσης και της προστασίας του κινητήρα υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Το λάδι κινητήρα SAE 10W-40 χρησιμοποιείται συνήθως σε ένα ευρύ φάσμα κινητήρων βενζίνης και ντίζελ, συμπεριλαμβανομένων επιβατικών αυτοκινήτων, ελαφρών φορτηγών και μοτοσυκλετών. Προσφέρει μια ισορροπία μεταξύ της προστασίας εκκίνησης κατά το κρύο και της λίπανσης σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας το κατάλληλο για χρήση σε διάφορα κλίματα και συνθήκες λειτουργίας.

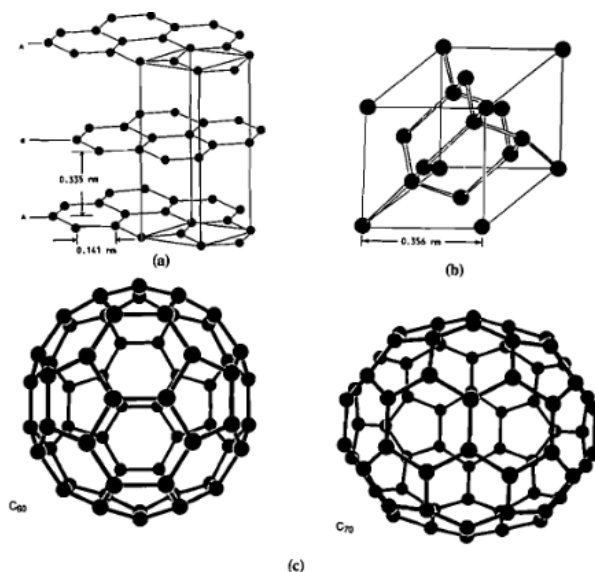
Μερικά βασικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές του λαδιού κινητήρα SAE 10W-40 είναι:

- Απόδοση σε όλες τις εποχές: Το λάδι SAE 10W-40 έχει σχεδιαστεί για να παρέχει αξιόπιστη προστασία κινητήρα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, προσφέροντας καλές ιδιότητες ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες και επαρκές ιξώδες σε υψηλές.

- Συμβατότητα κινητήρα: Είναι συμβατό τόσο με βενζινοκινητήρες όσο και με πετρελαιοκινητήρες, συμπεριλαμβανομένων των ατμοσφαιρικών και υπερτροφοδοτούμενων.
- Ενισχυμένη προστασία κινητήρα: Το λάδι παρέχει λίπανση σε κρίσιμα εξαρτήματα του κινητήρα, μειώνοντας την τριβή, τη φθορά και τη διάβρωση και συμβάλλοντας στην παράταση της διάρκειας ζωής του κινητήρα.
- Απόδοση καυσίμου: Ορισμένες συνθέσεις λαδιού SAE 10W-40 μπορεί να περιλαμβάνουν πρόσθετα που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της απόδοσης καυσίμου και τη μείωση των εκπομπών.

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΟΥΛΕΡΕΝΙΩΝ

Η δυνατότητα χρήσης φουλερενίων ως πρόσθετα λιπαντικών ξεκίνησε σχεδόν από την εποχή της απόκτησής τους σε προπαρασκευαστικές ποσότητες. Αυτό δεν είναι τυχαίο, καθώς η υλική βάση των μορίων αυτών είναι ο άνθρακας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ήδη ευρέως και με επιτυχία μέχρι τότε με τη μορφή γραφίτη ως βάση μιας ευρείας κατηγορίας λιπαντικών. Η εμφάνιση τεχνικών για την παραγωγή ποσοτήτων φουλερενίου, η νέα μορφή σταθερού, καθαρού, στερεού άνθρακα ανοίγει πληθώρα δυνατοτήτων που πρέπει να διερευνηθούν σε πολλούς διαφορετικούς κλάδους. Σε αντίθεση με τον γραφίτη και το διαμάντι που είναι άπειρα στερεά περιοδικού δικτύου, αυτή η μορφή άνθρακα είναι μοριακή μορφή καθαρού άνθρακα και πεπερασμένη. Όλα τα μέλη αυτής της νέας μοριακής τάξης μοιράζονται μια κοινή ιδιότητα: είναι γεωδαισιακά σφαιροειδή, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



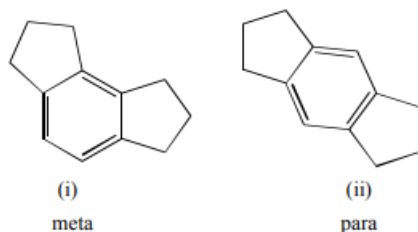
Όλα τα μόρια φουλερενίου έχουν τη μορφή κοίλων, γεωδαισιακών θόλων. Όλοι αυτοί οι θόλοι είναι δίκτυα πενταγώνων και εξαγώνων με ομοιοπολικά συνδεδεμένα άτομα άνθρακα. Έχει αναφερθεί ότι οποιοδήποτε τέτοιο αντικείμενο πρέπει να έχει ακριβώς 12 πεντάγωνα για να κλείσει σε ένα σφαιροειδές, αν και ο αριθμός των εξαγώνων μπορεί να ποικίλλει πολύ. Έχει επίσης αναφερθεί ότι τα μόρια φουλερενίου μπορεί να έχουν αριθμούς άνθρακα που κυμαίνονται από 32 έως 960. Ωστόσο, τα πιο σταθερά μόρια είναι το C₆₀ και το C₇₀. Η δομή του μορίου C₆₀, που ονομάζεται επίσης buckminsterfullerene, έχει 20 εξάγωνα στον θόλο, παίρνοντας την υψηλότερη δυνατή συμμετρία για οποιοδήποτε μόριο (εικοσάεδρο) που παίρνει το σχήμα μπάλας ποδοσφαίρου, ενώ η δομή του C₇₀, έχει 25 εξάγωνα, παράγοντας ένα σχήμα που θυμίζει μπάλα ράγκμπι.

Τα φουλερένια C₆₀ και C₇₀ ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά από τους Kroto και Kratschmer. Ως ένα πολλά υποσχόμενο νανοϋλικό με βάση τον άνθρακα, το φουλερένιο C₆₀ έχει μεγάλη επίδραση στη λίπανση ως λιπαντικό πρόσθετο λόγω του τέλει σφαιρικού σχήματος, της υψηλής αντοχής σε χωρητικότητα, των ισχυρών ενδομοριακών δυνάμεων, των ασθενών διαμοριακών δυνάμεων και της χαμηλής επιφάνειας ενέργειας. Ωστόσο, λόγω της κακής διαλυτότητάς του σε οργανικούς διαλύτες, ορισμένες κατάλληλες χημικές τροποποιήσεις στο εγγενώς υδρόφοβο και λιπόφοβο C₆₀ χρειάζεται για να διαλυθεί σε διαλύτες οργανικών ελαίων. [13]

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΦΟΥΛΕΡΕΝΙΩΝ

Ο εντοπισμός ηλεκτρονίων και η παραμόρφωση του δακτυλίου επηρεάζει τη σταθερότητα των φουλερενίων. Εφαρμόζοντας τον κανόνα Huckel σε διαφορετικά παράγωγα φουλερενίου όπως C₅₀, C₆₀, C₇₀, C₈₀ και C₈₄, μεταξύ αυτών μόνο τα C₅₀ και C₇₀ θεωρήθηκαν αρωματικά και το C₆₀ ήταν λιγότερο αρωματικό. Καθώς ο κανόνας του Huckel δίνει αρωματικότητα στα σφαιρικά συστήματα από τα επίπεδα συστήματα, μόνο το C₆₀ βρέθηκε να είναι πιο αρωματικό και πολύ σταθερό. Η υψηλότερη σταθερότητα του C₆₀ οφείλεται σε μειωμένη τάση στον δακτύλιο αφού τα δώδεκα πεντάγωνα είναι απομονωμένα μεταξύ τους. Όταν υπάρχουν ελάχιστοι δεσμοί σε πενταμελείς δακτυλίους δείχνει ότι όλοι οι διπλοί δεσμοί είναι σε εξαμελείς δακτυλίους και κανένας στους πενταμελείς. Όταν η meta-thesis (i) οποιωνδήποτε δύο δακτυλίων συντήκονται με εξαγωνικούς δακτυλίους, αυτή η διάταξη επιτρέπει ελαχιστοποίηση των δεσμών σε πενταμελείς δακτυλίους. Η αστάθεια στο C₆₀ θα συμβεί όταν η απαίτηση της ελαχιστοποίησης του δεν ικανοποιείται, όταν δηλαδή υπάρχει η para σχέση μεταξύ δύο πενταγωνικών δακτυλίων. Παρατηρείται ότι υψηλότερα φουλερένια όπως το C₇₀, είναι λιγότερο

σταθερά από το C_{60} που περιέχει πέντε διατάξεις του τύπου (ii). Αυτό δείχνει ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων άνθρακα, η σταθερότητα συνεχίζει να μειώνεται. [14]



Τα φουλερένια είναι ελάχιστα διαλυτά σε πολλούς διαλύτες. Κοινοί διαλύτες για τα φουλερένια είναι κάποια αρωματικά, όπως το τολουόλιο, και άλλα όπως το δισουλφίδιο του άνθρακα. Τα διαλύματα καθαρού φουλερενίου Buckminster έχουν βαθύ μωβ χρώμα, ενώ διαλύματα C_{70} έχουν ένα κοκκινωπό καφέ. Ωστόσο, για τις εφαρμογές των φουλερενίων σε ζωντανά συστήματα η βιο-συμβατή διαλυτότητα του C_{60} είναι υποχρεωτική. Για το λόγο αυτό, έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια στην παρασκευή παραγώγων φουλερενίου που να μπορούν να διαλυθούν σε νερό ή σε διάφορα φυτικά έλαια. Η διαλυτότητα του C_{60} σε μια σειρά φυτικών ελαίων βρέθηκε να είναι στο επίπεδο από 100–200 mg/L. Η διαλυτότητα των φουλερενίων C_{60} και C_{70} επηρεάζεται από το επίπεδο ακόρεστου των λιπαρών οξέων στα φυτικά έλαια: παρατηρείται υψηλότερη διαλυτότητα στα περισσότερα κορεσμένα έλαια. Ωστόσο, όταν το φουλερένιο C_{60} διαλύεται σε φυτικά έλαια, τα φάσματα απορρόφησης δείχνουν μια νέα ζώνη απορρόφησης, η οποία δεν υπάρχει στο φάσμα παρθένου φουλερενίου σε άλλους διαλύτες: η νέα ζώνη εμφανίζεται στα 435 nm σχεδόν σε όλους τους εστέρες λιπαρών οξέων που δοκιμάστηκαν ως διαλύτες. Η εξήγηση είναι ότι το C_{60} κατασκευάζει τύπου Diels–Alder προϊόντα προσθήκης παρουσία τουλάχιστον δύο διπλών δεσμών στις αλυσίδες λιπαρών οξέων. Έτσι, οι εστέρες λιπαρών οξέων είναι ικανοί όχι μόνο να διαλύουν το C_{60} αλλά και να αντιδρούν με αυτό το μόριο, προκαλώντας την προσθήκη της λιπαρής αλυσίδας στον κλωβό φουλερενίου (με την ακόλουθη αλλαγή χρώματος διαλύτη από βαθύ μωβ έως κοκκινωπό καφέ). Σε αντίθεση με το C_{60} , τα διαλύματα C_{70} σε φυτικά έλαια, παρασκευασμένα σε θερμοκρασία δωματίου δεν εμφανίζουν καμία νέα ζώνη απορρόφησης στο ορατό τους φάσμα και δείχνουν επίσης καλύτερη σταθερότητα από τα διαλύματα C_{60} . [15]

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΙΞΩΔΟΥΣ-ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Υπάρχει γενική συμφωνία ότι, το ιξώδες αποτελεί την πιο σημαντική ιδιότητα από όλες τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των λιπαντικών. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες

που προκαλούν αλλαγή στο ιξώδες, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο ρυθμός διάτμησης και η ηλικία του λιπαντικού. Το ιξώδες του λιπαντικού είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στη θερμοκρασία λειτουργίας.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας το ιξώδες των λιπαντικών ελαίων μειώνεται ταχύρρυθμα. Υπάρχουν δύο τρόποι για τη μέτρηση του ιξώδους των λιπαντικών ελαίων. Μπορεί είτε να υπολογιστεί από τις εξισώσεις θερμοκρασίας ιξώδους είτε να ληφθεί από το διάγραμμα ιξώδους-θερμοκρασίας ASTM.

Έχουν προταθεί διάφοροι συσχετισμοί του φαινομένου ιξώδους-θερμοκρασίας για τα υγρά λιπαντικά από ερευνητές (Hersey,1966). Ορισμένες από αυτές τις σχέσεις έχουν εμπειρικό χαρακτήρα ενώ άλλες είναι θεωρητικές. Ορισμένες από τις σημαντικότερες συμβολές αναφέρονται εδώ. [16], [17]

1)Εξίσωση Reynolds

$$\eta = Ae^{-mt}$$

όπου A,m σταθερές

1) Εξίσωση Vogel

$$\eta = A e^{\frac{b}{t+\theta}}$$

όπου A,b,θ σταθερές

2) Εξίσωση Walther

$$\log_{10} \log_{10}(\nu + 0.7) = A - B \log_{10} T$$

όπου A,B σταθερές

3) Εξίσωση Roeland

$$1,2 + \log \eta = \frac{A}{\frac{1+t_c}{135^m}}$$

όπου A,m σταθερές

4) Εξίσωση Hussain

$$\log \nu = A \left(\frac{t_c}{S} \right)^{\frac{t_c}{B}}$$

όπου A,B,S σταθερές

Στις παραπάνω εξισώσεις όπου ν κινηματικό ιξώδες (m^2/s) και όπου η δυναμικό ιξώδες (Pas). Για γνωστές τιμές του κινηματικού ιξώδους και της πυκνότητας, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, η τιμή του δυναμικού ιξώδους δίνεται από την εξίσωση:

$$\eta_0 = \nu_0 \rho$$

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΙΞΩΔΟΥΣ-ΠΙΕΣΗΣ

Το ιξώδες των λιπαντικών επίσης επηρεάζεται από τον παράγοντα της πίεσης και έτσι αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης. Τα μοντέλα που σχετίζονται με τη σχέση ιξώδους-πίεσης παρουσιάζονται παρακάτω:

1) Μοντέλο Barus

$$\eta = \eta_0 e^{a \cdot p}$$

όπου:

- a : ο συντελεστής ιξώδους-πίεσης
- η_0 : είναι το δυναμικό ιξώδες του λιπαντικού σε ατμοσφαιρική πίεση
- η : είναι το δυναμικό ιξώδες του λιπαντικού σε συγκεκριμένη πίεση

2) Μοντέλο Klaus του συντελεστή ιξώδους - πίεσης:

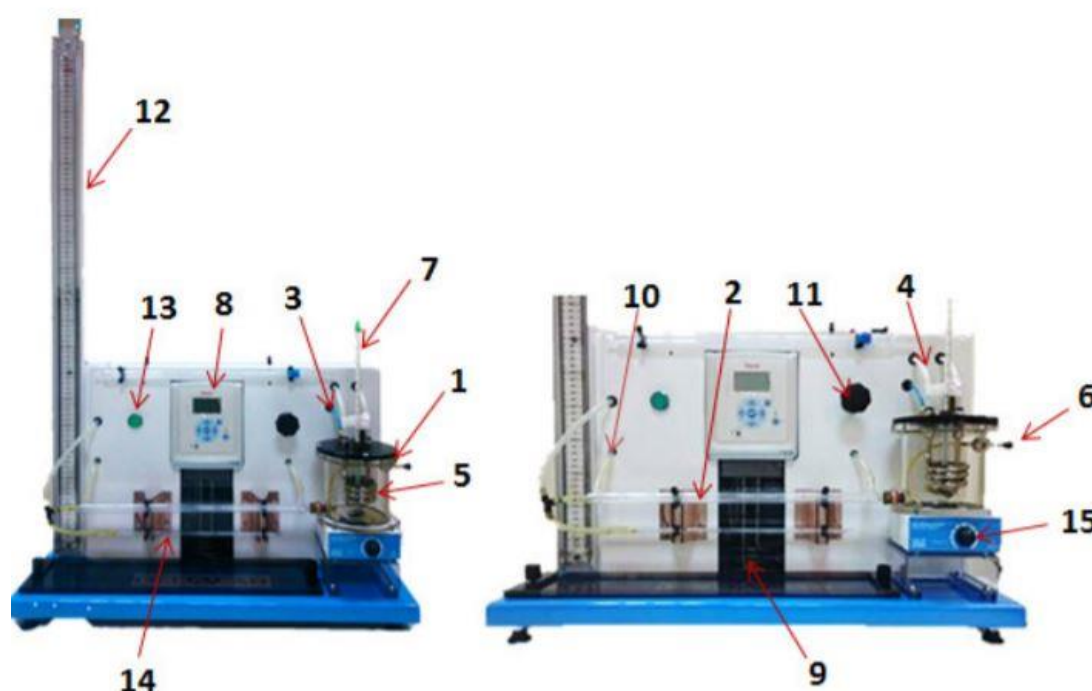
$$\alpha = 1,216 + 4,143 * \log_{10} \nu_0^{3,0627} + 2,848 * 10^{-4} * m_o^{5,1903} * \log_{10} \nu_0^{1,5976} - 3,999 * \log_{10} \nu_0^{3,0975} * \rho^{0,1162}$$

όπου:

- ν_0 : το κινηματικό ιξώδες του λιπαντικού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία
- a : ο συντελεστής ιξώδους-πίεσης
- m_o : σταθερά που δηλώνει την ατμοσφαιρική ιδιότητα ιξώδους-πίεσης
- ρ : η πυκνότητα του λιπαντικού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟΥ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ

Οι δοκιμές μέτρησης ιξώδους πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το ιξωδόμετρο τριχοειδούς σωλήνα EH105 που κατασκευάζεται από την DELTALAB (Carcassonne, Γαλλία). Το εύρος θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ 25°C και 80°C και η πίεση είναι μέχρι 2MPa. Το ιξωδόμετρο και μερικά από τα κύρια μέρη του φαίνονται στο σχήμα παρακάτω.



Το προς μελέτη υγρό τοποθετείται στο δοχείο υπό πίεση (1) και στερεώνεται στον μαγνητικό αναδευτήρα (15). Η πίεση εφαρμόζεται στο σωλήνα (3) σε τιμή που ελέγχεται από τη βαλβίδα ελέγχου (11) και παρακολουθείται από το μανόμετρο υδραργύρου (12). Ο τριχοειδής σωλήνας εισάγεται στο θερμοστατικά ελεγχόμενο χιτώνιο (2). Αυτό το χιτώνιο και το πηνίο (5), εισάγονται στο δοχείο, τροφοδοτούνται με νερό θερμοστατικά ελεγχόμενο από το σύστημα ελέγχου(8). Το υγρό ρέει στον τριχοειδή σωλήνα στη θερμοκρασία που υποδεικνύεται από το θερμόμετρο και μετά περνά μέσα από τη βαθμονομημένη πιπέτα (14). Το κουμπί (13) απελευθερώνεται πεπιεσμένος αέρας στη βαθμιαία πιπέτα. Το δοχείο μπορεί να αποστραγγιστεί μέσω του ακροφυσίου (6). Μετρώντας το χρόνο που χρειάστηκε για να γεμίσει η βαθμονομημένη πιπέτα, υπολογίζουμε το ιξώδες του υγρού που αναφέρεται στη θερμοκρασία. Η μέτρηση των ρεολογικών ιδιοτήτων των ελαίων είναι μία δύσκολη εργασία. Η ικανότητα μέτρησης του ιξώδους σε ένα εύρος ρυθμών ροής και ως εκ τούτου ρυθμών διάτμησης, προϋποθέτει ρεομετρικές ικανότητες. Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκε ιξωδόμετρο τριχοειδούς

σωλήνα. Το παλαιωμένο λάδι αρχικά είχε τρέξει σε πραγματικές συνθήκες και στη συνέχεια το ιξώδες του μετρήθηκε χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο ιξωδομέτρου. [18]

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο δοχείο (9) που συνδέεται με τον controller (8) τοποθετούμε νερό. Το δοχείο πρέπει να είναι γεμάτο με νερό και το γέμισμα γίνεται από την πίσω μεριά του μηχανήματος. Στο δοχείο (1) προσθέτουμε το υγρό που θέλουμε να μελετήσουμε. Στην βάση του δοχείου έχουμε το κουμπί (15) για την ρύθμιση του μαγνητικού αναδευτήρα. Στο δοχείο (1) υπάρχει και η υποδοχή για το θερμόμετρο (7). Τοποθετούμε το θερμόμετρο στην υποδοχή και βεβαιωνόμαστε ότι παραμένει σταθερό.

Η διαδικασία για να κάνουμε μια μέτρηση σε ένα λιπαντικό είναι η εξής. Ρυθμίζουμε τον ελεγκτή στην θερμοκρασία που θέλουμε να κάνουμε το πείραμα. Ο controller ξεκινάει να ζεσταίνει το νερό μέχρι να το φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία, και στην συνέχεια το διατηρεί στην θερμοκρασία αυτήν. Παράλληλα το νερό είναι σε κυκλοφορία γύρω από τον τριχοειδή σωλήνα (2), και από το δοχείο (1), (μέσω του σωλήνα (5) που έχει το σχήμα αντίστασης) που έχουμε τοποθετήσει το λιπαντικό. Το νερό δηλαδή, είναι απλά το μέσο που φέρνει το λιπαντικό αλλά και την μετρητική διάταξη στην θερμοκρασία που θέλουμε να εξετάσουμε. Παράλληλα, μπορούμε να βάλουμε τον μαγνητικό αναδευτήρα σε λειτουργία, για να βοηθήσουμε το λιπαντικό να έχει παντού την ίδια θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία που δείχνει το θερμόμετρο (7) που είναι τοποθετημένο στο δοχείο (1), έχει σταθεροποιηθεί, (θα πρέπει να είναι ίδια με την θερμοκρασία που έχουμε ορίσει στον controller), μπορούμε να ξεκινήσουμε τις μετρήσεις.

Οπότε το ιξώδες του λιπαντικού που εξετάζεται δίνεται από την σχέση:

$$\eta = \frac{\Delta p \mu R^4}{q 8 l} \quad \text{όπου} \quad q = \frac{V}{\Delta t}$$

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η αβεβαιότητα μιας μέτρησης είναι ένας δείκτης ποιότητας. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων αναφέρεται στην αμφιβολία που υπάρχει για το αποτέλεσμα οποιασδήποτε μέτρησης. Κάποιος μπορεί να σκεφτεί ότι πρέπει να είναι καλοφτιαγμένοι χάρακες, ρολόγια και θερμόμετρα αξιόπιστα ώστε να δίνουν πάντα τις σωστές απαντήσεις. Αλλά για κάθε μέτρηση - ακόμα και όταν γίνεται πιο προσεκτικά - υπάρχει πάντα αμφιβολία. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο αριθμοί για να ποσοτικοποιηθεί μια αβεβαιότητα. Το ένα είναι το πλάτος του περιθωρίου ή του διαστήματος. Το άλλο είναι ένα επίπεδο εμπιστοσύνης και δηλώνει πόσο σίγουρος είναι κάποιος ότι η «πραγματική αξία» βρίσκεται εντός αυτού του περιθωρίου.

Είναι σημαντικό να μην συγχέουμε τους όρους «σφάλμα» και «αβεβαιότητα». Το σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής και της «αληθινής τιμής» της μέτρησης. Η αβεβαιότητα είναι μια ποσοτικοποίηση της αμφιβολίας για το αποτέλεσμα της μέτρησης. Υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις συσκευές μέτρησης του ιξώδους, με τις διαδικασίες, τις μαθηματικές εκφράσεις, τις μετρήσεις κ.λπ. Σε αυτή την εργασία, το περιγραφόμενο ιξωδόμετρο τριχοειδούς σωλήνα χρησιμοποιήθηκε για μετρήσεις ιξώδους.

Όσον αφορά τη διαδικασία που ακολουθεί η συγκεκριμένη συσκευή, οι παρακάτω παράμετροι είναι απαραίτητοι για την ανάλυση αβεβαιότητας:

- Αβεβαιότητα στη μέτρηση της πίεσης, u_p
- Αβεβαιότητα στη μέτρηση του ρυθμού ροής, u_q
- Αβεβαιότητα στη μέτρηση όγκου, u_v
- Αβεβαιότητα στη μέτρηση του χρόνου, u_t
- Αβεβαιότητα από την ακτίνα του τριχοειδούς σωλήνα, u_r
- Αβεβαιότητα από το μήκος του τριχοειδούς σωλήνα, u_l

Καθώς όλες οι παραπάνω ποσότητες εισόδου είναι ανεξάρτητες, η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα δίνεται από τον τύπο:

$$u^2(\eta) = \sum_{i=1}^n [c_i \cdot u(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2(\eta)$$

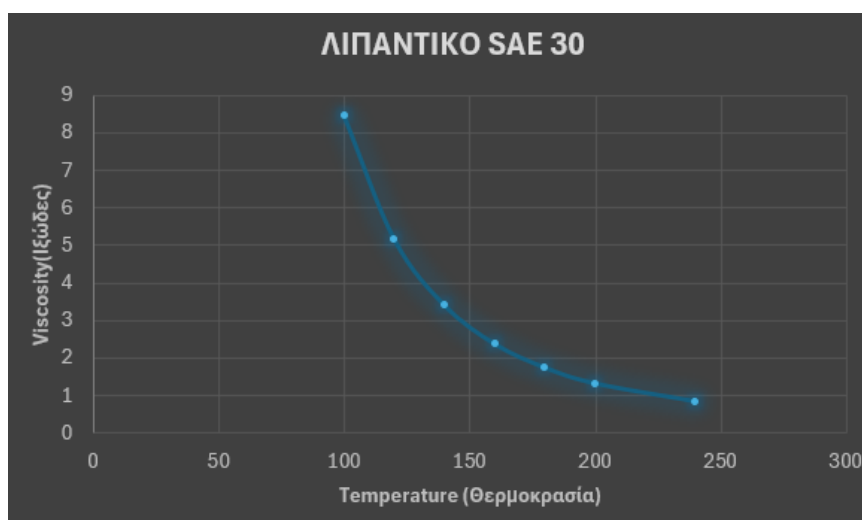
Όπου $c_i = \frac{\delta \eta}{\delta x}$, $u_i(\eta) = |c_i| u_i(x)$ και x_i είναι όλες οι ποσότητες που λάβαμε υπόψη (Δρ, q, r, l). Η τιμή αβεβαιότητας σχετικά με το ιξώδες χρησιμοποιώντας τις τιμές του πίνακα είναι $(\eta) = \pm 0.010304 \text{ Pa s}$ με εμπιστοσύνη 95% για κάθε περίπτωση.

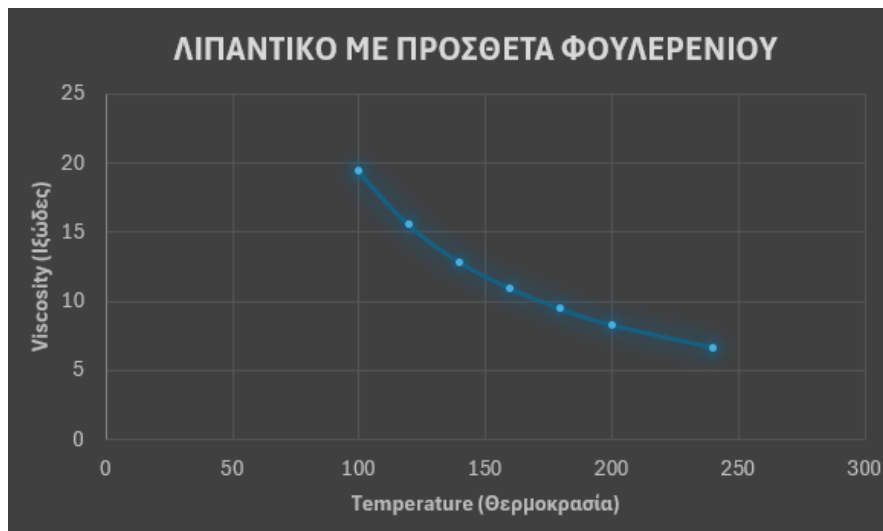
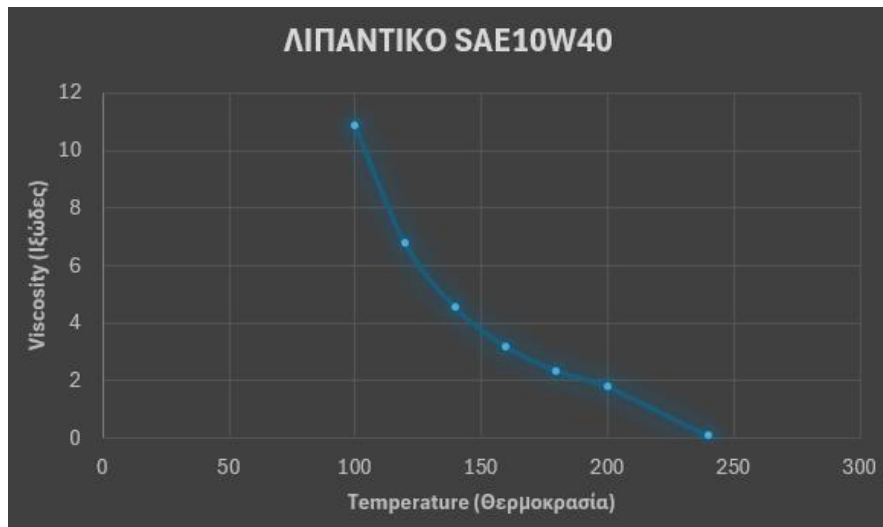
Parameter(xi)	Value(uxi)
Δp	0.5mm
V	0.005mL
T	0.01s
L	0.001 mm
S	0.5 mm

Η διαδικασία της ανάλυσης αβεβαιότητας είναι σημαντική με σκοπό τον υπολογισμό των τιμών ιξώδους μέσω πολλών μετρήσεων, με μεγαλύτερη ακρίβεια. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν από διαπιστευμένη συσκευή σε δωμάτιο ελεγχόμενης θερμοκρασίας και οι ποσότητες αβεβαιότητας αφορούν τα εξαρτήματα της συσκευής. [19]

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Vogel για τα λιπαντικά που αναλύθηκαν και παραπάνω. Οι παράμετροι A, b, θ που χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί η τιμή του ιξώδους για συγκεκριμένες θερμοκρασίες λήφθηκαν από πειραματικές εργασίες πάνω στα συγκεκριμένα λιπαντικά. [20] [21]





Όπως μπορούμε να δούμε τα τρία διαγράμματα έχουν αρκετές διαφορές. Τα δύο πρώτα λιπαντικά αντιμετωπίζουν μία μεγάλη αλλαγή του δυναμικού ιξώδους του με αλλαγή των συνθηκών θερμοκρασίας και πίεσης χρησιμοποιώντας την εξίσωση Vogel. Από την άλλη το διάγραμμα που δίνεται για το λιπαντικό με πρόσθετα φουλερενίου C60 βλέπουμε ότι αυτό το λιπαντικό διατηρεί ιδιότητες σε πολύ υψηλότερο ρυθμό από τους άλλους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σήμερα, η λίπανση αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη πρακτική μεταξύ ενός σημαντικού αριθμού βιομηχανικών τομέων, καθώς συμβάλλει στη μείωση της τριβής και της φθοράς που αναπτύσσεται κατά τη λειτουργία τους. Συγκεκριμένα, η τριβή και η φθορά υποβαθμίζουν τις μηχανικές και λειτουργικές ιδιότητες των μηχανημάτων προκαλώντας την αστοχία τους, καθώς και την παραγωγή θερμικής ενέργειας που οδηγεί σε απώλειες ενέργειας. Επομένως, είναι προφανές ότι ο τύπος του εφαρμοζόμενου λιπαντικού καθώς και οι συνθήκες λίπανσης στις οποίες λειτουργεί το εκάστοτε στοιχείο μηχανής είναι κρίσιμοι παράγοντες που πρέπει να διερευνηθούν και να επανεξεταστούν. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι μεταξύ των διαφόρων τύπων εφαρμοζόμενων λιπαντικών, εκείνα που περιέχουν μια ορισμένη συγκέντρωση νανοσωματιδίων και είναι γνωστά ως νανολιπαντικά αντιπροσωπεύουν σημαντικό επιστημονικό ενδιαφέρον στις μέρες μας.

Τα ορυκτέλαια και τα συνθετικά έλαια έχουν πολλά πλεονεκτήματα αλλά όποτε υπάρχει ανάγκη για ένα λιπαντικό με την καλύτερη απόδοση, δεν μπορούν πλέον κατά την πλειονότητα τους να ανταπεξέλθουν με τις απαιτήσεις. Οι ιδιότητες των συνθετικών και ιδιαίτερα των ορυκτελαίων αντιμετωπίζουν τεράστιες αλλαγές λόγω ανάπτυξης ή μείωσης της θερμοκρασίας και της πίεσης. Αντίθετα, λιπαντικά με τα νανοσωματίδια διατηρούν τις ιδιότητές τους σε πολύ υψηλότερο επίπεδο.

- [1] Rakesh Narayana Sarma, Ravikrishnan Vinu, Current Status and Future Prospects of Biolubricants: Properties and Applications, *Lubricants* 2022, 10(4), 70; <https://doi.org/10.3390/lubricants10040070>
- [2] Ichiro Minami, *Molecular Science of Lubricant Additives*, 28 April 2017
- [3] Yeoh Jun Jie Jason, HeoyGeok How, Yew Heng Teoh, and Hun Guan Chuah, A Study on the Tribological Performance of Nanolubricants, 29 October 2020
- [4] Nehal S. Ahmed and Amal M. Nassar, *Tribology - Fundamentals and Advancements*, 22 May 2013 <https://www.intechopen.com/chapters/44826>
- [5] W.R. Murphy, D.A. Blain, A.S. Galiano-Roth, SYNTHETICS BASICS Benefits of Synthetic Lubricants in Industrial Applications, <https://doi.org/10.1002/jsl.3000180406>
- [6] Tribology - Fundamentals and Advancements <https://www.intechopen.com/chapters/44826>
- [7] Emmanuel O. Aluyor and Mudiakeoghene Ori-jesu, Biodegradation of mineral oils – A review, 20 March, 2009
- [8] Narayana Sarma, R.; Vinu, R. Current Status and Future Prospects of Biolubricants: Properties and Applications. *Lubricants* 2022, 10,70. <https://doi.org/10.3390/lubricants10040070>
- [9] Ryszard Daniel, Tim Paulus, in *Lock Gates and Other Closures in Hydraulic Projects*, 2019
- [10] Juan Antonio Cecilia, Daniel Ballesteros Plata, Rosana Maria Alves Saboya, Francisco Murilo Tavares de Luna, Celio L. Cavalcante Jr. and Enrique Rodríguez-Castellón, An Overview of the Biolubricant Production Process: Challenges and Future Perspectives, 25 February 2020
- [11] Gulzar, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Varman, M., Zulkifli, N. W., Mufti, R. A., & Zahid, R. (2016). Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(8).
- [12] Uflyand, I., Zhinzilo, V., & Burlakova, V. (2019). Metal-containing nanomaterials as lubricant additives: State-of-the-art and future development. *Friction*, 7(2), 93–116.
- [13] Boris Zhmud, and Bogdan Pasalskiy, Nanomaterials in Lubricants: An Industrial Perspective on Current Research, *Lubricants* 2013, 1, 95-101; <https://doi.org/10.3390/lubricants1040095>
- [14] Madhura Mohan Gokhale and Rakesh Ravindra Somani, Fullerenes: Chemistry and its Applications, *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 2015, 12, 000-000
- [15] Bon-Cheol Ku, Young-Chul Han, Jung-Eun Lee, Jae Keun Lee Sang-Ho Park and Yu-Jin Hwang, Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity

- [16] J. CORNELISSEN and H. I. WATERMAN, Laboratory of Chemical Engineering, Delft Technological University, Holland, The viscosity temperature relationship of liquids
- [17] ARTHUR K. DOOLITTLE, Studies in Newtonian Flow. I. The Dependence of the Viscosity of Liquids on Temperature
- [18] Pantelis G. Nikolakopoulos and Dimitrios A. Bompas, Experimental Measurements of Journal Bearing Friction Using Mineral, Synthetic, and Bio-Based Lubricants, *Lubricants* 2015, 3, 155-163; <https://doi.org/10.3390/lubricants3020155>
- [19] Viscosity measurement of C60 fullerene and its comparison with mineral and synthetic oils, Tsakiridis Elias
- [20] Anastasios Zavos, Konstantinos P. Katsaros and Pantelis G. Nikolakopoulos, Optimum Selection of Coated Piston Rings and Thrust Bearings in Mixed Lubrication for Different Lubricants Using Machine Learning
- [21] Nader Dolatabadi, Ramin Rahmani, Homer Rahnejat, Colin P. Garner and Charles Brunton, Performance of Poly Alpha Olefin Nanolubricant