

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΜΠΕΣΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΨΥΧΟΓΥΙΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: 1) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ
2) ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη θεωρητική μελέτη και ανάλυση υδραυλικών ρευστών

Ευχαριστούμε θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μας κ. Κων/νο Μαυρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας και κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Συνεργάτη Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής αυτής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στη θεωρητική μελέτη και ανάλυση των υδραυλικών ρευστών η οποία αναλύεται σε 18 Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται βασικές αρχές και συστήματα της υδραυλικής.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναφέρονται τα είδη των υδραυλικών μέσων καθώς επίσης και το ιδανικό υδραυλικό μέσο

Στο τρίτο Κεφάλαιο περιγράφονται τα ορυκτέλαια η σύνθεση και η χημική τους φύση.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο αναφέρονται διάφοροι εστέρες και υδρογονάνθρακες που είναι συστατικά των συνθετικών ελαίων

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο ιξώδες και στις ιδιότητες του.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στην συμπιεστικότητα και στον συντελεστή όγκου. Στο έβδομο και στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην φθορά, στην λίπανση και στη οξειδωτική σταθερότητα

Το ένατο κεφάλαιο αναφέρεται στην προσβολή της υγρασίας στα υδραυλικά ρευστά και στο φαινόμενο του γαλακτώματος και στον τρόπο αντιμετώπισής του.

Το δέκατο κεφάλαιο αναφέρεται σε στρατιωτικές και αεροναυπηγικές εγκαταστάσεις που βρίσκουν ισχύ τα υδραυλικά ρευστά.

Το ενδέκατο κεφάλαιο μας εξηγεί τους τρόπους και τα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου ρευστού με βάση τις ιδιότητες του και τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιούνται.

Το δωδέκατο κεφάλαιο αναφέρεται στη επιμόλυνση

Το δέκατο τρίτο και δέκατο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται στην φθορά ,στην συντήρηση και στην ανάλυση που πραγματοποιείται σε χρησιμοποιημένα έλαια.

Το δέκατο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται σε ορισμένα υδραυλικά ρευστά με αυξημένη αντοχή στην φωτιά.

Το δέκατο έκτο κεφάλαιο αναφέρεται σε ρευστά υδραυλικών φρένων των οχημάτων(συστήματα πέδησης).

Και τα τελευταία δύο κεφάλαια αναφέρουν για την υγεία σε περίπτωση κατάποσης και επαφής με τα μάτια και το δέρμα καθώς και τις επιπτώσεις που υπάρχουν στο περιβάλλον όταν δεν υπάρχει σωστή διαχείριση των χρησιμοποιημένων ελαίων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.1.1 Υδροστατικά συστήματα	9
1.1.2 Υδροδυναμικά συστήματα	10
1.2 Βασικές αρχές της υδραυλικής	11
1.2.1 Μετάδοση πίεσης	13
1.2.2 Ρευστά σε κίνηση	14
1.3 Ενεργειακές εκτιμήσεις	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΕΙΔΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ	18
2.1 Ιστορικά	18
2.2 Το ιδανικό υδραυλικό μέσο	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ	26
3.1 Σύνθεση των ορυκτελαίων	26
3.2 Χημική φύση	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ	32
4.1 Είδη συνθετικών ελαίων	33
4.2 Συνθετικοί υδρογονάνθρακες	34
4.3 Πολυαιθέρες	36
4.4 Οργανικοί εστέρες	38
4.5 Φωσφορικοί εστέρες	40
4.6 Σιλικάνες	41

4.7 Φθοροαιθέρες	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΡΕΟΛΟΓΙΑ	46
5.1 Ιξώδες	46
5.2 Ιδιότητες ροής σε χαμηλή θερμοκρασία	53
5.3 Εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία	55
5.4 Διατμητική σταθερότητα	56
5.5 Εξάρτηση του ιξώδους από την πίεση	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο:ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ	61
6.1 Διατέμνων συντελεστής όγκου	63
6.2 Εφαπτόμενος συντελεστής όγκου	64
6.3 Η επίδραση αέρα στον συντελεστή όγκου	66
6.4 Ρευστά με χαμηλό συντελεστή όγκου	67
6.5 Πυκνότητα	68
6.6 Θερμικές ιδιότητες	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο:ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο:ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο:ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΓΑΛΑΚΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	87
9.1 Προστασία ενάντια στη διάβρωση	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο:ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΓΙΑ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	93
10.1 Αεροσκάφος και αεροδιαστημική	93
10.2 Οχήματα μάχης και πυροβόλα	99
10.3 Πολεμικά πλοία	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο:ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ	101
11.1 Φυσικό-χημικές ιδιότητες	103
11.2 Μηχανική δοκιμή	111

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12°:ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ	116
12.1 Ποιες προσμείξεις εμπλέκονται;	116
12.2 Από πού προέρχονται οι προσμείξεις;	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13°:ΦΘΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	123
13.1 Έκπλυση	128
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14°:ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΕΛΑΙΟΥ	130
14.1 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των τεστ	131
14.2 Παρακολούθηση της κατάστασης και μεταβολή του λαδιού	133
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15°:ΡΕΥΣΤΑ ΜΕ ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ	135
15.1 Μετατροπή των υπάρχοντων συστημάτων σε ρευστά με αντοχή στη φωτιά	140
15.2 Συντήρηση των ανθεκτικών στη φωτιά ρευστών	142
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16°:ΡΕΥΣΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΦΡΕΝΩΝ	145
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17°:ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ	152
17.1 Κατάποση	153
17.2 Επαφή με το δέρμα	153
17.3 Επαφή με τα μάτια	154
17.4 Εισπνοή	154
17.5 Δελτίο δεδομένων ασφάλειας υλικών	154
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18°:ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	155
18.1 Τι είναι βιοδιάσπασιμότητα;	155
18.2 Καθορισμός της βιοδιασπασιμότητας	156
18.3 Βιοδιασπώμενα υδραυλικά μέσα	157
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	160

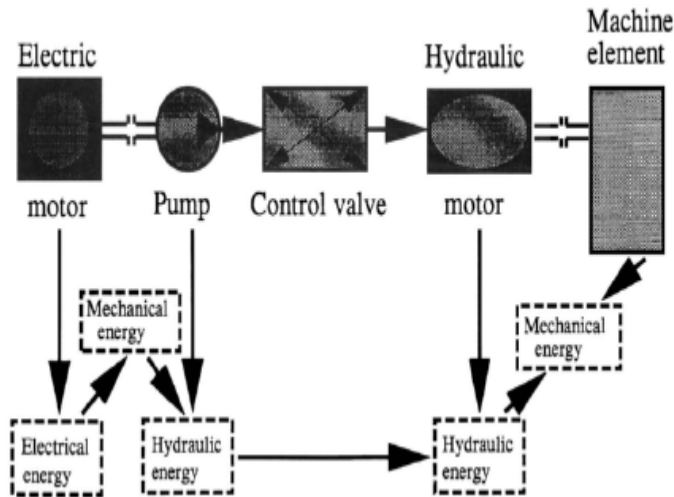
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1 Εισαγωγή

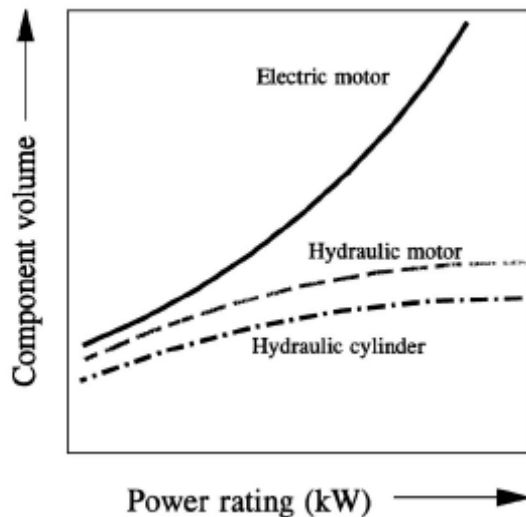
Η λέξη «υδραυλικός» προέρχεται από την ελληνική λέξη «ύδωρ» (νερό) και «αυλός» (αγωγός, σωλήνας). Ο όρος «υδραυλική» χρησιμοποιείται σήμερα για να περιγράψει τη μετάδοση και τον έλεγχο δυνάμεων και κίνησης μέσω ενός λειτουργικού ρευστού. Η σχετική θεωρία της Ρευστομηχανικής αφορά στη μελέτη ρευστών σε κατάσταση ηρεμίας (Υδροστατική), ή σε κίνηση σε σχέση με περιορισμένες επιφάνειες ή σώματα (Υδροδυναμική). Μετάδοση υδραυλικής δύναμης είναι η τεχνική μεταφοράς ενέργειας με κάποιο ρευστό μέσο. Τα ρευστά, τα οποία χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό ορίζονται ως *υδραυλικά ρευστά*.

Η χρήση της υδραυλικής εξαπλώνεται, και η κατανάλωση υδραυλικών ρευστών αποτελεί στις μέρες μας ένα πολύ σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ραφινρισμένων ορυκτέλαιων, κατά προσέγγιση 1 εκατομμύριο τόνοι κατ' έτος ή περίπου 10%. Τα ορυκτά προϊόντα ελαϊκής βάσης αντιπροσωπεύουν πάνω από το 90% όλων των υδραυλικών μέσων. Τα υπόλοιπα είναι διάφορα υδατικής βάσης υγρά και συνθετικά έλαια. Προς το παρόν ο κύριος όγκος αυτών των προϊόντων χρησιμοποιούνται φυσικά εντός των βιομηχανικών χωρών, όμως η ζήτηση για υδραυλικά ρευστά αυξάνεται ραγδαία στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου υπάρχουν μεγάλες μελλοντικές πιθανές απαιτήσεις.

Τα υδραυλικά ρευστά έχουν αμέτρητες εφαρμογές και στην στατική βιομηχανία, αλλά και σε κινητά συστήματα εξωτερικών χώρων (εξοπλισμός μεταφορών, εκσκαφείς, μπουλντόζες, κλπ). Περίπου 70-80% του συνολικού όγκου των υδραυλικών ρευστών χρησιμοποιείται σε στατικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Μια ορισμένη ποσότητα του εναπομένου όγκου πρέπει να πληρεί τις ιδιαίτερα κρίσιμες ποιοτικές απαιτήσεις των εξειδικευμένων κινητών συστημάτων στις αεροδιαστημικές και τις στρατιωτικές εφαρμογές.



Εικ. 1.1 Μετατροπή ενέργειας σε ένα υδροστατικό σύστημα.



Εικ. 1.2 Σχετικό μέγεθος των συστατικών

Η βασική αρχή για τη μεταφορά υδραυλικής ενέργειας απεικονίζεται στην εικόνα 1.1, όπου η είσοδος ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας μετατρέπεται σε υδραυλική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται πάλι σε μηχανική ενέργεια για την έξοδο από το σύστημα.

Η μεταφορά ενέργειας πραγματοποιείται μέσω μονάδων μετατροπής ενέργειας δυναμένων να μετατρέψουν μηχανική και υδραυλική ενέργεια κατά την είσοδο και έξοδο από την εγκατάσταση. Εντός του υδραυλικού κυκλώματος κυκλοφορεί ένα λειτουργικό ρευστό, μεταφέροντας ενέργεια μεταξύ των μονάδων εισόδου και εξόδου.

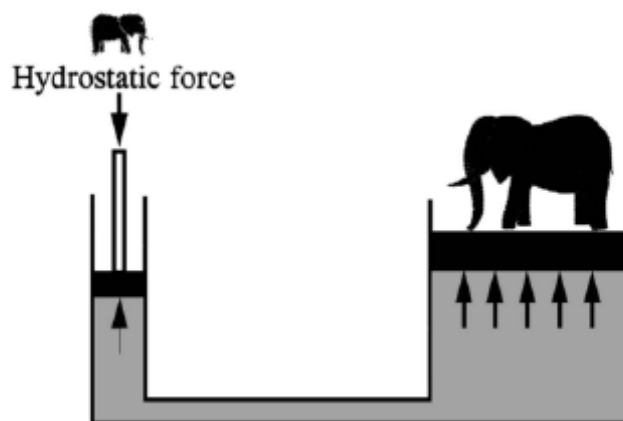
Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων μετάδοσης είναι οι σχετικά μέτριες διαστάσεις των μονάδων μετατροπής ενέργειας (υδραυλικές αντλίες και κινητήρες) συγκριτικά με μετατροπείς ενέργειας σε άλλους τομείς (εικόνα 1.2).

Η μετάδοση ενέργειας μεταξύ ρευστού και μονάδας μετατροπής μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις Αρχές της *Υδροστατικής* και της *Υδροκινητικής* (Εικ. 1.3 και 1.4).

1.1.1. Υδροστατικά Συστήματα

Η μετάδοση ενέργειας σε ένα υδροστατικό σύστημα πραγματοποιείται μέσω πίεσης του υδραυλικού ρευστού, έχοντας ως κύρια συστατικά τα εξής:

- την *υδραυλική αντλία*, για να δημιουργεί την απαιτούμενη πίεση λειτουργίας,
- τους *αγωγούς και εύκαμπτους σωλήνες*, οι οποίοι μεταφέρουν τη ροή του ρευστού μεταξύ των συστατικών,
- *βαλβίδες* διαφόρων τύπων, οι οποίες ελέγχουν την κατεύθυνση της ροής, την πίεση και τον όγκο,
- *κυλίνδρους* («γραμμικοί κινητήρες»), οι οποίοι μετατρέπουν την πίεση του ρευστού σε γραμμική μηχανική εργασία, π.χ σε υδραυλική πίεση ή να λειτουργήσουν τα πτερύγια υπεραντωτικής διάταξης σε αεροσκάφη,
- *υδραυλικούς κινητήρες*, οι οποίοι μετατρέπουν την πίεση του ρευστού σε περιστροφική μηχανική λειτουργία, π.χ. για τους κινητήριους τροχούς δασοκομικών μηχανημάτων ή θαλάσσιων βαρούλκων.



Εικ. 1.3 Ένα υδροστατικό σύστημα.

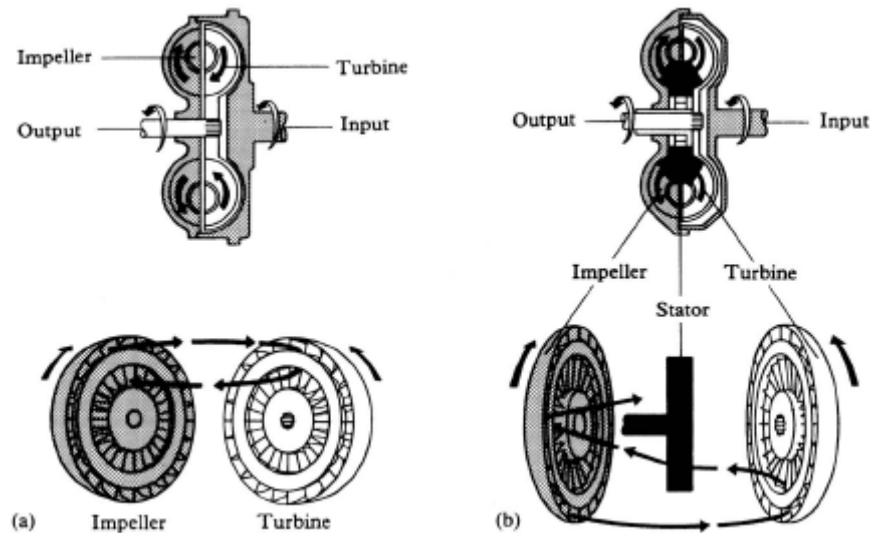
1.1.2 Υδροδυναμικά Συστήματα

Ένα υδροδυναμικό σύστημα αποτελείται κατ' αρχήν από μία φυγοκεντρική αντλία («περωτή»), η οποία επιταχύνει το ρευστό μετάδοσης προς τα κυρτά πτερύγια ενός στροφέα στροβίλων (τροχού). Στην απλή σύζευξη ρευστού, η κινητική ενέργεια μεταφέρεται από το κυκλοφορούν ρευστό και μετατρέπεται σε περιστροφική δύναμη, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1.4α.

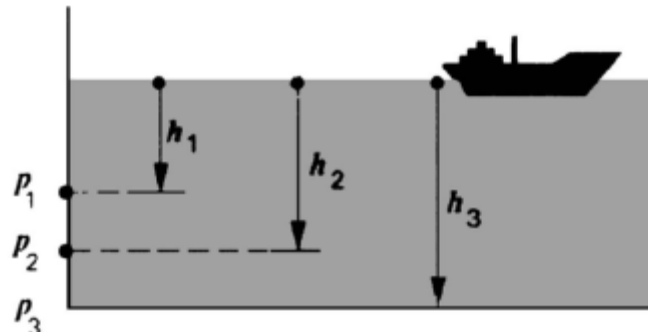
Οι μετατροπείς ροπής λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο. Παρόλ' αυτά, σε αυτή την περίπτωση παρεμβάλλεται ένας ελευθέρως περιστρεφόμενος στάτορας μεταξύ της περωτής και της τουρμπίνας – ο στάτορας είναι ένας τροχός με περωτές. Όταν η κατευθυνόμενη περωτή περιστρέφεται, το ρευστό μετάδοσης κυκλοφορεί από τα πτερύγιά της προς τα πτερύγια της τουρμπίνας, περνώντας έξω από τον στάτορα. Στην επιστροφή, από την τουρμπίνα προς την περωτή, περνάει δια μέσω του στάτορα. Με αυτό τον τρόπο τα πτερύγια του στάτορα επιταχύνουν το ρευστό μετάδοσης με αυξανόμενη ενέργεια μέσω της περωτής πίσω προς την τουρμπίνα. Η αύξηση της ενέργειας ή η ροπή εξόδου είναι μεγαλύτερη όταν η περωτή περιστρέφεται στη μέγιστη ταχύτητα και η τουρμπίνα είναι σταθερή. Η εικόνα 1.4β απεικονίζει την Αρχή του μετατροπέα ροπής.

Τα υδροστατικά συστήματα αποτελούν την πιο ευρέως εφαρμοσμένη μορφή της υδραυλικής σήμερα, έχοντας ως πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές τις υδραυλικές πρέσες, τις εργαλειομηχανές, τα μηχανήματα χωματουργικών εργασιών, τους υδραυλικούς γρύλους και τα συστήματα πέδησης.

Τα υδροδυναμικά συστήματα χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη ρευστή σύζευξη και τα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων στα επαγγελματικά αυτοκίνητα, τα γεωργικά μηχανήματα και τα επιβατικά αυτοκίνητα.



Εικ. 1.4 (α) Σύζευξη ρευστού (μετάδοσης ενέργειας μέσω κινητικής ενέργειας). (β) Η Αρχή του μετατροπέα ροπής.



Εικ. 1.5 Υδροστατική πίεση.

1.2 Βασικές Αρχές της Υδραυλικής

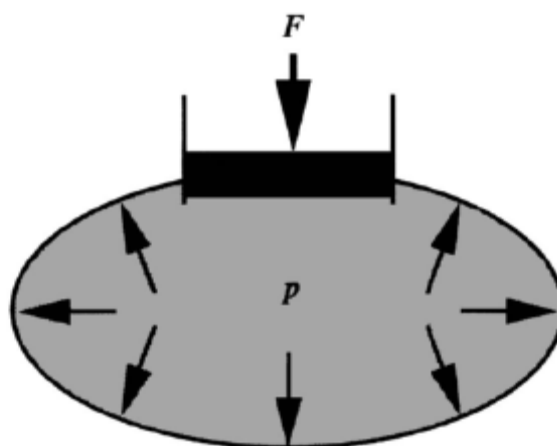
Σε μια ανοικτή επιφάνεια νερού, π.χ. σε μια λίμνη, η στατική πίεση σε οποιοδήποτε σημείο κάτω από την επιφάνεια είναι ανάλογη με το βάθος και την πυκνότητα του νερού : $p = h\rho g$ (ανατρέξτε στην εικόνα 1.5). Σε βάθος 10 μέτρων μέσα στο νερό, η προκύπτουσα πίεση είναι κατά προσέγγιση 1 bar (100 kPa), ενώ στα μεγαλύτερα βάθη του δυτικού Ειρηνικού Ωκεανού, καταγράφονται πιέσεις της τάξεως των 1140 bar (114 MPa).

Ήδη από την εποχή της Αρχαίας Αιγύπτου και της Αρχαίας Ρώμης, χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι θεμελιώδεις νόμοι αναφορικά με τη συμπεριφορά ροής και ισορροπίας των υγρών για την κατασκευή απλών υδραυλικών τροχών, συστημάτων άρδευσης και ύδρευσης. Ωστόσο, δεν ήταν πριν από τον 17ο αιώνα, όταν ο Μπλεζ Πασκάλ έθεσε τα θεμέλια για την περαιτέρω ανάπτυξη της υδραυλικής θεωρίας με την ιστορική του παρατήρηση:

Η πίεση σε οποιοδήποτε σημείο μέσα σε ένα στατικό υγρό είναι ίδια σε όλες κατευθύνσεις, και η πίεση που ασκείται σε εσωκλειόμενο υγρό μεταδίδεται αμείωτη προς κάθε κατεύθυνση, ενεργώντας με την ίδια ισχύ σε ίδιες περιοχές. (Νόμος Πασκαλ).

Η κατάσταση αυτή φαίνεται στην εικόνα 1.6, όπου μια δύναμη F επιδρά πάνω σε ένα περιορισμένο όγκο ρευστού με τη βοήθεια ενός εμβόλου στη διατομή A . Η επακόλουθη πίεση διανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το ρευστό και είναι ισοδύναμη με τη μονάδα φόρτωσης στο έμβολο, δηλαδή F/A . Εδώ αγνοούμε το πραγματικό βάρος του ρευστού, το οποίο κανονικά είναι άνευ σημασίας από άποψη πίεσης σε ένα υδροστατικό σύστημα (ένα μανομετρικό ύψος νερού 10 μέτρων, για παράδειγμα, είναι απλώς ισοδύναμο με πίεση 1 bar).

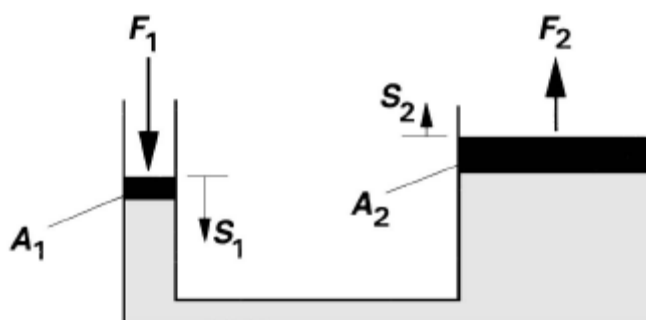
Η θεμελιώδης Αρχή για μετάδοση ενέργειας σε ένα υδροστατικό σύστημα απεικονίζεται στο σχήμα 1.7.



$$p \text{ (bar)} = \frac{F \text{ (newton)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} ; \text{ and } 1 \text{ bar} = 9.81 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Εικ. 1.6 Ίση διανομή πίεσης μέσα σε ένα εσωκλειόμενο ρευστό.

Η πίεση που αναπτύσσεται στο ρευστό με τη δύναμη F_1 είναι F_1/A_1 , και αυτή η πίεση μεταδίδεται αμετάβλητη (δηλαδή χωρίς απώλεια πίεσης) προς το έμβολο της επιφάνειας A_2 . Η διαβιβασθείσα δύναμη F_2 είναι επομένως ίδια με τη δύναμη F_1 (A_2/A_1) και μπορεί να ανυψώσει ένα παρόμοιο φορτίο ή να εκτελέσει μια ισοδύναμη ποσότητα άλλης μηχανικής εργασίας.



$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{S_1}{S_2}$$

Εικ. 1.7 Μετάδοση ενέργειας σε ένα υδροστατικό σύστημα.

Υποθέτοντας ότι αυτή η δύναμη είναι αρκετά υψηλή για την εκτέλεση της συγκεκριμένης εργασίας, τότε η γραμμική κίνηση των δύο εμβόλων είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τις επιφάνειες διατομής:

$$S_1/S_2 = A_2/A_1$$

Η ογκομετρική μετατόπιση του υδραυλικού μέσου είναι κατά συνέπεια ο καθοριστικός παράγοντας για την απόσταση που διανύεται από τα επιμέρους έμβολα.

1.2.1 Μετάδοση πίεσης

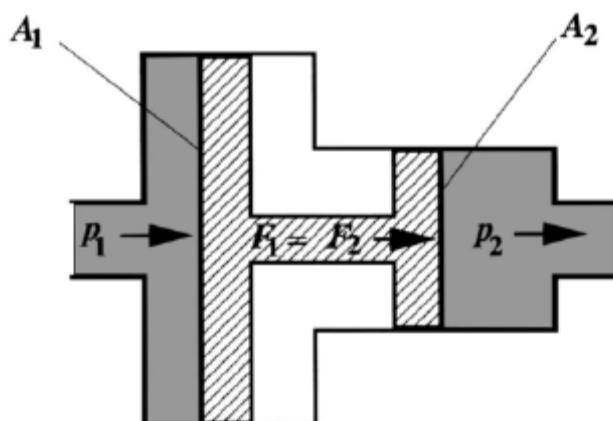
Ενώνοντας σταθερά δύο έμβολα από διαφορετικές περιοχές διατομής, η πίεση που αναπτύσσεται σε ένα παρακείμενο υδραυλικό κύκλωμα μπορεί εύκολα να αυξηθεί ή μειωθεί (εικόνα 1.8).

Στην εικόνα αυτή, η πίεση P_1 ενεργεί στην περιοχή A_1 , με συνέπεια τη δύναμη F_1 . Επειδή τα έμβολα είναι σταθερά ενωμένα μαζί, η επακόλουθη δύναμη F_1 μεταφέρεται αμετάβλητη στο μικρότερο έμβολο της περιοχής διατομής A_2 , δηλαδή

$$F_1 = F_2$$

Και

$$P_1 A_1 = P_2 A_2$$



Εικ. 1.8 Αρχή της μετάδοσης πίεσης.

ή

$$P_1 / P_2 = A_2 / A_1$$

Με αυτή την απλή ρύθμιση, μπορούν να επιτευχθούν εξαιρετικά μεγάλες μεταβολές πίεσης.

Παράδειγμα

	Έμβολο #1	Έμβολο #2
Διάμετρος (mm)	60	15
Επιφάνεια (mm ²)	2828	177
Πίεση (bar)	3	48

1.2.2 Ρευστά σε κίνηση

Η υδροδυναμική περιλαμβάνει τη μηχανική της κίνησης των ρευστών. Όταν ένα ρευστό ρέει μέσω ενός σωλήνα ποικίλης διαμέτρου, οι αντίστοιχοι όγκοι ρευστού που διέρχονται από τα διάφορα τμήματα ανά μονάδα χρόνου είναι ίδιοι (εικόνα 1.9).

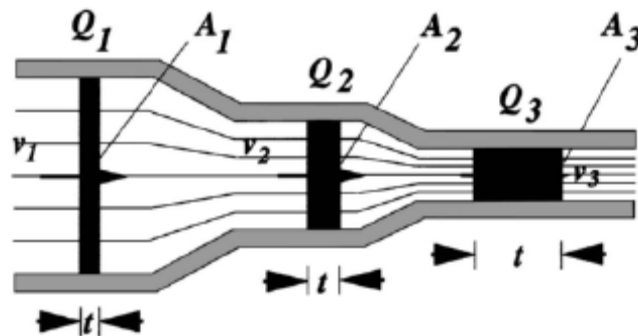
Q = όγκος ρευστού που ρέει από τη διατομή A σε χρόνο t . Ως εκ τούτου, η ταχύτητα της ροής του ρευστού είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διατομή του σωλήνα.

$$Q_1 = A_1 v_1; Q_2 = A_2 v_2; Q_3 = A_3 v_3;$$

όμως $Q_1 = Q_2 = Q_3$ και γι αυτό

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3,$$

Το οποίο είναι γνωστό ως *εξίσωση συνέχειας*.



(Q = όγκος ρευστού που ρέει από τη διατομή A σε χρόνο t)

Εικ. 1.9 Μεταβολή ταχύτητας ροής

1.3 Ενεργειακές εκτιμήσεις

Ο νόμος Bernoulli δηλώνει ότι η συνολική ενέργεια ενός ρέοντος, χωρίς τριβή ρευστού, παραμένει αμετάβλητη εφόσον δεν πραγματοποιείται κανένα έργο από ή στο ρευστό. Με άλλα λόγια, το σύνολο της πίεσης και της κινητικής ενέργειας παραμένει σταθερό, με τυχόν αύξηση της ταχύτητας να αντισταθμίζεται από αντίστοιχη μείωση της πίεσης.

Η ολική περιεκτικότητα σε ενέργεια (W) ενός εν κινήσει ρευστού αποτελείται από:

(α) *δυναμική ενέργεια*, η οποία σχετίζεται με το μανομετρικό ύψος του ρευστού,

(β) *ενέργεια πίεσης*, η οποία ισοδυναμεί με την υδροστατική πίεση,

(γ) *κινητική ενέργεια*, η οποία σχετίζεται με την ταχύτητα του ρευστού.

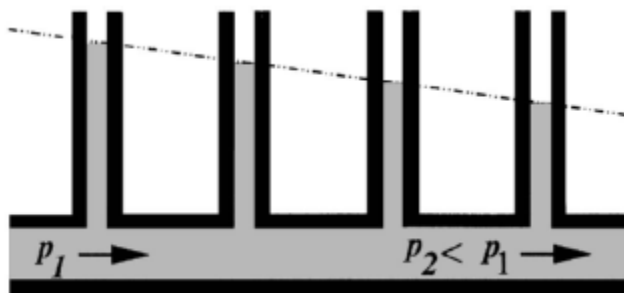
Έτσι:

$$W_{ολική} = P_{μανομετρικού \ ύψους} + P_{στατική} + E_{κινητική}$$

Από τις διάφορες προαναφερθείσες σχέσεις, μπορούν να συναχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Αυξημένη ταχύτητα ροής, η οποία οφείλεται σε μικρότερη διάμετρο σωλήνα έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη κινητική ενέργεια.
- Καθώς το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας του ρευστού παραμένει αμετάβλητο, η δυναμική του ενέργεια, η ενέργεια πίεσης ή και τα δύο πρέπει να μεταβάλλονται όταν μειώνεται η διάμετρος του σωλήνα.
- Στα υδροστατικά συστήματα η ενέργεια πίεσης αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα δεδομένου ότι το μανομετρικό ύψος του ρευστού και η ταχύτητα είναι σχετικά μέτριες.

Απώλεια ενέργειας από την τριβή. Όταν ένα ρευστό ρέει, εμφανίζεται ένας ορισμένος βαθμός τριβής ανάμεσα στα μόρια του ρευστού και όλες τις επιφάνειες με τις οποίες έρχεται σε επαφή. Κατά συνέπεια, μέρος της κινητικής ενέργειας του ρευστού μετατρέπεται σε θερμότητα, με αποτέλεσμα μια αντίστοιχη απώλεια πίεσης (εικόνα 1.10).



Εικ. 1.10 Πτώση της πίεσης λόγω απώλειας από την τριβή.

Οι απώλειες της τριβής αυξάνονται σημαντικά όταν αλλάζει η μορφή της ροής από στρωτή (στρωτή ή φυλλώδης ροή) σε τυρβώδη ροή (εικόνες 1.11α και 1.11β).

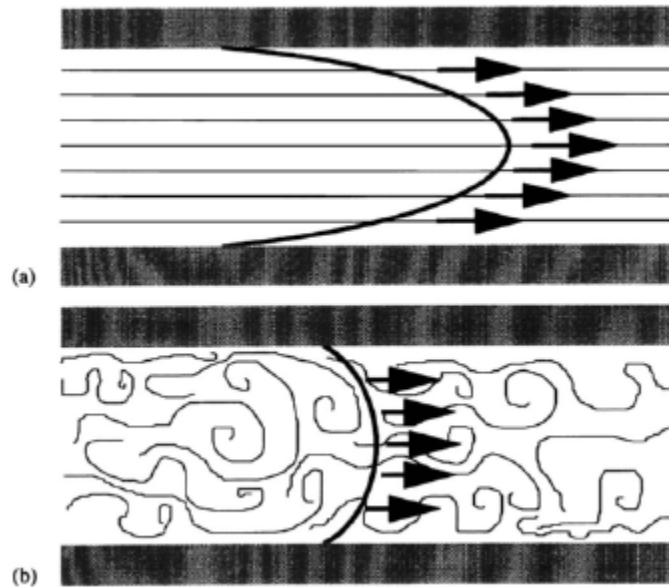
Το ομαλό, στρωτό σχέδιο ροής (εικόνα 1.11α) μετατρέπεται σε απείθαρχο τυρβώδη τύπο όταν ο συνδυασμός πολλών παραμέτρων, π.χ.

ιξώδες, ταχύτητα ροής, διάμετρος σωλήνα και τραχύτητα επιφάνειας των τοιχωμάτων του σωλήνα, υπερβαίνουν μια ορισμένη οριακή τιμή. Για λόγους σχεδίου είναι συνήθως πρακτική να χρησιμοποιείται ο αδιάστατος αριθμός Reynolds (Re) ως κριτήριο για να αξιολογηθεί κατά πόσο μια ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης:

$$Re = uD/\nu$$

όπου u = ταχύτητα ροής, D = διάμετρος σωλήνα (mm), ν = κινηματικό ιξώδες (mm^2/s).

Η στρωτή ροή σε φυσιολογικές, στρογγυλές, τεχνικά ομαλές σωληνώσεις είναι συνήθως σταθερή μέχρι την αξία Reynolds της τάξεως $Re \leq 1200$. Η τυρβώδης ροή (εικόνα 1.11β) με αυξανόμενες απώλειες τριβής θα αρχίσει κανονικά στα $Re = 2300$ (βλέπε επίσης τα νομογραφήματα για απώλεια πίεσης στις μάνικες και τους σωλήνες στα Προσαρτήματα 1 και 2).



Εικ. 1.11 (α) Στρωτή ροή. (β) Τυρβώδης ροή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΙΔΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

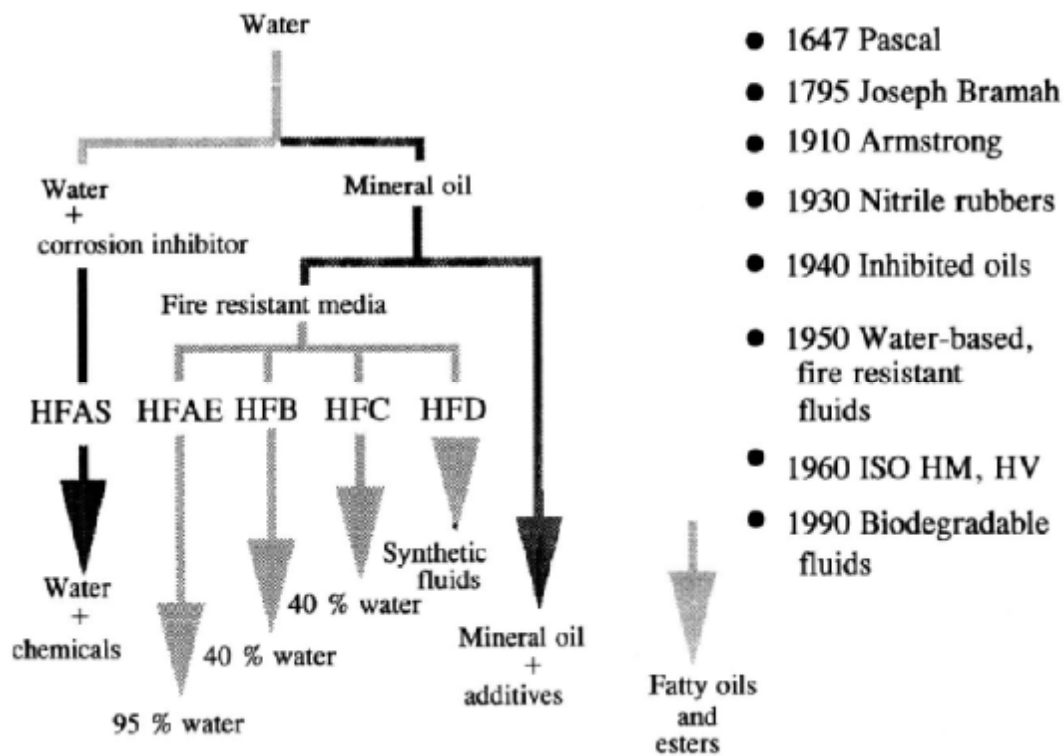
2.1 Ιστορικά

Στην αρχή υπήρχε το νερό..... Έτσι ήταν επίσης κατά την έναρξη της υδραυλικής εποχής (εικόνα 2.1), και ήταν φυσικό για τον Joseph Bramah να χρησιμοποιήσει το νερό ως υδραυλικό μέσο για τον ιστορικό Τύπο του το έτος 1795.

Το νερό επίσης χρησιμοποιήθηκε ως υδραυλικό μέσο στο περίφημο υπόγειο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο εξυπηρέτησε μια σειρά από εργοστάσια του Λονδίνου προς τα τέλη του 19ου αιώνα, και δεν ήταν μέχρι το 1910 όταν οι ανώτερες ιδιότητες λίπανσης των ορυκτελαίων απαιτήθηκαν για τα σχέδια της νέας αντλίας των Armstrong, Williams και James. Παρ' όλα αυτά, ήταν η ανάπτυξη ενός ανθεκτικού στο λάδι, συνθετικού ελαστομερούς (καουτσούκ νιτριλίου) κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930, που τελικά επέτρεψε την κατασκευή αξιόπιστων υδραυλικών συστημάτων, πλήρως ανταγωνιστικών με τις ηλεκτρικές και μηχανικές μεταδόσεις.

Η συνέχιση των προσπαθειών για να επιτευχθεί βελτίωση της αποτελεσματικότητας, οδήγησε σε σχέδια που ενσωματώνουν υψηλότερες πιέσεις λειτουργίας, αλλά επίσης και υψηλότερες θερμοκρασίες συστήματος. Συνεπώς, αναπτύχθηκε μια απαίτηση για τα ρευστά υψηλότερης ποιότητας, δηλαδή ότι τα ορυκτέλαια εμφανίζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε εκείνα τα καινούρια συστήματα και παρέχουν καλύτερη προστασία για τα υδραυλικά εξαρτήματα κάτω από σκληρές συνθήκες λειτουργίας. Έτσι το 1940 παρουσιάστηκαν τα πρώτα αντιοξειδωτικά έλαια, τα οποία περιέχουν πρόσθετα που αποτρέπουν την οξείδωση.

Τα εγγενή πλεονεκτήματα του υδραυλικού εξοπλισμού γρήγορα εκτιμήθηκαν από τις βιομηχανίες εξόρυξης και μεταλλουργίας, και η εισαγωγή υδραυλικών μονάδων προχώρησε με αυξανόμενη ορμή. Αυτά τα ιδιαίτερα περιβάλλοντα, ωστόσο,



Εικ. 2.1 Η εξέλιξη των υδραυλικών μέσων

έθεσαν εξαιρετικά αυστηρούς περιορισμούς αναφορικά με την αντίσταση στη φωτιά, και αμέσως η προσοχή στράφηκε προς τους προφανείς κινδύνους που συνδέονται με τα ορυκτέλαια σε υψηλές πιέσεις λειτουργίας. Αυτό οδήγησε σε εκτεταμένη έρευνα, με αποκορύφωμα την ανάπτυξη λιγότερο εύφλεκτων υδραυλικών μέσων, βασισμένων σε ποικιλία εναλλακτικών υλικών.

Τα νέα υδραυλικά εξαρτήματα στη συνέχεια απαίτησαν ρευστά που διαθέτουν σημαντικά καλύτερες ιδιότητες ενάντια στη φθορά και τα πρώτα προϊόντα αυτού του τύπου (ISO τύπου HM) εμφανίστηκαν γύρω στο 1960, ακολουθούμενα από παρόμοια προϊόντα με πιο ευνοϊκές ιδιότητες ροής (ISO τύπου HV).

Κατά τα τελευταία χρόνια όλο και μεγαλύτερη προσοχή έχει στραφεί προς ζητήματα υγείας και ασφάλειας και την ανάγκη να προστατευθεί το περιβάλλον μας. Παρόλο που το νερό φαίνεται να αντιπροσωπεύει το μόνο πραγματικά φιλικό προς το περιβάλλον μέσο, τη δεκαετία του 1990 σημειώθηκε μια αύξηση στη διαθεσιμότητα ποικίλων βιολογικά διασπώμενων ρευστών, λευκών ελαίων κλπ, τα οποία προτάθηκαν ως πιο περιβαλλοντικά αποδεκτές εναλλακτικές λύσεις από τα συμβατικά μέσα.

Μεταξύ των πιο χρησιμοποιημένων υδραυλικών μέσων σήμερα είναι τα γαλακτώματα τύπου λάδι σε νερό (o/w), διαλύματα νερού – γλυκόλης, ορυκτέλαια, εστέρες και ορισμένα άλλα συνθετικά ρευστά. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει την ταξινόμηση των υδραυλικών ρευστών σύμφωνα με τα ISO 6734 και DIN 51 502.

Πίνακας 2.1 Ταξινόμηση των υδραυλικών ρευστών σύμφωνα με τα ISO 6734 και DIN 51 502

Περιγραφή	ISO-L	DIN
Απ' ευθείας ορυκτέλαιο (δηλ. χωρίς πρόσθετα)	HH	H
Τύπος HH + αναστολέας οξείδωσης / διάβρωσης	HL	H-L
Τύπος HL + ιδιότητες ενάντια στη φθορά	HM	H-LP
Τύπος H-LP + απορρυπαντικό	--	HLP-D
Τύπος HM + βελτιωτικό ιξώδους	HV, HR	HVLP
Τύπος HM + αντικολλητικό/αντιολισθητικό	HG	--
Συνθετικά ρευστά, μη ανθεκτικά στη φωτιά	HS	--
Γαλακτώματα τύπου λάδι σε νερό (95% νερό)	HFAE	HS-A
Υδατικά διαλύματα χημικών ουσιών	HFAS	--
Γαλακτώματα τύπου νερό σε λάδι (40% νερό)	HFB	HS-B
Υδατικά διαλύματα πολυμερών (40% νερό)	HFC	HS-C
Συνθετικά ρευστά, φωσφορικοί εστέρες	HFDR	HS-D
Συνθετικά ρευστά, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες	HFDS	HS-D
Συνθετικά ρευστά, μείγματα HFDR / HFDS	HFDT	HS-D
Άλλα συνθετικά ρευστά, (μη υδατικά)	HFDU	HS-D

Ένας μεγάλος αριθμός ινστιτούτων εκδίδουν συστάσεις, πρότυπα και προδιαγραφές που καθορίζουν τις ποιοτικές απαιτήσεις για διάφορους τύπους υδραυλικών μέσων και τις εφαρμογές τους:

- Κατασκευαστές εξαρτημάτων, π.χ. Vickers, Rexroth, Denison,
- Προμηθευτές συστημάτων για εργαλειομηχανές, οχήματα εκτός δρόμου κλπ – χρήστες υδραυλικών ρευστών,

- Κυβερνητικοί φορείς, όπου υπάρχει ενδιαφέρον για στρατιωτικές προδιαγραφές και περιβαλλοντική νομοθεσία,
- Εθνικές Επιτροπές Προτυποποίησης, π.χ. Γερμανικά πρότυπα DIN

Ορισμένες ειδικές απαιτήσεις ποιότητας για το υπό χρήση ρευστό σχετίζονται με τους διάφορους τύπους υδραυλικών εξαρτημάτων:

- Αντλίες / Κινητήρες

Κατά της φθοράς

Συμβατότητα πολλαπλών μετάλλων

Διαχωριστής αέρος / αντιαφριστικό

Απογαλακτωματοποίηση

Ιδιότητες ροής σε χαμηλή θερμοκρασία

- Βαλβίδες

Αναστολή διάβρωσης

Θερμική και οξειδωτική σταθερότητα

- Φίλτρα

Ικανότητα φιλτραρίσματος

- Συσκευές στεγανοποίησης / Μάνικες

Συμβατότητα ελαστομερούς

Πίνακας 2.2 Τάσεις στην εξέλιξη των υδραυλικών μέσων

Παράγοντας	Τάση	Απαίτηση
Αυξημένη αποτελεσματικότητα	Υψηλότερες πιέσεις	Βελτίωση των ιδιοτήτων ενάντια στη φθορά
Πιο συμπαγή συστήματα	Υψηλότερες θερμοκρασίες	Καλύτερη οξειδωτική σταθερότητα
Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων	Καλύτερο φιλτράρισμα	Καλή δυνατότητα φιλτραρίσματος
Μειωμένο κόστος Συντήρησης	Εκτεταμένα διαστήματα αντικατάστασης για εξαρτήματα και υδραυλικά μέσα	Υψηλότερη θερμοκή και οξειδωτική σταθερότητα, βελτιωμένες ιδιότητες ενάντια στη φθορά και καλύτερο φιλτράρισμα

Η προοδευτική ανάπτυξη νέων, πιο αποτελεσματικών συστημάτων δημιουργεί απαιτήσεις για υδραυλικά μέσα αυξανόμενα υψηλότερης ποιότητας και τεχνικής απόδοσης (Πίνακας 2.2)

2.2 Το ιδανικό υδραυλικό μέσο

Το ιδανικό υδραυλικό μέσο δυστυχώς δεν υπάρχει, εξαιτίας της αντικρουόμενης φύσης πολλών κατά τα άλλα επιθυμητών ιδιοτήτων. Οι κύριες απαιτήσεις είναι:

- ικανοποιητικές ιδιότητες ροής,
- υψηλός δείκτης ιξώδους,
- χαμηλή συμπιεστότητα,
- καλές λιπαντικές ιδιότητες,
- χαμηλή πίεση ατμού,
- συμβατότητα με τα υλικά του συστήματος,
- χημική σταθερότητα,

- αντιδιαβρωτική προστασία,
- ταχεία αποδέσμευση αέρος και απογαλακτωματοποίηση,
- καλή θερμική αγωγιμότητα,
- αντίσταση στη φωτιά,
- ηλεκτρομόνωση,
- περιβαλλοντικά αποδεκτά.

Οι *ικανοποιητικές ιδιότητες ροής* είναι φυσικά πρωταρχικής σημασίας σε ένα ρευστό που μεταδίδει ενέργεια από μια θέση σε άλλη. Αυτό πρέπει να ισχύει σε όλο το εύρος θερμοκρασιών υπό τις οποίες λειτουργεί το υδραυλικό ρευστό, και όχι μόνο κατά την αρχική φάση εκκίνησης του συστήματος υπό συνθήκες χειμερινού ψύχους.

Ένας *υψηλός δείκτης ιξώδους* εξασφαλίζει συγκριτικά μέτριες μεταβολές του ιξώδους σε σχέση με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ένα κατάλληλα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών για την ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος.

Η *χαμηλή συμπιεστότητα* είναι επωφελής καθώς εξασφαλίζει ακριβή μετάδοση της πίεσης με ελάχιστο χρόνο ανταπόκρισης. Έτσι ελαχιστοποιείται η ταλάντωση και οι απώλειες αποδοτικότητας.

Οι *καλές λιπαντικές ιδιότητες* αποτελούν προϋπόθεση για την επίτευξη αποδεκτών χρόνων ζωής των εξαρτημάτων στα σύγχρονα υδραυλικά συστήματα υψηλής πίεσης. Υπάρχουν επίσης συχνά ειδικές απαιτήσεις αναφορικά με ειδικές ιδιότητες τριβής, προκειμένου να εξασφαλιστούν ομαλές, ακριβείς κινήσεις, όπως π.χ. στις σύγχρονες εργαλειομηχανές ψηφιακού ελέγχου (NC) και στη ρομποτική.

Η *χαμηλή πίεση ατμού* είναι επιθυμητή για να αποφευχθεί ο σχηματισμός φυσαλίδων ή προβλήματα σπηλαίωσης στις επικρατούσες θερμοκρασίες και στις χαμηλές (πιθανώς αρνητικές) πιέσεις, σε συγκεκριμένα σημεία του συστήματος.

Η *συμβατότητα με τα υλικά του συστήματος* είναι απαραίτητη για ένα υδραυλικό μέσο. Καθώς οι παράμετροι λειτουργίας για τα υδραυλικά συστήματα αυξάνουν σε σοβαρότητα, είναι ζωτικής σημασίας η στενή συνεργασία μεταξύ των κατασκευαστών νέων τύπων ρευστών, υλικών στεγανοποίησης κλπ.

Η *χημική σταθερότητα* είναι απαραίτητη για να αποφευχθούν δυσανάλογα σύντομα διαστήματα αντικατάστασης για ένα ακριβό υδραυλικό ρευστό, και

λειτουργικά προβλήματα που προκαλούνται από την υποβάθμιση των προϊόντων ή την επιδείνωση της απόδοσής τους.

Η *αντιδιαβρωτική προστασία* είναι ιδιαίτερα σημαντική στα υδραυλικά συστήματα λόγω των υψηλών πιέσεων, των λεπτών ανοχών και των ευαίσθητων βαλβίδων στα σύγχρονα συστήματα. Στα περισσότερα συστήματα είναι δύσκολο να αποφευχθεί η μόλυνση από την υγρασία συμπύκνωσης. Γενικά, τα υδραυλικά ρευστά θα έπρεπε, για το λόγο αυτό, να περιέχουν αποτελεσματικά αντιδιαβρωτικά.

Η *ταχεία απαέρωση και ο διαχωρισμός από το νερό* είναι απαραίτητα για τη διατήρηση του καθορισμένου επιπέδου απόδοσης και την εξουδετέρωση λειτουργικών προβλημάτων όπως η διάβρωση, η σπηλαίωση, η ανακριβής απόκριση πίεσης, κλπ. Αυτά τα προβλήματα επανεξετάζονται με περισσότερες λεπτομέρειες στα επόμενα κεφάλαια.

Η *καλή θερμική αγωγιμότητα* είναι απαραίτητη για να διευκολυνθεί η ταχεία διάχυση της θερμότητας από την τριβή, η οποία παράγεται στις βαλβίδες, τις αντλίες, τους κινητήρες και σε άλλα εξαρτήματα. Έτσι, εξουδετερώνεται η αλλοίωση του υδραυλικού μέσου ή των εξαρτημάτων και διατηρείται ένας ικανοποιητικός βαθμός αποδοτικότητας.

Η *αντίσταση στη φωτιά* είναι ένα προφανές πλεονέκτημα και επίσης υπόκειται σε περιοριστική νομοθεσία για ορισμένες κρίσιμες εφαρμογές, όπως π.χ. στα ανθρακωρυχεία. Τα πολλά είδη μέσων ανθεκτικών στη φωτιά είναι συχνά κατώτερα σε ορισμένα σημεία από τα συμβατικά υδραυλικά ρευστά που βασίζονται σε ορυκτέλαια, και συνήθως είναι πιο ακριβά.

Οι *ηλεκτρομονωτικές ιδιότητες* μπορεί να είναι σημαντικές για ορισμένα σύγχρονα σχέδια, όπως π.χ. στις αντλίες πετρελαιοπηγών, όπου τα ηλεκτρικά εξαρτήματα είναι εντελώς βυθισμένα στο υδραυλικό μέσο. Τέτοιες περιπτώσεις απαιτούν στενή συνεργασία μεταξύ των κατασκευαστών εξαρτημάτων και των προμηθευτών ρευστών, ώστε να επιλεγούν τα κατάλληλα υλικά και η σύνθεση του υδραυλικού μέσου.

Η περιβαλλοντική αποδοχή καλύπτει πολλούς τομείς και συχνά εμφανίζεται ως καταχρηστικό χαρακτηριστικό. Όσον αφορά τα υδραυλικά μέσα, πρωταρχικής σημασίας είναι οι ακόλουθοι παράγοντες:

- το εργασιακό περιβάλλον κατά το χειρισμό και τη χρήση,
- οι δυνητικά ζημιογόνες επιπτώσεις για το περιβάλλον σε περιπτώσεις διαρροής,
- οι πιθανοί κίνδυνοι κατά την καταστροφή ή την ανακύκλωση.

Λόγω ενός ανώτερου συνδυασμού θετικών ιδιοτήτων σε σχέση με τη συμπίεστικότητα, την πίεση ατμού, τις λιπαντικές ιδιότητες, την αντιδιαβρωτική προστασία, τη χημική σταθερότητα και την τιμή, τα μέσα που βασίζονται στα ορυκτέλαια είναι κυρίως τα πιο κοινά υδραυλικά ρευστά που χρησιμοποιούνται σήμερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΟΡΥΚΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΕΛΑΙΑ

Η μεγαλύτερη κατηγορία υδραυλικών ρευστών σήμερα αποτελείται από διυλισμένα βασικά έλαια υδρογονανθράκων, δηλαδή πετρελαιοειδών, που περιέχουν κατάλληλα πρόσθετα για να βελτιώσουν και να συμπληρώσουν τις εγγενείς ιδιότητες των βασικών ελαίων.

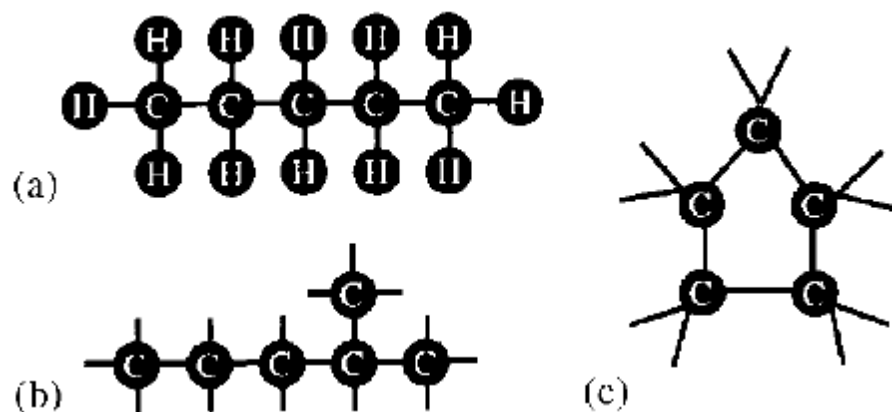
Τα πετρελαϊκά έλαια κατασκευάζονται από μια ποικιλία διαδικασιών διύλισης από προσεκτικά επιλεγμένα ακατέργαστα έλαια, σε πολλούς διαφορετικούς βαθμούς ιξώδους. Ο σκοπός αυτών των διαδικασιών διύλισης είναι να απομακρύνει τα ανεπιθύμητα συστατικά από τα γνήσια κλάσματα πετρελαίου, βελτιώνοντας επομένως τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των ραφιναρισμένων. Τα ακατέργαστα έλαια από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές μπορεί να διαφέρουν ουσιωδώς σε χημική σύνθεση. Η σύσταση των προϊόντων εφοδιασμού διυλιστηρίων θα επηρεάσει σημαντικά τις επιδόσεις των βασικών ελαίων, αν και το αποτέλεσμα μπορεί να μετριασθεί αλλά όχι απαραίτητα να εξαλειφθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

3.1 Σύνθεση των ορυκτελαίων

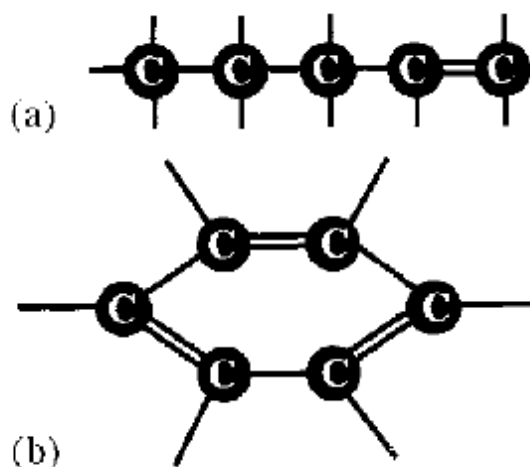
Το αργό πετρέλαιο είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο μείγμα από πολυάριθμες ενώσεις υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσίες που αποτελούνται από τα χημικά στοιχεία *υδρογόνο*, με το χημικό σύμβολο H, και *άνθρακα*, που διακρίνεται από το χημικό σύμβολο C. Το αργό πετρέλαιο περιέχει επίσης μικρές ποσότητες από θείο, άζωτο, οξυγόνο, βανάδιο, σίδηρο, νικέλιο και άλλα ιχνοστοιχεία. Τα άτομα ενώνονται σε διάφορες ακολουθίες διαμορφώνοντας τις επιμέρους μοριακές δομές και κατηγορίες της ένωσης. Λόγω των πολλών πιθανών εναλλακτικών δομών καθώς ο αριθμός των ατόμων σε ένα μόριο αυξάνει, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός από διάφορες ενώσεις υδρογονανθράκων, παρούσες στο αργό πετρέλαιο και στα περισσότερα ορυκτά βασικά έλαια, που χρησιμεύουν για την παραγωγή υδραυλικών ρευστών. Οι γενικές χημικές και φυσικές ιδιότητες των επιμέρους υδρογονανθράκων εξαρτώνται από τον αριθμό των ατόμων άνθρακα και υδρογόνου στο μόριο και τη γεωμετρική τους θέση, δηλαδή τη στερική δομή.

3.2 Χημική φύση

Εξαιτίας της ανόμοιας ατομικής δομής τους, τα άτομα άνθρακα και υδρογόνου εμφανίζουν πολύ διαφορετικές ικανότητες να συνδυάζονται με άλλα άτομα. Αυτή η ιδιότητα ορίζεται ως *σθένος*. Το σθένος είναι αποτέλεσμα της ηλεκτροστατικής φύσης του ατόμου, που απορρέει κυρίως από τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο εξωτερικό κέλυφος ηλεκτρονίων του εν λόγω ατόμου. Ο άνθρακας έχει σθένος 4 σε αντίθεση με 1 για το υδρογόνο, και για το λόγο αυτό έχει αναλογικά μεγαλύτερη δυνατότητα να συνδυάζεται με άλλα άτομα. Λόγω αυτού του πολλαπλού σθένους, το άτομο άνθρακα έχει επίσης την ικανότητα να συνδέεται με άλλα άτομα άνθρακα, σχηματίζοντας είτε γραμμικές είτε κυκλικές δομές.



Εικ. 3.1 (a) C_5 κανονικός παραφινικός υδρογονάνθρακας. (b) C_6 ισοπαραφινικός υδρογονάνθρακας. (c) C_5 κυκλοπαραφινικός (ναφθενικός) υδρογονάνθρακας.



Εικ. 3.2 (a) C_5 ολεφινικός υδρογονάνθρακας, (b) C_6 αρωματικός υδρογονάνθρακας.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1, οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες εμφανίζουν μια ευθεία αλυσίδα ή διακλαδισμένη διαμόρφωση, σε αντίθεση με την κυκλική μορφή της ναφθενικής ένωσης, έχοντας ως αποτέλεσμα σημαντική ποικιλία στις ιδιότητες. Οι ισοπαραφίνες χαρακτηρίζονται από πλευρικές αλυσίδες που συνδέονται στην κύρια γραμμική αλυσίδα υδρογονανθράκων, και οι ιδιότητές τους επίσης διαφέρουν κάπως (σημαντικά σε ορισμένα σημεία) από την αντίστοιχη ευθεία κανονική αλυσίδα – ομόλογες αλυσίδες.

Όταν οι δεσμοί του σθένους άνθρακα – άνθρακα είναι απλοί δεσμοί, το προκύπτον μόριο ορίζεται ως *κορεσμένο*. Ωστόσο, πολλοί υδρογονάνθρακες περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερα άτομα άνθρακα που ενώνονται με διπλούς ή ακόμα και τριπλούς δεσμούς άνθρακα – άνθρακα. Αυτές οι *ακόρεστες* ενώσεις εμφανίζουν κατώτερη χημική σταθερότητα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες κορεσμένες ενώσεις (Εικ. 3.2).

Τα ραφιναρισμένα πετρελαϊκά έλαια υποβάλλονται σε επεξεργασία για να αφαιρεθούν όλα τα ίχνη ολεφινικών ενώσεων, διότι τα συστατικά αυτά είναι πολύ ασταθή για χρήση σε απαιτητικές εφαρμογές, όπως είναι τα υδραυλικά ρευστά, λόγω της ευαισθησίας τους στην οξείδωση και της επακόλουθης εναπόθεσης υπολειμμάτων σαν βερνίκι στο σύστημα. Ωστόσο, μπορεί να σχηματιστούν ολεφίνες σε περιπτώσεις που το έλαιο υποβάλλεται σε θερμοκρασίες άνω των 320° C, για παράδειγμα σε περιπτώσεις άμεση γεινίασης υπερ-διαστατικών θερμαντικών στοιχείων.

Παρόλο που οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες εμφανίζονται ως υψηλά ακόρεστες ενώσεις, η εναλλασσόμενη διαμόρφωση διπλών δεσμών (Συντονισμός) στο βασικό κυκλικό μόριο C₆ απλών μονο-αρωματικών και δι-αρωματικών υδρογονανθράκων, έχει ως αποτέλεσμα εκπληκτικά καλή χημική σταθερότητα. Κατά τη διάρκεια της διύλισης των πετρελαϊκών ελαίων με εκχύλιση διαλυτών, είναι επίσης εμφανές ότι απαιτείται ορισμένη συγκέντρωση υπολειμμάτων αυτών των αρωματικών υδρογονανθράκων, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη σταθερότητα οξείδωσης.

Τα ορυκτά έλαια περιέχουν μόρια σε πολλά διαφορετικά μεγέθη σε κάθε μία από τις κύριες κατηγορίες υδρογονανθράκων που προαναφέρθηκαν, που κυμαίνονται από απλά, σχετικά μικρά μόρια σε μεγάλες, σύνθετες ενώσεις. Τα ορυκτά έλαια για υδραυλικά ρευστά συνήθως αποτελούνται από μόρια υδρογονανθράκων που

περιέχουν 20 – 50 άτομα άνθρακα, και έχουν μέσο μοριακό βάρος (MMB) της τάξεως των 350 – 550. Συνήθως εκπροσωπούνται και οι τρεις κύριες κατηγορίες υδρογονανθράκων στη δομή των μεγαλύτερων μορίων και χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για να χαρακτηρίσουν τον τύπο κατανομής των υδρογονανθράκων στα σύνθετα έλαια. Μεταξύ των τεχνικών που χρησιμοποιούνται είναι η αέρια χρωματογραφία (GC), η υπέρυθη φασματοσκοπία απορρόφησης (IR), η φασματοσκοπία μάζας (MS), και επιπλέον, διάφορες εμπειρικές μέθοδοι που στηρίζονται σε δεδομένα φυσικών δοκιμών. Παρά τις διαθέσιμες προηγμένες φυσικοχημικές τεχνικές, που υποστηρίζονται από τη σύγχρονη επεξεργασία δεδομένων, ωστόσο τα πετρελαϊκά έλαια περιέχουν πάρα πολλές ισομερικές ενώσεις για να μπορούν να αναλυθούν πλήρως σε μεμονωμένα μόρια.

Πίνακας 3.1 Επιθυμητές ιδιότητες των ναφθενικών και παραφινικών ελαίων

Κατηγορία ελαίου	Επωφελείς ιδιότητες
Παραφινικό ορυκτέλαιο (HVI)	Δείκτης ιξώδους Πίεση ατμών / πτητικότητα Ιξώδες: Συντελεστής πίεσης Συμβατότητα ελαστομερούς
Ναφθενικά ορυκτέλαια (MVIN)	Θερμική σταθερότητα Διαλυτότητα προσθέτων Ρευστότητα σε χαμηλή θερμοκρασία

Πίνακας 3.2 Τυπικά δεδομένα δοκιμών για ραφιναρισμένα ορυκτά έλαια

Ιδιότητα	Μέθοδος δοκιμών	Ναφθενικά	Παραφινικά
Ιξώδες (mm ² /s) στους			
40°C (mm ² /s)	ASTM D445	8.3	27
100°C (mm ² /s)	ASTM D445	2.2	4.8
Κινηματικός Δείκτης Ιξώδους	ASTM D2270	49	97
Πυκνότητα στους 15°C (kg/l)	ASTM D1298	0.87	0.87
Ελάχιστη θερμοκρασία ροής (°C)	ASTM D97	< - 45	- 18
Σημείο ανάφλεξης (°C)	ASTM D93	143	210

Αρχικό σημείο βρασμού (°C)	ASTM D447	278	370
Σημείο ανιλίνης (°C)	ASTM D611	101	
Ανάλυση κατανομής άνθρακα (%m)	ASTM D3238		
C/A		2	6
C/N		48	26
C/P		50	68
Πίεση Ατμών (bar στους 100°C)	ASTM D2879	2×10^{-3}	3×10^{-4}

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα και οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε μια τάση απομάκρυνσης από τις παλιές, καθιερωμένες διαδικασίες διύλισης, αντικαθιστώντας ή συμπληρώνοντάς τις με την καταλυτική επεξεργασία υδρογόνου κάτω από διάφορες συνθήκες χρόνου, θερμοκρασίας και πίεσης. Η χημική σταθερότητα ενός βασικού ελαίου είναι μόνο μία από τις σημαντικές ιδιότητες που σχετίζονται στενά με τις διαδικασίες διύλισης και η απαραίτητη προϋπόθεση για ένα καλό υδραυλικό ρευστό είναι το βασικό απόθεμα υψηλής ποιότητας.

Οι μεγάλες διεθνείς πετρελαϊκές εταιρείες διαθέτουν σημαντική εμπειρία και εξειδίκευση αναφορικά με τον έλεγχο διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων αυτών των διαδικασιών, προκειμένου να επιτύχουν ικανοποιητικές αποδόσεις και τη βέλτιστη ποιότητα από επιλεγμένους τύπους αργού πετρελαίου. Οι εταιρείες επίσης συμμετέχουν σε εκτεταμένα ερευνητικά προγράμματα για την ανάπτυξη νέων καταλυτικών συστημάτων με αυξημένη αποτελεσματικότητα για καινούριες διαδικασίες.

Τα υδραυλικά ορυκτά έλαια συνήθως έχουν ως βάση εξαιρετικά διυλισμένα παραφινικά έλαια (HVI), εξαιρετικά διυλισμένα ναφθενικά έλαια (MVIN) ή μείγματα και των δύο ειδών. Ο κάθε ένας από αυτά τα είδη βασικών ελαίων διαθέτει σημαντικές επωφελείς ιδιότητες, που αναφέρθηκαν στον πίνακα 1.3.

Δεδομένου ότι οι πρώτες ύλες και οι διαδικασίες διύλισης είναι προσεκτικά εκμεταλλεζόμενες, και τα δύο ανωτέρω προαναφερόμενα είδη βασικών ελαίων κανονικά θα διακρίνονται από καλή εγγενή οξειδωτική σταθερότητα, και οι ιδιότητές τους μπορούν να ενισχυθούν περαιτέρω με κατάλληλη επεξεργασία των προσθέτων.

Στον πίνακα 3.2 απεικονίζεται η σύγκριση των βασικών φυσικών χαρακτηριστικών των εξαιρετικά διυλισμένων ναφθενικών και παραφινικών βασικών ελαίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο:ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ

Τα συνθετικά έλαια είναι ολιγομερή τα οποία έχουν παρασκευασθεί με πολυμερισμό επιλεγμένων μονομερών ή παρόμοιων ελαιωδών ρευστών από άλλες πρώτες ύλες, με χημική σύνθεση.

Η μεγάλη ποικιλία υδραυλικών εφαρμογών θέτουν μια πληθώρα από ακριβείς φυσικές και χημικές προϋποθέσεις στα υδραυλικά ρευστά, προκειμένου να διασφαλιστεί η επαρκής μετάδοση υδραυλικής ενέργειας υπό τις κρατούσες συνθήκες λειτουργίας. Σε ποιο βαθμό τα επιμέρους ρευστά ικανοποιούν αυτές τις απαιτήσεις είναι αποφασιστικής σημασίας για την κανονική περιοχή εφαρμογής, τους περιορισμούς της θερμοκρασίας κλπ, του κάθε επιμέρους ρευστού. Παρόλο που τα προϊόντα που βασίζονται σε ορυκτέλαια ακόμα παρουσιάζουν την πιο ικανοποιητική ισορροπία ιδιοτήτων για τη μεγαλύτερη πλειοψηφία υδραυλικών εφαρμογών, ωστόσο υπάρχουν πολλά κρίσιμα συστήματα για τα οποία μπορεί να αποτελεί προτιμότερη επιλογή ένα εξειδικευμένο συνθετικό ρευστό.

Οι κύριοι λόγοι επιλογής ενός συνθετικού ρευστού είναι :

(α) το καλύτερο διαθέσιμο προϊόν που βασίζεται σε ορυκτά έλαια στερείται από μια απαραίτητη ιδιότητα για την παρούσα εφαρμογή.

(β) τα προϊόντα που βασίζονται στα ορυκτέλαια δεν ικανοποιούν πλήρως τις καθορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις, όπως π.χ. επαρκή ζωή οξειδωσης.

Ορισμένες ιδιότητες των ρευστών είναι εκ φύσεως αλληλένδετες, και μια εξαιρετική επίδοση σε ένα σημείο μπορεί συχνά να περιλαμβάνει έναν αντίστοιχο περιορισμό σε κάποια άλλη επιθυμητή ιδιότητα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού είναι οι κάπως μέτριες ιδιότητες τριβής κάποιου συνθετικού μέσου να διαθέτουν εναλλακτικά εξαιρετική οξειδωτική σταθερότητα. Η εξήγηση είναι ότι η χαμηλή τριβή υπό οριακές συνθήκες εξαρτάται ισχυρά από την απορρόφηση και τη χημική αντίδραση μεταξύ των μορίων του λιπαντικού (υδραυλικού ρευστού) και της

επιφάνειας με την οποία έρχονται σε επαφή. Για το λόγο αυτό τα συνθετικά μέσα χαμηλής πολικότητας και υψηλής χημικής σταθερότητας είναι σχετικά πτωχά λιπαντικά υπό οριακές συνθήκες. Ωστόσο, ορισμένα άλλα συνθετικά ρευστά υψηλής θερμικής και οξειδωτικής σταθερότητας είναι κανονικά η προτιμώμενη επιλογή για υδραυλικά συστήματα που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες. ($\geq 100^{\circ}\text{C}$).

Γενικά, τα συνθετικά έλαια εμφανίζουν ανώτερη επίδοση, συγκριτικά με τα ρευστά που βασίζονται στα ορυκτά έλαια, σε μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες απόψεις:

- θερμική σταθερότητα,
- οξειδωτική σταθερότητα,
- ιξώδες: ιδιότητες θερμοκρασίας (VI),
- ρευστότητα σε χαμηλή θερμοκρασία,
- λειτουργικά όρια θερμοκρασίας,
- αντίσταση στην πυρηνική ακτινοβολία,
- αντίσταση στη φωτιά.

Σύμφωνα με τη χημική τους σύνθεση, τα μεμονωμένα συνθετικά μέσα διαθέτουν ωστόσο σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες, και τα ρευστά που βασίζονται στα ορυκτέλαια μπορούν να είναι επωφελή αναφορικά με:

- υδρολυτική σταθερότητα,
- προστασία από τη διάβρωση,
- τοξικότητα,
- συμβατότητα με τα ελαστομερή και τα κατασκευαστικά υλικά,
- διαλυτότητα των προσθέτων,
- χαρακτηριστικά τριβής,
- κόστος και διαθεσιμότητα.

4.1 Είδη συνθετικών ελαίων

Τα συνθετικά έλαια συνήθως κατατάσσονται σύμφωνα με τη χημική τους σταθερότητα και ο Πίνακας 4.1 παραθέτει μερικά από τα πιο σημαντικά είδη ρευστών.

4.2 Συνθετικοί υδρογονάνθρακες

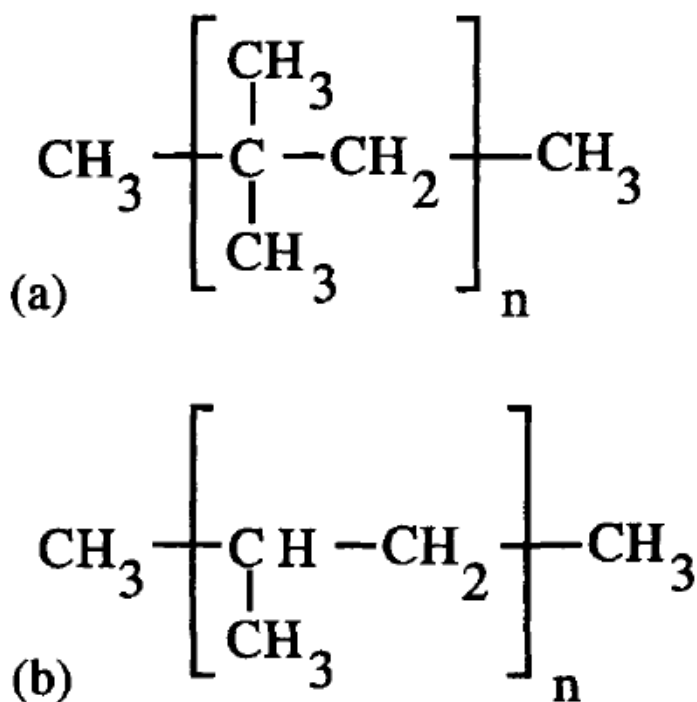
Οι πολυαλφαολεφίνες (PAO) είναι στις μέρες μας ένα από τα πιο γνωστά συνθετικά βασικά έλαια, και παρασκευάζονται με τον πολυμερισμό ανώτερων ολεφίνων (π.χ. δεκένιο, C₁₀), και στη συνέχεια ακολουθεί η υδρογόνωσή τους για να απομακρυνθούν οι εναπομείναντες διπλοί δεσμοί και να σταθεροποιηθεί το πολυμερές.

Οι εμπορικές PAO για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται από μια ισοπαραφινική δομή, η οποία εξασφαλίζει εξαιρετικά ευνοϊκές ιδιότητες ρευστότητας σε χαμηλή θερμοκρασία και έναν υψηλό δείκτη ιξώδους. Οι πολυαλφαολεφίνες ανταποκρίνονται καλά στην προσθήκη ανασχετικών της οξειδωσης και μπορεί να επιτευχθεί εξαιρετική οξειδωτική σταθερότητα με προσεκτική επιλογή των κατάλληλων πρόσθετων. Κατά συνέπεια, λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών αυτοανάφλεξης που επιτυγχάνονται κατ' αυτό τον τρόπο, τα βασικά έλαια πολυαλφαολεφίνης έχουν αποδειχθεί κατάλληλα υλικά για τη διαμόρφωση υδραυλικών ρευστών με αντίσταση κατά της φωτιάς σε ορισμένες αεροπορικές εφαρμογές (π.χ. στρατιωτική προδιαγραφή MIL-H-83282). Τα ειδικευμένα υδραυλικά ρευστά με βάση την πολυαλφαολεφίνη έχουν επίσης βρει εκτεταμένη χρησιμότητα σε κρίσιμα συστήματα υποθαλάσσιων πετρελαϊκών εγκαταστάσεων.

Πίνακας 4.1 Κατάταξη των συνθετικών ελαίων με βάση τη χημική τους σύνθεση

1. Συνθετικοί υδρογονάνθρακες	(α) Πολυολεφίνες πολυϊσοβουτένια (PIB) πολυαλφαολεφίνες (PAO) (β) Υδρογονοπυρολυμένα ορυκτέλαια (π.χ. Shell XHVI)
2. Πολυαιθέρους	(α) Πολυαλκυλενογλυκόλες (PAG) (β) Αιθέρους πολυφαινυλίου (PPE)

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| 3. Οργανικοί εστέρες | (α) Διεστέρες |
| | (β) Σύμπλοκοι εστέες |
| | (γ) πολυολεστέρες νεοπεντυλίου |
| 4. Φωσφορικοί εστέρες | (α) Αρυλοφωσφορικά |
| 5. Σιλικόνες | (α) Πολυσιλοξάνια |
| | (β) Πυριτικοί εστέρες |
| 6. Φθοροαιθέρες | (α) Φθοροαλκυλαιθέρες |
| | (β) Περφθοροπολυαιθέρες |



Εικ. 4.1 (a) Πολύαλφαολεφίνη, (b) πολυϊσοβουτένιο.

Οι πολυαλφαολεφίνες είναι εμπορικά διαθέσιμες σε μεγάλο εύρος βαθμών ιξώδους, και ακόμα και τα προϊόντα με το χαμηλότερο ιξώδες εμφανίζουν σχετικά χαμηλή πολικότητα μέχρι τους 160°C συγκριτικά με τα αντίστοιχα ορυκτέλαια. Οι πολυαλφαολεφίνες διαθέτουν επίσης το πλεονέκτημα της απεριόριστης αναμειξιμότητας με τους εστέρες και τα ορυκτέλαια, απλοποιώντας έτσι τη μετατροπή ενός συστήματος από το ένα προϊόν στο άλλο. Αν και οι

πολυαλφαολεφίνες έχουν πολλά κοινά με τα εντόνως διυλισμένα ορυκτέλαια, ωστόσο συγκρίνονται ανόμοια σε ορισμένα σημεία. Οι πιο εμφανείς αδυναμίες είναι η σχετικά φτωχή τους ικανότητα να είναι διαλύτες για πολλά είδη προσθέτων, καθώς επίσης μια τάση για χαμηλούς βαθμούς ιξώδους, που προκαλεί συρρίκνωση των συμβατικών σφραγίδων από καουτσούκ νιτριλίου.

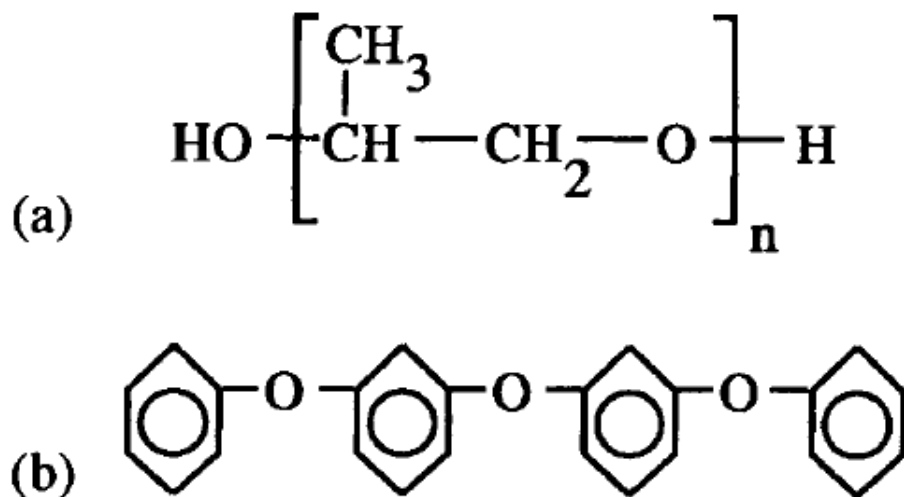
Τα πολυϊσοβουτένια (PIB) επιδεικνύουν μια παρεμφερή ισοπαραφινική δομή, αλλά οι μικρότερες πλευρικές αλυσίδες προσδίδουν μάλλον φτωχότερες ιδιότητες στις χαμηλές θερμοκρασίες, συγκριτικά με τις πολυαλφαολεφίνες. Το πολυϊσοβουτένιο ούτε εμφανίζει στον ίδιο βαθμό την εξαιρετική οξειδωτική και θερμική σταθερότητα ενός αναστολέα πολυαλφαολεφίνης. Από την άλλη μεριά, το πολυϊσοβουτένιο αφήνει ελάχιστα υπολείμματα μετά την καύση ή την θερμική αποικοδόμηση με την παρουσία οξυγόνου. Κατά συνέπεια, τα πολυϊσοβουτένια είναι εξαιρετικά χρήσιμα στα υδραυλικά συστήματα της βιομηχανίας αλουμινίου, όπου η νόθευση του ελαίου κύλισης με τα συμβατικά ορυκτά έλαια, θα οδηγούσε σε απαράδεκτη κηλίδωση της επιφάνειας του αλουμινίου κατά την τελική διαδικασία ανόπτησης.

Τα υδρογονοπυρολυμένα ορυκτά έλαια αποτελούνται επίσης απαραίτητως από ισοπαραφινικούς υδρογονάνθρακες, και μοιάζουν σε πολλά σημεία με τις πολυαλφαολεφίνες. Ωστόσο, με εξαίρεση ορισμένα υπερ – διυλισμένα κλάσματα, η κατανομή του μοριακού βάρους των υδρογονοπυρολυμένων βασικών ελαίων κανονικά καλύπτει ένα πολύ ευρύτερο φάσμα από ότι οι αντίστοιχοι βαθμοί ιξώδους των πολυαλφαολεφίνων. Μικρές ποσότητες ετερογενών ενώσεων είναι επίσης παρούσες στα υδρογονοπυρολυμένα προϊόντα. Αυτές οι διαφορές οδηγούν σε γενικώς κατώτερη ρευστότητα σε χαμηλή θερμοκρασία, αλλά μάλλον καλύτερη λιπαντική ικανότητα και οξειδωτική σταθερότητα, συγκριτικά με τις πολυαλφαολεφίνες.

5.3 Πολυαιθέρες

Οι Πολυαλκυλενογλυκόλες (PAG) ή πολυγλυκόλες είναι γραμμικά πολυμερή που έχουν παρασκευασθεί από μια αντίδραση συμπύκνωσης μεταξύ επιλεγμένων οξειδίων αλκυλενίου και γλυκόλων. Διαφοροποιώντας τις αναλογίες των, για παράδειγμα, οξειδίου του αιθυλενίου και οξειδίου του προπυλενίου στη σύνθεση, είναι δυνατό να ελεγχθεί το μοριακό βάρος του προϊόντος.

Κατ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να παραχθούν πολυαλκυλενογλυκόλες σε ένα ευρύ φάσμα βαθμών ιξώδους και σε υδατοδιαλυτές (υδρόφιλες) ή ελαιοδιαλυτές (ελαιόφιλες) εκδοχές.



Εικ. 4.2 (a) Πολυπροπυλενογλυκόλη, (b) Πολυφαινυλαιθέρες

Πολλά από τα προϊόντα που συντίθενται διαθέτουν έναν υψηλό δείκτη ιξώδους ($VI \leq 220$), καλές λιπαντικές ιδιότητες και ευνοϊκή επίδοση σε χαμηλή και υψηλή θερμοκρασία. Με τη χρήση των κατάλληλων αναστολέων οξείδωσης, οι πολυαλκυλενογλυκόλες επιτυγχάνουν ικανοποιητικές ζώες οξείδωσης σε θερμοκρασίες λειτουργίας έως $150 - 200^\circ\text{C}$, εν μέρει διότι η υψηλή τους ισχύς ως διαλύτες επιτρέπει να κρατηθούν στο διάλυμα σημαντικές ποσότητες προϊόντων οξείδωσης. Οι πολυαλκυλενογλυκόλες είναι συμβατές με τα περισσότερα κατασκευαστικά υλικά, όμως θα πρέπει κατά προτίμηση να αποφευχθεί το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος και το κάδμιο. Η υγροσκοπική φύση των πολυαλκυλενογλυκόλων μπορεί εγκαίρως να οδηγήσει στην απορρόφηση σημαντικών ποσοτήτων υγρασίας, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στις ιδιότητες παρεμπόδισης της διάβρωσης κατά τη διαμόρφωση του υδραυλικού ρευστού. Οι πολυαλκυλενογλυκόλες είναι γενικά συμβατές με όλα τα συνήθη υλικά στεγανοποίησης, όμως επιτίθενται σε πολλά είδη βαφών και μόνο ανθεκτικά στη διάλυση εποξειδικά προϊόντα δύο συστατικών συνιστώνται για αυτή την εφαρμογή.

Οι υδατοδιαλυτές πολυαλκυλενογλυκόλες έχουν ευρεία χρήση ως βασικά ρευστά σε υδραυλικά μέσα με αντοχή στη φωτιά της ISO κατηγορίας HFC. Άλλη μια

σημαντική εφαρμογή είναι ως συστατικό για υγρά υδραυλικών φρένων στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

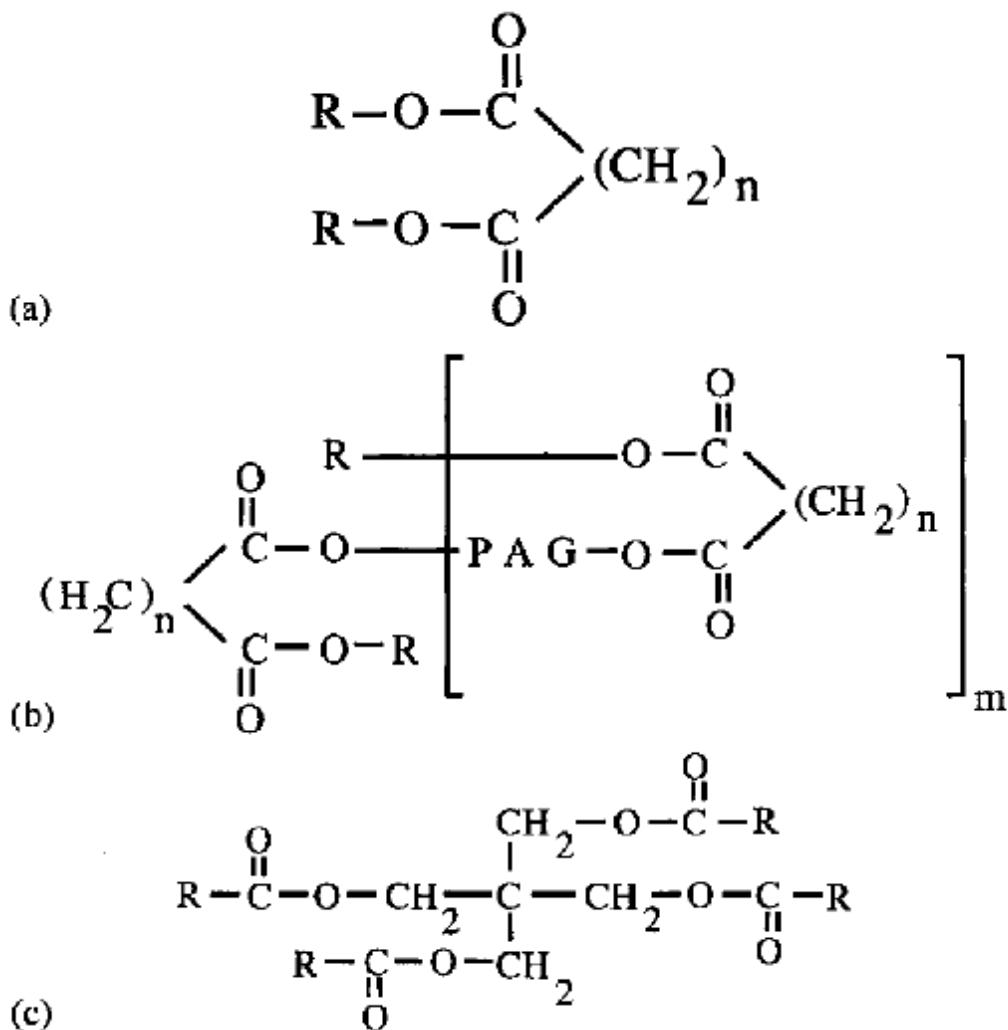
Πολλές πολυαλκυλενογλυκόλες είναι βιοδιασπώμενες, και αυτή η ιδιότητα έχει οδηγήσει σε ανανεωμένο ενδιαφέρον για αυτό το είδος υδραυλικού ρευστού, καθώς δυνητικά είναι λιγότερο επιβλαβές για το περιβάλλον.

Ο πολυφαινυλαιθέρας (PPE) θεωρείται ως ένα από τα πιο εξωτικά συνθετικά έλαια, αν μη τι άλλο λόγω της υψηλής τιμής του (αυτή τη στιγμή περίπου 250 φορές πάνω από το κόστος ενός ορυκτού ελαίου). Ο παράγοντας του κόστους, μαζί με την εξαιρετικά περιορισμένη διαθεσιμότητα, έχει μέχρι σήμερα περιορίσει τη χρήση του μόνο σε ειδικές στρατιωτικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές.

Οι πολυφαινυλαιθέρες είναι, ωστόσο, αξιοσημείωτοι για την εξαιρετικά υψηλή τους θερμική, οξειδωτική και χημική σταθερότητα. Οι εξαιρετικές λιπαντικές ιδιότητες, επίσης κάτω από οριακές συνθήκες, η χαμηλή πτητικότητα, η υψηλή σταθερότητα ενάντια στην ακτινοβολία και η καλή υδρολυτική σταθερότητα δημιουργούν έναν μοναδικό συνδυασμό θετικών ιδιοτήτων για προηγμένες τεχνολογικές εφαρμογές. Πέρα από το υψηλό τους κόστος, τα κύρια μειονεκτήματα των πολυφαινυλαιθέρων είναι η απογοητευτικά φτωχή συμπεριφορά ροής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι αρνητικοί δείκτες ιξώδους και η μέτρια μόνο συμβατότητά τους με τα ελαστομερή.

4.4 Οργανικοί εστέρες

Οι *διεστέρες* παρασκευάζονται από χημική αντίδραση μεταξύ ενός δικαρβονικού οξέος και μιας πρωτοταγούς αλκοόλης. Πολλοί εστέρες είναι σχετικά εύκολα βιοδιασπώμενοι, και αυτή τους η ικανότητα έχει οδηγήσει σε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον στην ενδεχόμενη εφαρμογή των διεστέρων ως πιο περιβαλλοντικά αποδεκτά υδραυλικά ρευστά.



Εικ. 4.3 (a) Διεστέρας (όπου R είναι μια αλκυλο-ομάδα, π.χ. το οκτύλιο C₈H₁₇, και n είναι τυπικά 8-9).

(b) Σύμπλεγμα εστέρα (όπου R είναι μια αλκυλο-ομάδα, π.χ. το οκτύλιο C₈H₁₇, και n είναι τυπικά 8-9 και m = 1,5).

(c) Πολυολεστέρας νεοπεντυλίου (όπου R είναι μια αλκυλο-ομάδα, π.χ. το οκτύλιο C₈H₁₇).

Οι διεστέρες εμφανίζουν πολλές ευνοϊκές ιδιότητες, π.χ. εξαιρετική ρευστότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλή θερμική και οξειδωτική σταθερότητα (κατόπιν προσθήκης των κατάλληλων αναστολέων οξείδωσης), υψηλό δείκτη ιξώδους και καλές λιπαντικές ιδιότητες. Αρνητικές πλευρές τους είναι η φτωχή υδρολυτική τους σταθερότητα και η τάση να επιτίθενται σε ορισμένες βαφές και ελαστομερή που συνδέονται με ορισμένους διεστέρες χαμηλού μοριακού βάρους.

Τα *συμπλέγματα εστέρων* συντίθενται επίσης με αντίδραση μεταξύ ενός καρβονικού οξέος και μιας πρωτοταγούς αλκοόλης, μολονότι σε αυτή την περίπτωση υποκαθίσταται μια πολυαλκυλενογλυκόλη για τμήμα του συστατικού αλκοόλης. Αυτό το είδος εστέρα μπορεί να παραχθεί σε μακράν υψηλότερους βαθμούς ιξώδους από ότι οι διεστέρες, αλλά δεν διαθέτουν τις ίδιες εξαιρετικές ιδιότητες ροής του απλούστερου διεστέρα στις χαμηλές θερμοκρασίες, παρά το εντυπωσιακά χαμηλό σημείο ροής στα στοιχεία δοκιμών.

Τα συμπλέγματα εστέρων επιδεικνύουν καλύτερη συμβατότητα με τα ελαστομερή από τους διεστέρες και ανώτερη υδρολυτική σταθερότητα. Οι άλλες ιδιότητες είναι κάπως παρεμφερείς με αυτές των διεστέρων.

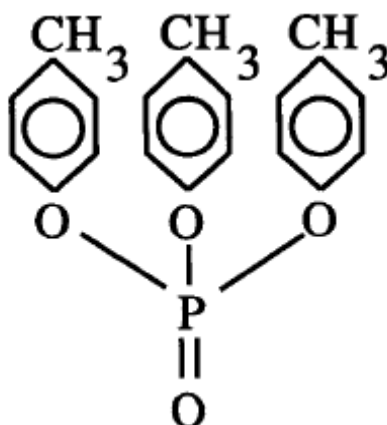
Οι *πολυολεστέρες νεοπεντυλίου* ενσωματώνουν τη μοναδική νέο – δομή 5 ανθράκων, που προσδίδει ιδιαίτερα καλή θερμική σταθερότητα. Αυτοί οι εστέρες διαθέτουν επίσης καλή οξειδωτική σταθερότητα, ευνοϊκά χαρακτηριστικά ροής σε χαμηλή θερμοκρασία και καλές λιπαντικές ιδιότητες. Αυτός ο συνδυασμός ελκυστικών ιδιοτήτων έχει οδηγήσει στην επιλογή των πολυολεστέρων νεοπεντυλίου ως το κύριο υλικό βάσης για τα λιπαντικά των αεροπορικών αεροστροβίλων.

Η τιμή αυτών των εστέρων είναι κανονικά υψηλότερη από αυτή των διεστέρων και των συμπλεγμάτων εστέρων, όμως οι πολυολεστέρες νεοπεντυλίου ενδείκνυνται δυνητικά για υδραυλικές εφαρμογές σε αυξημένες θερμοκρασίες.

4.5 Φωσφορικοί εστέρες

Οι *φωσφορικοί εστέρες* χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια ως υδραυλικά ρευστά με αντοχή στη φωτιά στο βιομηχανικό τομέα και τον τομέα των αερομεταφορών.

Τα πρώτα εμπορικά προϊόντα συντίθεντο από παράγωγα ανθρακόπισσας (κρεσόλες) και κατά συνέπειαν αποτελούνταν από ένα μείγμα από διάφορα ισομερή αρυλοφωσφορικά, περιλαμβανομένου του νευροτοξικού φωσφορικού ορθοτολουολίου. Σήμερα, χρησιμοποιούνται άλλες πρώτες ύλες για τη σύνθεση φωσφορικών εστέρων· η σύγχρονη τεχνολογία έχει ως αποτέλεσμα καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας παρασκευής, και η τοξικότητα του τελικού προϊόντος είναι κανονικά ικανοποιητικά χαμηλή.



Εικ. 4.4 Φωσφορικό τριτολουόλιο

Η χρήση προϊόντων με βάση τους φωσφορικούς εστέρες στις υδραυλικές εφαρμογές, ακόμα υπαγορεύεται κυρίως από εκτιμήσεις για κίνδυνο φωτιάς. Αν και οι αναστολείς φωσφορικοί εστέρες διαθέτουν εξαιρετική οξειδωτική σταθερότητα και εκ φύσεως καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες υπό κρίσιμες συνθήκες φόρτωσης, ωστόσο πάσχουν από κάπως κατώτερη υδρολυτική σταθερότητα, χαμηλό δείκτη ιξώδους και εξαιρετική διεισδυτική ικανότητα σε πολλά συμβατικά υλικά στεγανοποίησης και επίστρωσης. Αυτές οι αδυναμίες περιορίζουν τη χρήση των ρευστών με βάση τους φωσφορικούς εστέρες σε ειδικές εφαρμογές, όπου απαιτείται μεγάλη ανθεκτικότητα στη φωτιά.

4.6 Σιλικόνες

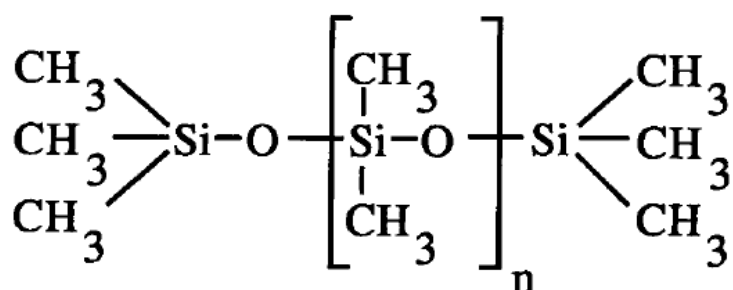
Τα διάφορα είδη σιλοξανίων και πυριτικών εστέρων συχνά ομαδοποιούνται υπό τον όρο **σιλικόνες**.

Τα *πολυσιλοξάνια* είναι ημι-οργανικά πολυμερή και συμπολυμερή που περιέχουν έναν ανόργανο κορμό από επαναλαμβανόμενες μονάδες σιλικόνης – οξυγόνου και οργανικές πλευρικές αλυσίδες που υποκαθίστανται στα άτομα σιλικόνης κατά μήκος της αλυσίδας του πολυμερούς. Οι ιδιότητες μπορεί να διαφέρουν με την επιλογή διαφορετικών υποκατάστατων, αν και οι πιο γνωστές είναι οι ομάδες μεθυλίου και φαινυλίου.

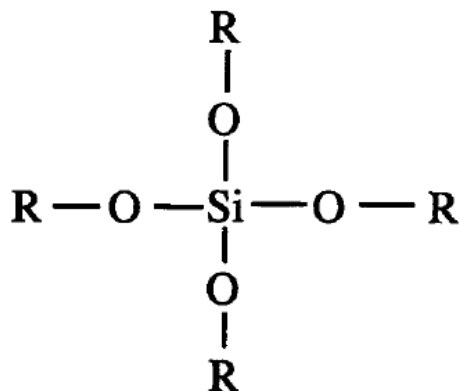
Τα διμεθυλοπολυσιλοξάνια έχουν τον υψηλότερο δείκτη ιξώδους από όλα τα συνθετικά (και ορυκτά) έλαια, εμφανίζοντας επίσης εξαιρετικά καλή θερμική σταθερότητα, οξειδωτική σταθερότητα, χαμηλή πίεση ατμών και αξιοσημείωτα

χαμηλό σημείο ροής. Είναι ωστόσο, μη αναμίξιμα με τα περισσότερα άλλα ρευστά, συμπεριλαμβανομένων των ορυκτών ελαίων, των συνθετικών υδρογονανθράκων, των εστέρων και των πολυφαινυλαιθέρων.

Τα συνήθη μη υποκαθιστάμενα πολυσιλοξάνια είναι εμφανώς φτωγά λιπαντικά για υψηλά φορτωμένες επιφάνειες χάλυβα – χάλυβα, αλλά ικανοποιητικά όσον αφορά επαφές χάλυβα- χαλκού. Τα χλωριωμένα πολυσιλοξάνια, ωστόσο, γενικά παράγουν ικανοποιητική λιπαντική επίδοση στις ιδιαίτερα φορτωμένες ολισθαίνουσες επαφές χάλυβα : χάλυβα. Χρησιμοποιούνται επίσης πρόσθετα λιπαντικότητας, αλλά η επιλογή είναι περιορισμένη για λόγους διαλυτότητα



(a)



(b)

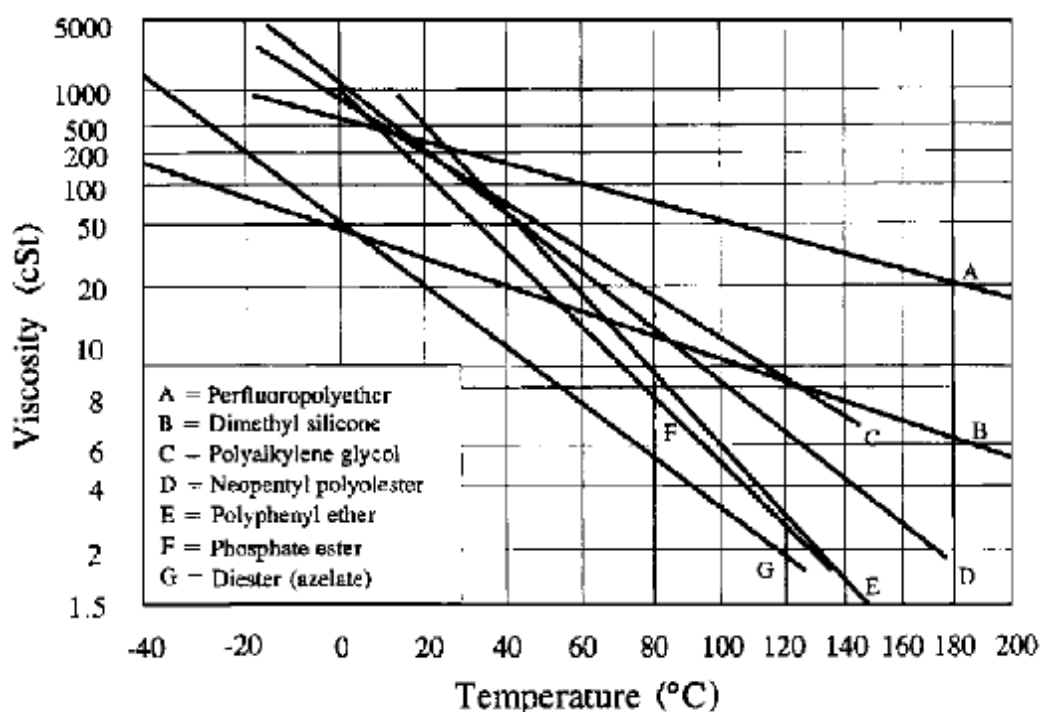
Εικ. 4.5 (a) διμεθυλοπολυσιλοξάνιο, (b) αλκυλο (αρυλο) ορθο-πυριτικό (όπου R είναι μια αλκυλομάδα ή αρυλομάδα).

Παρά τον πολύ χαμηλό συντελεστή μάζας λόγω της ελικοειδούς μοριακής δομής των πολυσιλοξανίων, αυτά τα μέσα έχουν αποδειχθεί επωφελή ως λειτουργικά ρευστά σε ορισμένα σέρβο και ρυθμιστικά συστήματα, όπου οι εξαιρετικές ιδιότητές τους σε ιξώδες – θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές. Εξαιτίας της ασυνήθιστα υψηλής συμπιεστότητάς τους, τα διμεθυλοσιλοξάνια χαρακτηρίζονται συχνά ως «υγρά ελατήρια» και χρησιμοποιούνται σε διάφορα συστήματα απόσβεσης. Άλλες

υδραυλικές εφαρμογές περιλαμβάνουν ορισμένους αποσβεστήρες (αμορτισέρ) και υγρά φρένων αυτοκινήτων τύπου DOT 5

Οι πυριτικοί εστέρες μοιάζουν με τα πολυσιλοξάνια σε πολλά σημεία, και εδώ πάλι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ρευστού καθορίζονται κυρίως από τις οργανικές ομάδες που προσκολλώνται στην πυριτική οντότητα. Έτσι οι ιδιότητες των μεμονωμένων πυριτικών εστέρων μπορούν να ποικίλουν σημαντικά. Τα βασικά ρευστά είναι διαθέσιμα σε εύρος ιξωδών, εμφανίζοντας πολλά εντυπωσιακά χαρακτηριστικά ιξώδους – θερμοκρασίας, υψηλή θερμική και οξειδωτική σταθερότητα, και επαρκείς λιπαντικές ιδιότητες.

Παρόλο που πολλοί πυριτικοί εστέρες εμφανίζονται με την πρώτη ματιά ελκυστικά βασικά ρευστά για υδραυλικές εφαρμογές, η σχετικά φτωχή υδρολυτική τους σταθερότητα είναι συχνά σοβαρός περιορισμός. Η υγρασία στην επαφή με το ρευστό αντιπροσωπεύει έναν πιθανό κίνδυνο για υδρόλυση και σχηματισμό πηκτής. Τα προϊόντα που βασίζονται σε ένα τετρα-αλκυλο ορθοπυριτικό που ενσωματώνει τριτοταγείς αλκυλομάδες (παράγοντας ένα βαθμό στερικής παρεμπόδισης) είναι τα πιο σταθερά υλικά και γι αυτό προτιμητέα από αυτή την άποψη.



Εικ. 4.6 Σχέση ιξώδους – θερμοκρασίας σε διάφορα συνθετικά ρευστά.

Πίνακας 4.2 Τυπικές φυσικές και χημικές ιδιότητες κάποιων συνθετικών ελαίων*

	Πολυ-α- ολεφίνη	Πολυγλυκόλη	Διεστέρας	Σιλικόνη	Πυριτικός εστέρας
Πυκνότητα στους 15°C	0.80-0.85	0.95-1.0	0.90-1.0	0.90-1.1	0.85-0.95
Δείκτης ιξώδους	120-145	80-220	120-180	270-300	175-230
Σημείο ροής (°C)	-70/-35	-55/-20	-80/-30	-75/-40	-65/-50
Συντελεστής μάζας	Υψηλός	Μέτριος	Μέτριος	Πολύ χαμηλός	Χαμηλός
Οξειδώνεται ραγδαία στους (°C)	170/230	150/200	150/200	200/260	180/250
Υδρολυτική σταθερότητα	++	-/+	-/+	-/+	-
Αντιδιαβρωτική προστασία	++	-/+	-	-/+	--
Λιπαντική ικανότητα / δύναμη υμένα	Καλή	Καλή	Καλή	Φτωχή	Μέτρια
Πολικότητα / Πίεση ατμών	+	-/+	++	++	-/+
Διαλυτότητα προσθέτων	+	-/+	+	--	-
Συμβατότητα ελαστομερούς	++	+	-/+	+	+
Τιμή (ορυκτό έλαιο = 1)	5	3-4	5	25-50	10

Υδραυλικά ρευστά με βάση πυριτικό εστέρα χρησιμοποιούνται σε αεροπορικές εφαρμογές που απαιτούν εύρος θερμοκρασίας από τους -65°C έως τους +204°C (στρατιωτική προδιαγραφή MIL – H – 8446) και στο κεντρικό υδραυλικό σύστημα του υπερηχητικού αεροσκάφους Concorde.

4.7 Φθοροαιθέρες

Οι φθοροαλκυλαιθέρες και οι περφθοροπολυαιθέρες (PFPE) χαρακτηρίζονται από ακραία χημική αδράνεια και έναν υψηλό βαθμό οξειδωτικής σταθερότητας, θερμικής σταθερότητας και ανθεκτικότητας στην ακτινοβολία. Επιπροσθέτως, αυτά τα ρευστά εμφανίζουν καλές λιπαντικές ιδιότητες, χαμηλά σημεία ροής, εξαιρετική ανθεκτικότητα στη φωτιά, συμβατότητα με τα περισσότερα πλαστικά, ελαστομερή και μέταλλα, και βιολογική αδράνεια. Αρνητικά σημεία είναι το υψηλό κόστος, οι σχετικά χαμηλοί συντελεστές μάζας, φτωχή ικανότητα διάλυσης για πρόσθετα και μη αναμειξιμότητα με άλλα ρευστά.

Ο μοναδικός συνδυασμός θετικών ιδιοτήτων που προαναφέρθηκαν έχει ως αποτέλεσμα αυτά τα φθοριωμένα μέσα να βρίσκουν εφαρμογή σε πλήθος εξειδικευμένων εφαρμογών στη χημική και αεροδιαστημική βιομηχανία. Ο φθοροαλκυλαιθέρας, ο περφθοροπολυαιθέρας και η τριαζίνη περφθοροαλκυλαιθέρα είναι πολλά υποσχόμενοι υποψήφιοι για μελλοντική ανάπτυξη ρευστών που θα διαθέτουν εξαιρετικό βαθμό ανθεκτικότητας στη φωτιά.

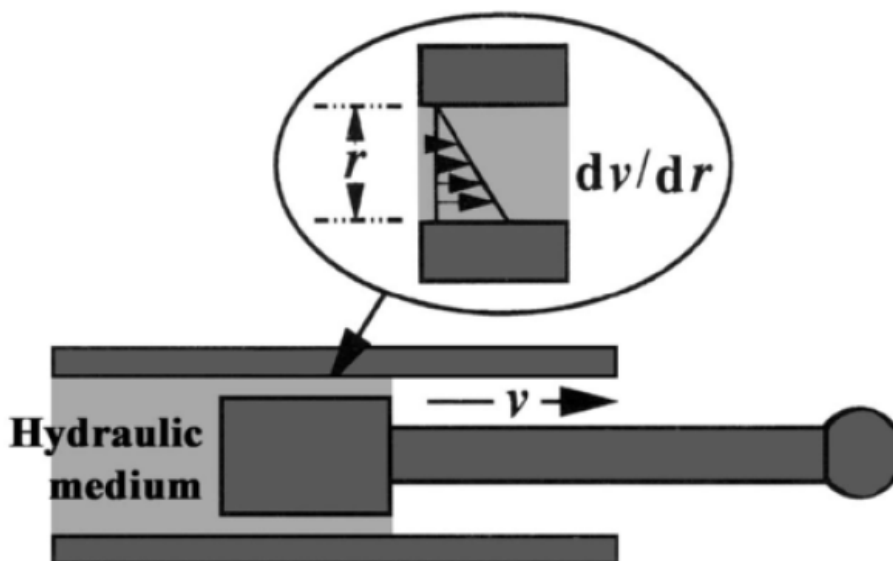
Η σχέση ιξώδους – θερμοκρασίας διαφόρων συνθετικών ρευστών απεικονίζεται στην εικόνα 4.6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΡΕΟΛΟΓΙΑ

5.1 Ιξώδες

Η εσωτερική τριβή ή αντίσταση στη ροή ενός ρευστού είναι πρωταρχικής σημασίας όταν επιλέγεται ένα υδραυλικό μέσο για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Το ιξώδες ενός ρευστού, το οποίο ορίζεται ευρέως ως «ρευστότητα», εκφράζει την εσωτερική τριβή του υγρού, με άλλα λόγια την αντίστασή του στη ροή. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να απεικονισθεί αν φανταστούμε ένα πλήθος από μπαλάκια του γκολφ να ανατρέπονται (να κυλούν) από έναν κάδο. Η τριβή των μπαλών μεταξύ τους καθώς κυλούν μπορεί να συγκριθεί με τις δυνάμεις τριβής μεταξύ των μορίων ενός υγρού που ρέει.



Εικ. 5.1 Ιξώδες και ρυθμός διάτμησης.

Ο βαθμός της διατμητικής τάσης σε ένα κινούμενο υγρό είναι ευθέως ανάλογος προς το ιξώδες. Ένα υψηλό ιξώδες οδηγεί σε υψηλές διατμητικές τάσεις και κατά συνέπεια υψηλή αντίσταση στη σχετική κίνηση των σωμάτων που διαχωρίζονται από τον υμένα του ρευστού. Το έτος 1687 ο Ισαάκ Νεύτωνας έδωσε τον πρώτο ποσοτικό ορισμό του ιξώδους, ή «έλλειψη ομαλότητας» όπως το ονόμαζε, μέσω της εξίσωσης

$$\tau = \eta \cdot R_s,$$

όπου:

τ = διατμητική τάση

η = δυναμικό ιξώδες

R_s = ρυθμός διάτμησης.

Η εικόνα 5.1 απεικονίζει ένα κυλινδρικό έμβολο περιφερειακής επιφάνειας A και ακτινικού διάκενου r . Οι συνθήκες ροής στον υμένα του υγρού ανάμεσα στο έμβολο και το τοίχωμα του κυλίνδρου μπορούν να απεικονισθούν ως ένα πακέτο τραπουλόχαρτων τα οποία πιέζονται κάτω προς την επιφάνεια του τραπέζιου. Αν πιέσουμε προς τα κάτω το χέρι μας, το τελευταίο τραπουλόχαρτο θα παραμείνει στάσιμο στην αρχική του θέση στο τραπέζι, ενώ το πάνω τραπουλόχαρτο θα ακολουθήσει την κίνηση του χεριού μας. Όλα τα ενδιάμεσα τραπουλόχαρτα θα εκτοπίζονται σχετικά το ένα από το άλλο, όπως φαίνεται στην εικόνα. Έτσι τα τραπουλόχαρτα αντιπροσωπεύουν τις αμέτρητες στρώσεις υγρού που κυλάει η μία πάνω στην άλλη, και είναι αυτή η σχετική κίνηση που δημιουργεί την τριβή του υγρού. Αυτός ο τύπος τριβής είναι σημαντικά χαμηλότερος από τη συνήθη στεγνή τριβή ανάμεσα σε επιφάνειες που δε λιπαίνονται. Ο Νεύτωνας ανακάλυψε ότι η δύναμη F που απαιτείται για να κινηθεί το έμβολο, ήταν ανάλογη προς την περιοχή A και την ταχύτητα v του εμβόλου, ενώ ήταν αντιστρόφως ανάλογη προς το ακτινικό διάκενο r . Συνεπώς:

$$F \approx A \cdot v/r$$

Εισάγοντας μια σταθερά αναλογικότητας (η), αυτή η σχέση μπορεί να ξαναγραφεί ως

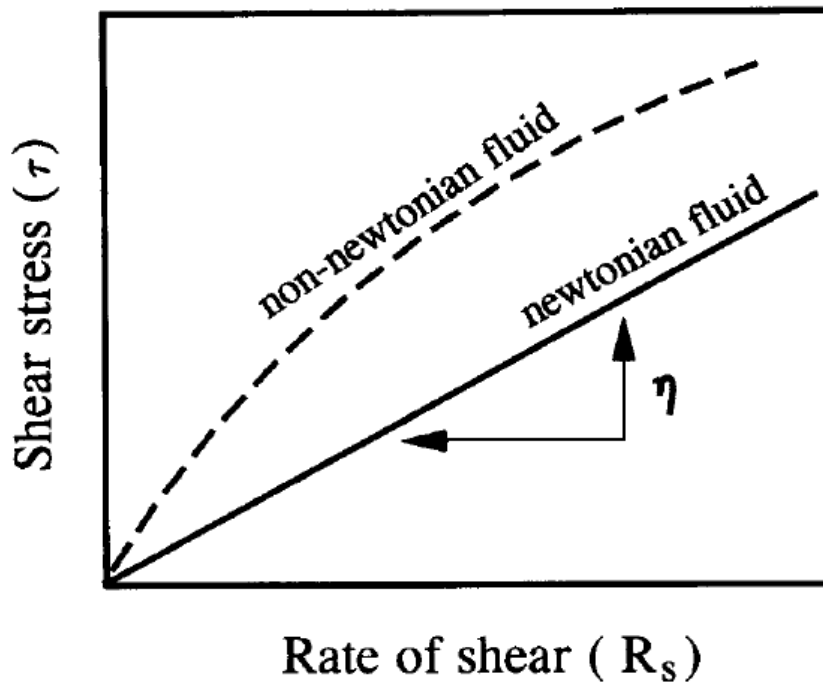
$$F = \eta \cdot A \cdot v/r,$$

όπου η είναι το δυναμικό ιξώδες στις μονάδες του $\text{Ns/m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$. Το δυναμικό ιξώδες συχνά εκφράζεται σε *poise* (πουάζ) (P) = $0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, ή σε *centipoise* (σεντιπουάζ) (cP) = $0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Λόγω της τριβής ανάμεσα στο υγρό και το τοίχωμα του κυλίνδρου, το εξωτερικό επιφανειακό στρώμα υγρού θα παραμένει στάσιμο (όπως στην περίπτωση των τραπουλόχαρτων), ενώ το υγρό που έρχεται σε επαφή με το έμβολο κανονικά θα κινείται με την ίδια ταχύτητα όπως το έμβολο (v). Εάν φανταστούμε το υγρό στο ακτινικό διάκενο διαιρεμένο σε πολλές λεπτές, ομόκεντρες στρώσεις, η ταχύτητα της κάθε μεμονωμένης στρώσης σε σχέση με το τοίχωμα του κυλίνδρου θα διαφέρει από μηδέν στο τοίχωμα του κυλίνδρου σε V στην επιφάνεια του εμβόλου. Ο ρυθμός

διάτμησης (R_s) είναι dv/dr , η διατμητική τάση (τ) είναι F/A , και μπορούμε να γράψουμε

$$\text{Διατμητική τάση } \tau = \eta (dv/dr)$$



Εικ. 5.2 Νευτώνικά και μη Νευτώνικά ρευστά.

Τα ρευστά που διαθέτουν ένα σταθερό απόλυτο ιξώδες σε οποιαδήποτε δεδομένη θερμοκρασία, ανεξάρτητα από το ρυθμό διάτμησης, ορίζονται ως Νευτώνικά ρευστά (εικ. 5.2).

Η πλειονότητα των υδραυλικών ρευστών, με εξαίρεση ορισμένα μέσα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις πολυμερών προσθέτων και γαλακτωμάτων τύπου νερό σε έλαιο (HFB), μπορούν στην πράξη να θεωρηθούν ως Νευτώνικά ρευστά.

Το κινηματικό ιξώδες ενός ρευστού σε *Stokes* (Στόουκ) (St) ή centistokes (σεντιστόουκ) (cSt) είναι ισοδύναμο προς το αντίστοιχο δυναμικό ιξώδες διαιρούμενο με την πυκνότητα:

$$\text{poise (πουάζ)} (P) / \rho = \text{stoke (στοουκ)} (St), \text{ σε μονάδες } \text{cm}^2 / \text{s},$$

$$\text{centistokes (σεντιστοουκ)} (cSt) = 0,01 \text{ stoke (στοουκ)}, \text{ σε μονάδες } \text{mm}^2 / \text{s}.$$

Για τα υδραυλικά ρευστά (και τα βιομηχανικά έλαια γενικώς) συνηθίζεται να κατατάσσονται οι βαθμοί ιξώδους σύμφωνα με τη διεθνή ταξινόμηση (ISO) που βασίζεται στο κινηματικό ιξώδες σε σεντιστόουκ (mm^2 / s) στους 40°C (βλέπε Πίνακα 5.1).

Πίνακας 5.1 Ταξινόμηση ιξώδους ISO των βιομηχανικών ελαίων και ρευστών

Βαθμός ιξώδους με ISO 3448	Κινηματικό ιξώδες cSt (mm ² /s) στους 40°C		
	Μέση τιμή	Ελάχιστη	Μέγιστη
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

Αυτό το πρότυπο περιλαμβάνει 18 κύριες ομάδες με το πρόθεμα ISO VG (βαθμός ιξώδους), και χρησιμοποιείται από τους περισσότερους προμηθευτές υδραυλικών ρευστών για να ταξινομήσουν τα προϊόντα τους. Για παράδειγμα το Shell Tellus Oil 46 είναι ένα ρευστό ISO VG46 με ιξώδες 46 cSt±10% στους 40°C. Η ταξινόμηση ιξώδους ενός υδραυλικού ρευστού σύμφωνα με το ISO 3468, ωστόσο, δεν είναι ενδεικτική των ιδιοτήτων ιξώδες – θερμοκρασία ή της επακόλουθης μη Νευτωνικής συμπεριφοράς σε υψηλούς βαθμούς διάτμησης.

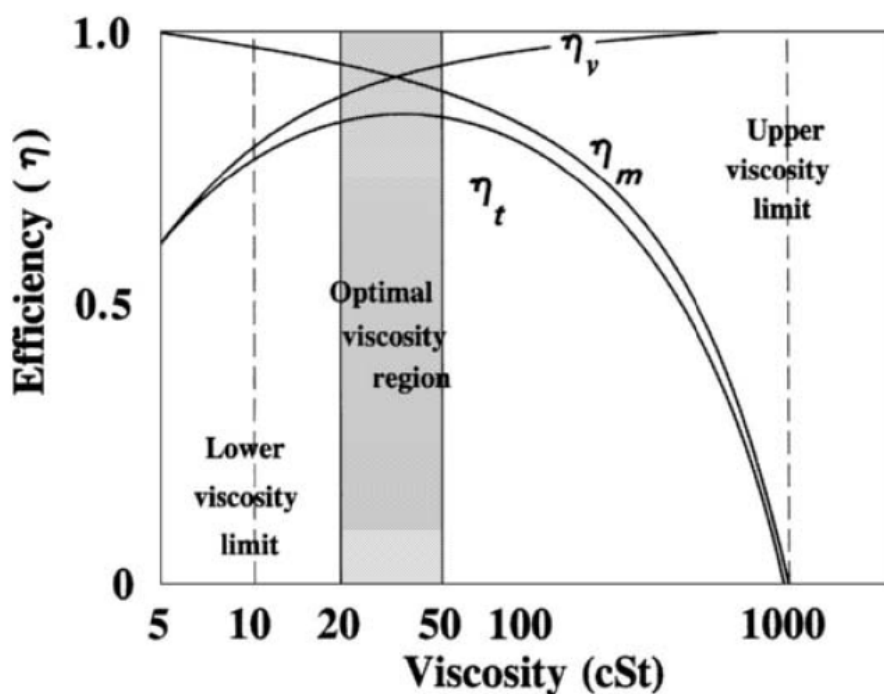
Οι απώλειες ενέργειας σε ένα υδραυλικό σύστημα πρέπει να διατηρούνται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο επίπεδο, και καθώς η ροή του ρευστού είναι στρωτή, ήτοι το ρευστό ρέει ομαλά σε παράλληλες στρώσεις χωρίς αναταράξεις, τα πιο αραιά

ρευστά θα επιτύχουν τους υψηλότερους υδραυλικούς – μηχανικούς ρυθμούς απόδοσης.

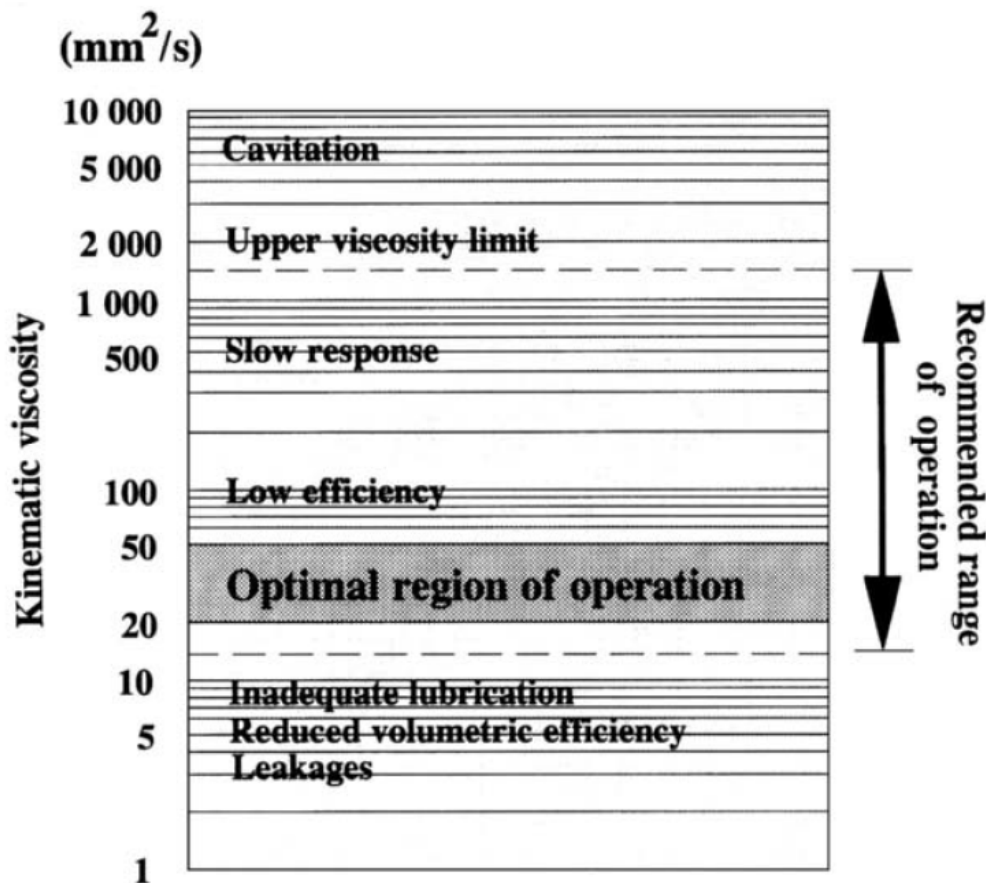
Η χρήση αραιότερων ρευστών, ωστόσο, θα επισύρει αυξημένη διαρροή εντός των παλαιότερα λειτουργούντων διάκενων του συστήματος σε αντλίες, βαλβίδες κλπ, μειώνοντας την ογκομετρική αποδοτικότητα του συστήματος. Επιπροσθέτως οι λιπαντικές ιδιότητες ενός ρευστού μπορεί να γίνουν οριακές καθώς το ιξώδες μειώνεται σε μια υπερβολικά χαμηλή τιμή. Αντιστρόφως, η εφαρμογή ενός πιο ιξώδους ρευστού θα αυξήσει την ογκομετρική αποδοτικότητα ενός συστήματος, αλλά ταυτοχρόνως οι απώλειες ενέργειας θα αυξηθούν λόγω της υψηλότερης τριβής του ρευστού στις σωληνώσεις, τα φίλτρα, τις αντλίες και τις βαλβίδες. Η ικανότητα αναρρόφησης των αντλιών είναι κανονικά ο περιοριστικός παράγοντας για το μέγιστο ιξώδες ρευστού που μπορεί να αντέξει ένα υδραυλικό σύστημα. Εάν οι απώλειες τριβής εντός του συστήματος ξεπεράσουν την ικανότητα αναρρόφησης της αντλίας, το ρευστό δεν θα γεμίσει πλήρως το στόμιο αναρρόφησης και αυτό θα οδηγήσει σε σπηλαιώση, ήτοι το σχηματισμό φυσαλίδων ατμού και θυλακίων κενού αέρος. Αυτό το φαινόμενο μπορεί συχνά να οδηγήσει σε σοβαρή διάβρωση της αντλίας λόγω της ανεπαρκούς λίπανσης και της διάβρωσης που προκαλείται από την κατάρρευση των χώρων σπηλαιώσης.

Πίνακας 5.2 Τυπικά όρια ιξώδους για διάφορα είδη υδραυλικών αντλιών

Είδος Αντλίας	Ιξώδες (cSt)			Δυνατότητα Αναρρόφησης	
	Ελάχ.	Συνιστώμενο	Μέγ.	mm	Hg(bar)
Οδοντωτός Μηχανισμός					
απλά ρουλεμάν	25	25	1000	430	(0,57)
ένσφαιρα και κυλινδρικά ρουλεμάν	16	20	1000	430	(0,57)
Έμβολο					
βαλβίδες έδρας	8	20	200	25	(0,03)
θύρες/ολισθαίνουσες βαλβίδες	16	25	500	125	(0,17)
Βίδα	25	75	500	480	(0,64)
Πτερύγιο	13	25	850	250	(0,33)



Εικ. 5.3 Η υδραυλική αποδοτικότητα ως λειτουργία του ιξώδους: η_m υδραυλικο-μηχανική, η_v ογκομετρική, η_t ολική.



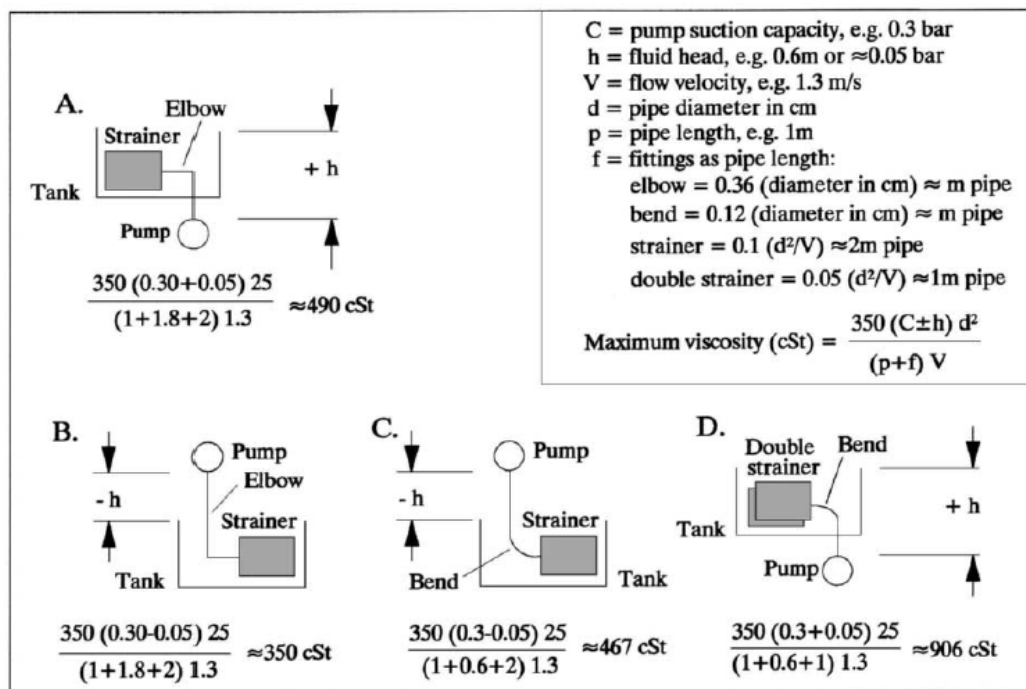
Εικ. 5.4 Η σημασία του ιξώδους για τη λειτουργία ενός τυπικού υδροστατικού συστήματος.

Για το λόγο αυτό το βέλτιστο ιξώδες ενός υδραυλικού συστήματος είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα στις απαιτήσεις λίπανσης και στη μηχανική και ογκομετρική αποδοτικότητα (Εικ. 5.3). Αυτή η εξισορρόπηση των μηχανικών και ογκομετρικών εκτιμήσεων επιτυγχάνεται καλύτερα με πρακτικές δοκιμές, και συχνά βρίσκεται πιο κοντά στο οριακό ιξώδες, διασφαλίζοντας την επαρκή λίπανση της υδραυλικής αντλίας. Τα διάφορα είδη υδραυλικών αντλιών παρουσιάζουν ανόμοιες απαιτήσεις ιξώδους, και οι χειμερινές συνθήκες, για παράδειγμα, στον Καναδά και τις Σκανδιναβικές χώρες συχνά αποτελούν μια σημαντική πρόκληση σε σχέση με την επιλογή υδραυλικών ρευστών για ικανοποιητική λειτουργία του εξοπλισμού εξωτερικών χώρων.

Ως γενικός κανόνας, το ιξώδες του επιλεγμένου ρευστού θα πρέπει να βρίσκεται εντός των οριακών τιμών των 15 – 1500 mm²/s. (cSt) κατά την εκκίνηση και τη λειτουργία του συστήματος, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα σπηλαιώσης και η υπερβολική φθορά των συστατικών (Εικ. 5.4).

Παρόλο που θεωρείται κυρίως μηχανικό πρόβλημα, τα αποτελέσματα της σπηλαιώσης στο σημείο αναρρόφησης της αντλίας μπορούν επίσης να προάγονται

από τον περιορισμό στη ροή που προκαλείται από τη χρήση ενός υπερβολικά ιξώδους ρευστού. Η απώλεια αντίστασης ή πίεσης λόγω του ιξώδους του ελαίου, σε συνδυασμό με την απώλεια πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης, δεν θα πρέπει να δημιουργεί ύφεση της αναρρόφησης πέρα από τις δυνατότητες του συγκεκριμένου είδους αντλίας.



Εικ. 5.5 Παραδείγματα υπολογισμού του μέγιστου ιξώδους

Η σπηλαίωση στο σύστημα αναρρόφησης είναι η συνήθης αιτία της φθοράς της αντλίας, η οποία μπορεί να είναι πολύ γρήγορη. Εφόσον το ιξώδες του ελαίου μπορεί να αποτελεί παράγοντα που συμβάλλει, θα ήταν χρήσιμη μια μέθοδος καθορισμού του ιξώδους κατά το οποίο μπορεί να συμβεί η έναρξη αυτού του φαινομένου (Εικ. 5.5).

5.2 Ιδιότητες ροής σε χαμηλή θερμοκρασία

Είναι απαραίτητο για τα υδραυλικά ρευστά που προορίζονται για εξωτερική χρήση σε κινητό εξοπλισμό, να διαθέτουν ικανοποιητική αντλησιμότητα στις επικρατούσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά την έναρξη λειτουργίας με κρύο ρευστό. Ατυχείς διαδικασίες εκκίνησης χρησιμοποιώντας πολύ ιξώδες υδραυλικό ρευστό μπορεί εύκολα να προκαλέσει υπερβολικά υψηλές πιέσεις, τις οποίες οι βαλβίδες ελέγχου της πίεσης δεν είναι ικανές να χειριστούν ικανοποιητικά, έχοντας ως αποτέλεσμα μεγάλο επισκευαστικό κόστος.

Όλα τα είδη υδραυλικών ρευστών αυξάνουν σε ιξώδες και τελικά στερεοποιούνται καθώς κατεβαίνει η θερμοκρασία, αν και για διάφορους λόγους:

(α) Τα ναφθενικά ορυκτέλαια και η πλειοψηφία των συνθετικών ελαίων εμφανίζουν μια προοδευτική αύξηση ιξώδους χωρίς την εμφάνιση μιας δευτερογενούς στερεάς φάσης καθώς πέφτει η θερμοκρασία, φθάνοντας τελικά στο λεγόμενο «σημείο ροής ιξώδους», ήτοι τη χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία το έλαιο συνεχίζει να ρέει κάτω από τυποποιημένες συνθήκες δοκιμών.

(β) Τα παραφινικά ορυκτέλαια υπόκεινται σε σταδιακό χωρισμό μικρών κρυστάλλων κεριού παραφίνης καθώς η θερμοκρασία κατεβαίνει κάτω από το σημείο θολώσεως του εν λόγω ελαίου. Με την απουσία προσθέτων μετατροπής του κεριού (κατασταλτικά σημείου ροής), αυτοί οι κρύσταλλοι εμφανίζουν μια τάση να συσσωρεύουν και τελικά να σχηματίζουν ένα άκαμπτο πλέγμα, εμποδίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο τη ροή του αποφραγμένου ελαίου. Η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία συνεχίζει να ρέει το κηρώδες έλαιο, πάλι κάτω από τυποποιημένες συνθήκες δοκιμών, ορίζεται ως «σημείο ροής κεριού», και εξαρτάται ως ένα βαθμό από τον προηγούμενο χρόνο / κύκλους θερμοκρασίας ή το «ιστορικό φύλαξης».

(γ) Τα ορυκτέλαια που έχουν επηρεαστεί από υγρασία μπορεί να αποκαλύψουν ένα τεχνητά αυξημένο σημείο ροής λόγω του σχηματισμού συμπλεγμάτων παγοκρυστάλλων, καθώς η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 0°C.

(δ) Τα ρευστά με βάση το νερό συνήθως παγώνουν με το διαχωρισμό δύο ή περισσότερων φάσεων, παγοκρυστάλλων, προσθέτων κλπ.

Ο κύριος όγκος των υδραυλικών ρευστών σε χρήση σήμερα έχει ως βάση παραφινικά ορυκτέλαια που περιέχουν κατασταλτικά πρόσθετα σημείου ροής, τα οποία τροποποιούν τη διαδικασία κρυστάλλωσης του κεριού, αποτρέποντας οποιαδήποτε τάση συσώρευσης και εμποδίζοντας το σχηματισμό συμπλεγμάτων κρυσταλλικού πλέγματος. Έτσι, παρόλο που αμέτρητοι μικροί κρύσταλλοι κεριού είναι εμφανείς στη φάση του κρύου ελαίου, είναι παρόντες στο σχηματισμό προσφέροντας μεγάλη μειωμένη αντίσταση στη ροή και το έλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι το πρωτότυπο βασικό έλαιο.

Τα πολύ χαμηλότερα φυσικά σημεία ροής είναι σύμφυτες ιδιότητες ορισμένων ναφθενικών ορυκτών ελαίων και συνθετικών ρευστών ($\leq - 60^{\circ}\text{C}$), αλλά είναι σημαντικό να αντιληφθούμε ότι είναι το πραγματικό *ιξώδες* στη χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας που αποτελεί το πραγματικό κριτήριο όταν επιλέγονται ρευστά για εφαρμογή σε χαμηλή θερμοκρασία.

5.3 Εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία

Ο δείκτης ιξώδους (VI) εκφράζει την κλίση της καμπύλης ιξώδους – θερμοκρασίας σε ένα δεδομένο ρευστό, και είναι πρωταρχικής σημασίας όσον αφορά υδραυλικά συστήματα που λειτουργούν σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, όπως για παράδειγμα μονάδες που λειτουργούν σε εξωτερικούς χώρους. Ο κινηματικός δείκτης ιξώδους (KVI, συχνά εν συντομία VI) υπολογίζεται από το ιξώδες του ρευστού που μετράται σε σεντιστόουκ στους 40°C και 100°C σύμφωνα με την ASTM μέθοδο δοκιμών D2270. Αυτή η μέθοδος είναι προέκταση της διαδικασίας στην οποία το ρευστό συγκρινόταν με τα δεδομένα ιξώδους ελαίων αναφοράς αισθητά ανόμοιων κλίσεων ιξώδους – θερμοκρασίας.

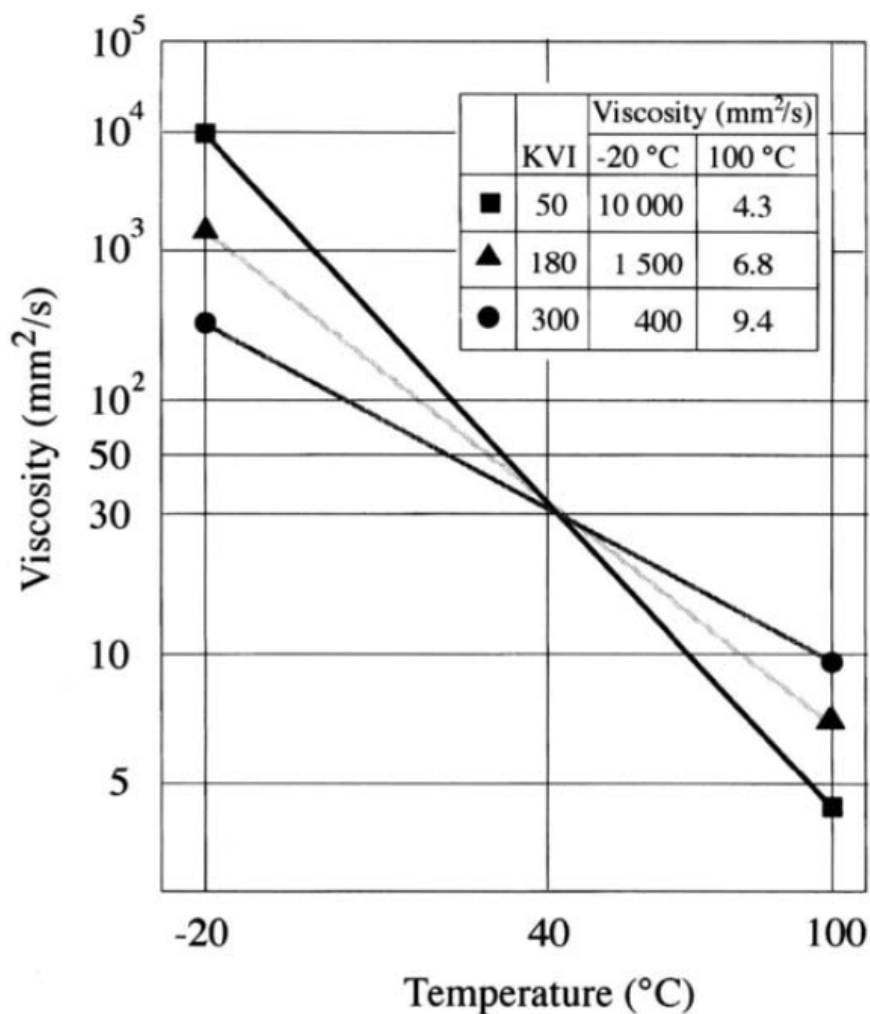
Η εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία μπορεί να εκφραστεί με την εξίσωση Walther:

$$\text{Log}^2(v+\alpha) = b \cdot \log T + c$$

στην οποία v είναι το κινηματικό ιξώδες, $\alpha = 0.8$, και b , c είναι σταθερές για το εκάστοτε ρευστό. Η εξίσωση Walther αποτελεί τη βάση για τα πρότυπα διαγράμματα ιξώδους, επιτρέποντας να συναφθούν τα δεδομένα ιξώδους – θερμοκρασίας ως ευθείες γραμμές για τα Νευτωνικά ρευστά. Η γραφική παράσταση των σχέσεων ιξώδους – θερμοκρασίας κατ' αυτό τον τρόπο είναι προφανώς η πιο βολική βάση για εξέταση της διαφοράς στο ιξώδες ενός ρευστού σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας (εικ. 5.6).

Το ιδανικό υδραυλικό ρευστό φαίνεται να είναι ένα ισο-ιξώδες ρευστό, ήτοι σταθερού ιξώδους ανεξαρτήτως από διαφορές στη θερμοκρασία. Αυτό δυστυχώς είναι αδύνατο στην πράξη, αφού η εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία είναι λειτουργία της πραγματικής χημικής δομής και τελικό περιεχόμενο των πολυμερών βελτιωτικών του δείκτη ιξώδους (VII) στο ρευστό.

Στις μέρες μας, τα περισσότερα υδραυλικά ρευστά είναι μείξεις από εξαιρετικά ραφινρισμένα ορυκτά βασικά έλαια, με δείκτες ιξώδους μεταξύ 90 και 110. Ορισμένα συνθετικά έλαια όπως π.χ. οι σιλικόνες, οι εστέρες και οι πολυολεφίνες, διαθέτουν επίσης εξαιρετικά ευνοϊκούς φυσικούς δείκτες ιξώδους. Με την προσθήκη των κατάλληλων βελτιωτικών δείκτη ιξώδους σε επιλεγμένα βασικά ρευστά, μπορούν να παραχθούν προϊόντα που εμφανίζουν δείκτες ιξώδους γύρω στο 350, επιτρέποντας τη λειτουργία του κατάλληλου υδραυλικού εξοπλισμού σε εκπληκτικά ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.



Εικ. 5.6 Σχέση ιξώδους – θερμοκρασίας μέσων με διαφορετικούς δείκτες ιξώδους.

5.4 Διαμητική σταθερότητα

Οι ρυθμοί διάτμησης στα υδραυλικά συστήματα μπορεί να είναι της τάξης του 10^7 s^{-1} στα κρίσιμα εξαρτήματα, όπως π.χ. τις πτερυγιοφόρες αντλίες, και αυτό θα έχει έντονη επίδραση στο ιξώδες των μη Νευτωνικών υγρών.

Η επίδραση των υψηλών ρυθμών διάτμησης έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε σχέση με πολλά ρητινούχα υδραυλικά ορυκτέλαια σε χρήση, αν και άλλα μέσα, όπως π.χ. κάποιες σιλικόνες και γαλακτώματα τύπου νερό σε έλαιο, επηρεάζονται επίσης. Τα ρευστά που περιέχουν πολυμερή υψηλού μοριακού βάρους υπόκεινται σε δυο αποτελέσματα που σχετίζονται με το ιξώδες, καθώς αυξάνει ο ρυθμός διάτμησης. Κατά το αρχικό στάδιο της στρωτής ροής, τα μεγάλα, κατά κύριο λόγο γραμμικά μόρια πολυμερούς εμφανίζουν έναν προοδευτικό βαθμό προσανατολισμού προς την κατεύθυνση της ροής του ρευστού, με αποτέλεσμα αναστρέψιμη (προσωρινή) απώλεια ιξώδους. Σε πιο ακραίους υψηλούς διαμητικούς ρυθμούς, που δημιουργούν τυρβώδη ροή, τα μεγαλύτερα μόρια πολυμερούς μπορεί επίσης να αποδομηθούν

μηχανικά, σχηματίζοντας μικρότερα, λιγότερο αποτελεσματικά θραύσματα πολυμερούς, με αποτέλεσμα μια μη αναστρέψιμη (μόνιμη) απώλεια ιξώδους.

Ερευνητικές μελέτες δείχνουν ότι τα μη-Νευτώνικά ρευστά μπορεί να είναι επωφελή λιπαντικά για έδρανα κύλισης (απλά ρουλεμάν), διατηρώντας το θεωρητικό πάχος του υμένα που έχει προβλεφθεί για χαμηλό διατμητικό ιξώδες, επιτυγχάνοντας όμως σημαντική ($\leq 40\%$) μείωση της τριβής. Είναι, όμως, απαραίτητο να αξιολογηθούν οποιεσδήποτε πιθανές ζημιογόνες επιδράσεις από την απώλεια ιξώδους που σχετίζεται με τη διάτμηση σε κρίσιμα εξαρτήματα που λειτουργούν κάτω από οριακές συνθήκες, όταν εξετάζεται η χρήση ρητινούχων υδραυλικών ρευστών με υψηλό δείκτη ιξώδους. Υψηλές διατμητικές τάσεις εμφανίζονται σε πολλά σημεία στα σύνθετα υδραυλικά συστήματα, αλλά συχνά είναι οι βαλβίδες ελέγχου της πίεσης αυτές που αποτελούν το πιο κρίσιμο εξάρτημα εν προκειμένω.

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την ευαισθησία των πολυμερών προσθέτων έναντι των υψηλών διατμητικών τάσεων, ιδιαίτερα η μοριακή δομή και η κατανομή του μοριακού βάρους. Τα εμπορικά υδραυλικά ρευστά ποικίλουν πολύ στην επιλογή των βασικών ελαίων τους, το είδος του πολυμερούς και τη συμπύκνωση, και ως εκ τούτου στην αποδοτικότητά τους κάτω από συνθήκες υψηλής διάτμησης.

5.5 Εξάρτηση του ιξώδους από την πίεση

Η εξάρτηση του ιξώδους από την πίεση είναι πιο εμφανής στις μεγάλες αλλαγές πίεσης. Οι εικόνες 5.7 και 5.8 απεικονίζουν το ιξώδες των ISO VG46 και VG32 υδραυλικών ελαίων ($KVI = 100$) ως μια συνάρτηση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Όπως φαίνεται στην εικ. 5.7, το ιξώδες του ελαίου σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση διπλασιάζεται περίπου όταν η πίεση αυξάνει στα 35 MPa (350 bar).

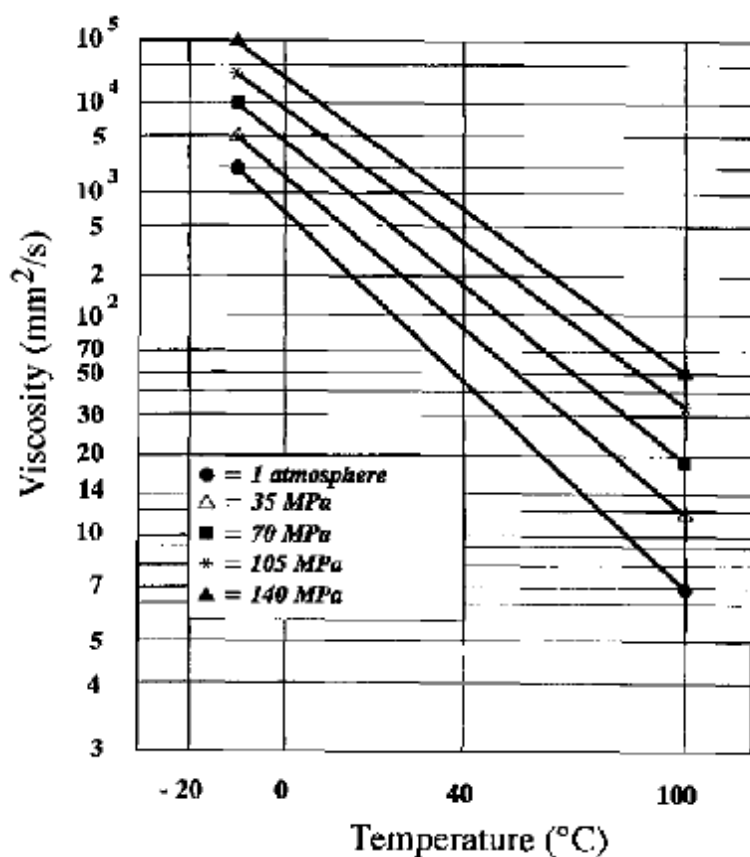
Η μεταβολή του ιξώδους με την πίεση συχνά παραμελείται στα υδραυλικά συστήματα χαμηλής πίεσης και όπου συμβαίνουν μόνο μέτριες μεταβολές πίεσης. Η επίδραση όμως, είναι αρκετά υπολογίσιμη στις αυξημένες λειτουργικές πιέσεις και οι επακόλουθες αυξήσεις του ιξώδους μπορεί να έχουν μεγάλη σημασία σε σχέση με το φιλτράρισμα και τη λίπανση. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις της πίεσης λόγω της υδραυλικής κρούσης μπορεί να επιτύχουν τιμές πολύ μεγαλύτερες από τη φυσιολογική λειτουργική πίεση.

Η χημική σύνθεση επηρεάζει πολύ τα χαρακτηριστικά ιξώδους – πίεσης ενός υδραυλικού ρευστού. Στις περιπτώσεις των ορυκτών και συνθετικών ελαίων η επίδραση της πίεσης φαίνεται να συσχετίζεται αρκετά καλά με τους αντίστοιχους

δείκτες ιξώδους. Ως εκ τούτου, τα παραφινικά έλαια με υψηλό δείκτη ιξώδους επηρεάζονται κάπως λιγότερο από την πίεση από τα χαμηλού VI ναφθενικά έλαια κυκλικής κατά κύριο λόγο μοριακής δομής (Εικ. 5.8). Η μικρότερη τάση πάχυνσης κάτω από πίεση φαίνεται από ορισμένα υψηλού VI συνθετικά έλαια, όπως π.χ. σύμπλεγμα εστέρων και πολυαιθέρων.

Ο συντελεστής πίεσης ιξώδους (γ) είναι κατ' ουσίαν σταθερός για μεγάλο εύρος ρευστών σε πιέσεις μεταξύ 0.1 και 70 MPa που ενδιαφέρουν την υδραυλική.

Έχουν προταθεί πολλές παραστάσεις για να προβλεφθούν τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας και της πίεσης στα ιξώδη διαφόρων λειτουργικών ρευστών. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο πιο βατή είναι η μαθηματική παράσταση, τόσο λιγότερο ακριβές είναι το αποτέλεσμα.

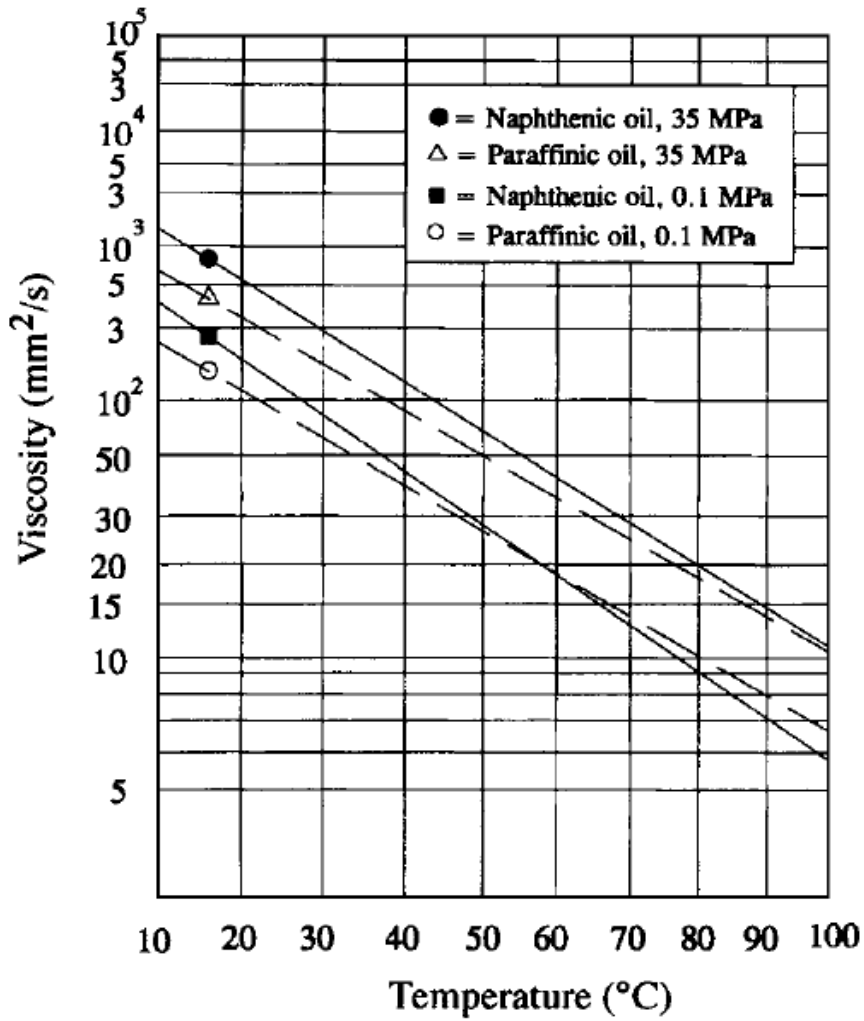


Εικ. 5.7 Ισοβαρή ιξώδους – πίεσης ενός τυπικού ορυκτού υδραυλικού ρευστού (Shell Tellus Oil 46).

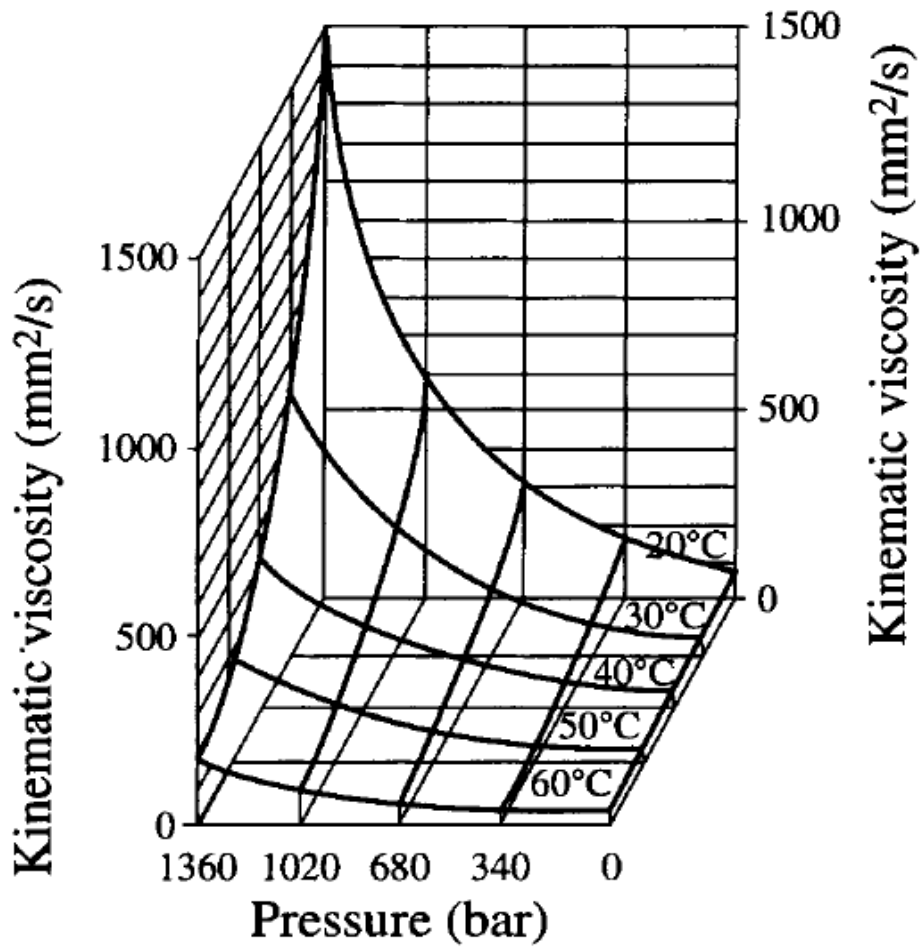
Μια απλή παράσταση είναι

$$\eta = \eta_0 \exp(\gamma p - \beta t),$$

όπου η_0 το ιξώδες σε κάποια αναφορά θερμοκρασίας και πίεσης, $p =$ πίεση, $t =$ θερμοκρασία και γ και β είναι σταθερές καθορισμένες από μετρούμενα δεδομένα ιξώδους.



Εικ. 5.8 Συγκριτική επίδραση της πίεσης στα έλαια με χαμηλούς (ναφθενικά) και υψηλούς (παραφινικά) δείκτες ιξώδους.



Εικ. 5.9 Το κινηματικό ιζώδες ως συντελεστής πίεσης και θερμοκρασίας για ένα ISO VG32 ορυκτέλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ

Η συμπίεστικότητα ενός υδραυλικού ρευστού διέπει την ενέργεια που απορροφάται και το χρόνο που απαιτείται, την παραγωγή πίεσης από την αντλία του συστήματος και επίσης την ενέργεια που απελευθερώνεται στην αποσυμπίεση. Επιπροσθέτως, η συμπίεστικότητα ενός υδραυλικού ρευστού έχει μεγάλη σημασία αναφορικά με τη δυσκαμψία μετάδοσης ενέργειας και τη λειτουργία των συστημάτων σερβο. Κανονικά είναι επιθυμητό ότι η συμπίεστικότητα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερη, παρόλο που μια εξαιρετικά υψηλή αντίσταση στη συμπίεστικότητα ενός υδραυλικού ρευστού θα μπορούσε πραγματικά να αποτελεί μειονέκτημα στις άμεσα μεταδιδόμενες δυνάμεις κρούσης. Ωστόσο, η εγγενής ελαστικότητα των μηχανικών εξαρτημάτων που περιλαμβάνει το σύστημα έχει το αποτέλεσμα να αυξάνει την απόλυτη συμπίεστικότητα του ρευστού σε μια μάλλον υψηλότερη φαινόμενη τιμή. Στην πράξη, η προϋπόθεση για μια αποδεκτά χαμηλή συμπίεστικότητα πληρείται διασφαλίζοντας ότι το ρευστό παραμένει απαλλαγμένο από εγκλωβισμένο αέρα.

Πίνακας 6.1 Μείωση του όγκου ενός ορυκτού ελαίου ISO VG32 (KVI = 100) κάτω από πίεση

Πίεση (MPa)	Σχετικός όγκος		
	10°C	40°C	100°C
0	1.000	1.000	1.000
25	0,989	0,986	0,981
50	0,978	0,974	0,966
75	0,969	0,964	0,953
100	0,961	0,955	0,943
125	0,953	0,947	0,933

Όταν ένας πεπερασμένος όγκος ρευστού συμπιέζεται, ο όγκος του μειώνεται κατά μια ποσότητα (ΔV) ανάλογη της αύξησης της πίεσης (ΔP), ήτοι μια κλασματική μείωση του όγκου $\Delta V/\Delta V_0$.

$$\text{Συμπιεστότητα } (x) = - \Delta V/V_0 \cdot \Delta P$$

(το αρνητικό σύμβολο υποδηλώνει τη μείωση του όγκου). Με άλλα λόγια η συμπιεστότητα ενός ρευστού είναι ισοδύναμη προς την κλασματική μείωση του όγκου δια την μεταβολή της πίεσης. Στα ορυκτά έλαια αυτή η μείωση του όγκου είναι της τάξεως του 0,5% για κάθε 10 MPa αύξηση πίεσης (Πίνακας 6.1).

Η συμπιεστότητα των ορυκτών ελαίων είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του νερού και ποικίλει, αν και σε πολύ μικρή έκταση, ανάλογα με το είδος του ελαίου. Τα αρωματικά έλαια τείνουν να έχουν λιγότερη συμπιεστότητα και τα ναφθενικά έλαια μεγαλύτερη, με τα παραφινικά έλαια να βρίσκονται κάπου ενδιάμεσα. Η συμπιεστότητα αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ για έλαια παρόμοιας σύνθεσης, εκείνα με το χαμηλότερο ιξώδες έχουν κάπως μεγαλύτερη συμπιεστότητα από αυτά με τους περισσότερους βαθμούς ιξώδους.

Η αμοιβαία αξία της συμπιεστότητας ονομάζεται συντελεστής όγκου του ρευστού:

$$\text{συντελεστής όγκου } (K) = - V_0 \cdot \Delta P / \Delta V$$

Αφού $V_0/\Delta V$ είναι ένα αδιάστατο κλάσμα, οι μονάδες του συντελεστή όγκου είναι οι ίδιες όπως για το ΔP , ήτοι bar, N/m² ή Πασκάλ (Pa).

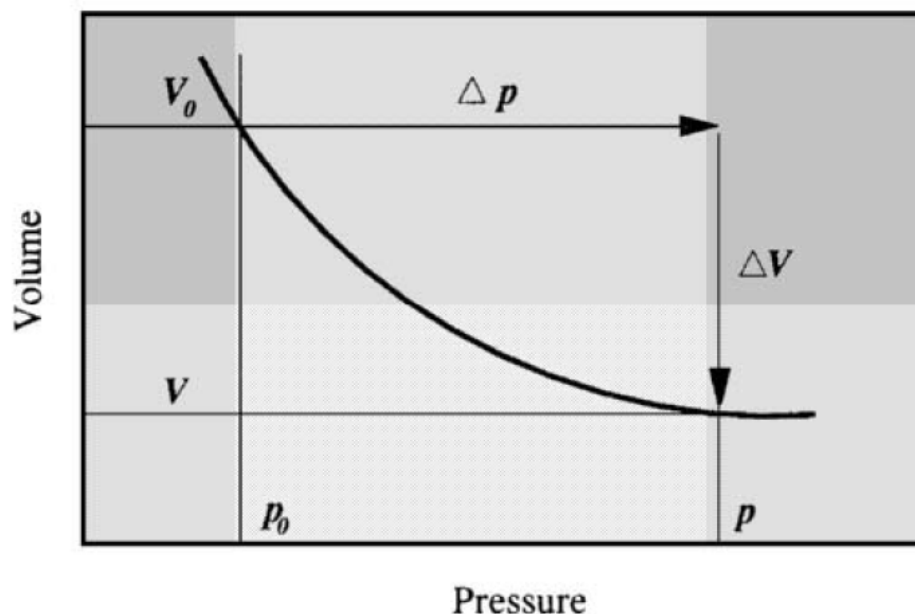
Ο υψηλός συντελεστής όγκου είναι συνώνυμος με τη χαμηλή συμπιεστότητα, οι μεταβολές του όγκου είναι σχετικά μικρές και το ρευστό είναι πιο δύσκαμπτο στη χρήση.

Ο συντελεστής όγκου (K) ενός ρευστού μπορεί να εκφραστεί είτε ως τέμνουσα είτε ως εφαπτόμενη αξία (εικ. 6.1 και 6.2) κάτω από ισόθερμες ή ισηντροπικές συνθήκες. Ο ισόθερμος ή στατικός συντελεστής όγκου, που αναφέρεται σε συμπίεση χωρίς αλλαγή θερμοκρασίας, έχει σημασία μόνο για σχετικά αργές διαδικασίες συμπίεσης. (Σημ.: Οι συμβολισμοί B_T και B_S χρησιμοποιούνται μερικές φορές για συντελεστές όγκου κάτω από ισόθερμες και ισηντροπικές συνθήκες, αντιστοίχως).

6.1 Διατέμνων συντελεστής όγκου

6.1.1 Ο ισόθερμος διατέμνων συντελεστής όγκου

Ο ισόθερμος διατέμνων συντελεστής όγκου είναι η αμοιβαία αξία της συμπίεστικότητας όπως προαναφέρθηκε, υπολογιζόμενος για σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας:



Εικ. 6.1 Διατέμνων συντελεστής όγκου.

$$K_{\text{sec}} = - (V_0/\Delta V)\Delta P \text{ σε σταθερή θερμοκρασία}$$

και παράγει μια κατά προσέγγιση αξία που βασίζεται στη συνολική μείωση όγκου σε μια δεδομένη μεταβολή πίεσης. Αυτή η αξία μπορεί να υπολογιστεί για οποιοδήποτε ρευστό από την πυκνότητα ή ιξώδες του στην ατμοσφαιρική πίεση, ως ακολούθως:

$$K_{\text{sec}} = (1.30+0.15 \log \eta) \{ \text{antilog } 0.0023(20-t) \} \times 10^4 + 5.6P \text{ bar,}$$

$$K_{\text{sec}} = \{ 1.51+7(\rho-0.86) \} \{ \text{antilog } 0.0023(20-t) \} \times 10^4 + 5.6P \text{ bar,}$$

όπου,

P = η πίεση σε bar,

t = η θερμοκρασία σε °C

η = το κινηματικό ιξώδες στην ατμοσφαιρική πίεση σε cSt,

ρ = η πυκνότητα στους 20°C και η ατμοσφαιρική πίεση σε kg/l.

Ο ισεντροπικός (δυναμικός) διατέμνων συντελεστής όγκου είναι η προτιμώμενη παράμετρος όπου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ξαφνικές μεταβολές

της πίεσης και της θερμοκρασίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υπολογίζουν τις δυνάμεις που ενεργούν στα εξαρτήματα του συστήματος και τις ταχύτητες αντίδρασης των μηχανισμών σέρβου:

$$K_{sec} = - (V_o/\Delta V)\Delta P \text{ σε σταθερή εντροπία}$$

Όπως στην περίπτωση του ισόθερμου αντίστοιχού του, ο ισεντροπικός συντελεστής όγκου μπορεί παρεμφερώς να υπολογιστεί μέσω του κινηματικού ιξώδους ή πυκνότητας του ρευστού στην ατμοσφαιρική πίεση:

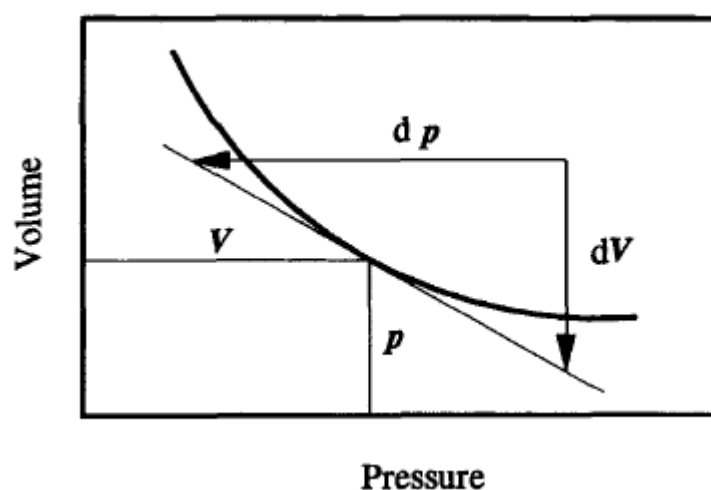
$$K_{sec} = \{1.57+0.15 \log \eta\} \{ \text{antilog } 0.0024(20-t) \} \times 10^4 + 5.6P \text{ bar}$$

$$K_{sec} = \{1.78+7(\rho-0.86)\} \{ \text{antilog } 0.0024(20-t) \} \times 10^4 + 5.6P \text{ bar}$$

6.2 Εφαπτόμενος συντελεστής όγκου

Ο ισόθερμος εφαπτόμενος συντελεστής όγκου είναι η επιστημονικά σωστή αξία σε σταθερή θερμοκρασία. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, ο εφαπτόμενος συντελεστής προέρχεται από την κλίση της καμπύλης όγκου – πίεσης (Εικ. 7.2) και είναι συγκεκριμένος για την πίεση P στην οποία μετράται η κλίση – dV/dP:

$$K_{tan} = -V(dP/dV) \text{ σε σταθερή θερμοκρασία}$$



Εικ. 6.2 Εφαπτόμενος συντελεστής όγκου

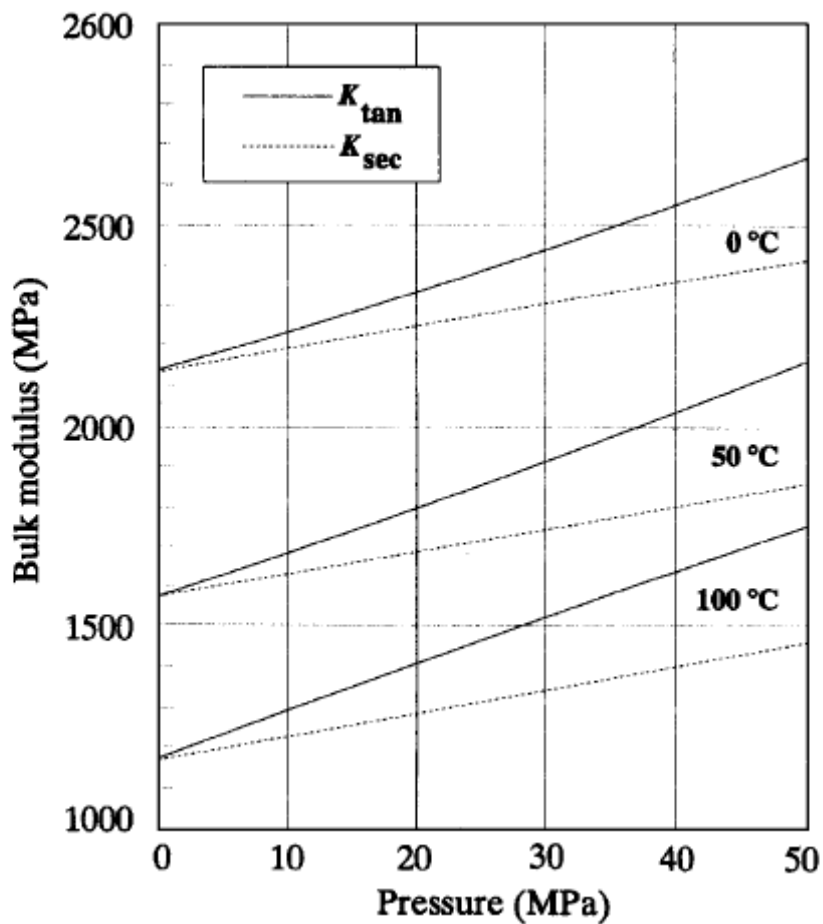
Ο αντίστοιχος ισεντροπικός εφαπτόμενος συντελεστής όγκου μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ισόθερμη τιμή με το C_p/C_v , δηλαδή το λόγο της θερμοκρασίας του συγκεκριμένου ρευστού σε σταθερή πίεση και όγκο, αντιστοίχως. Οι τυπικές τιμές του C_p/C_v για τα ορυκτά έλαια αναφέρονται στον Πίνακα 6.2.

Οι τυπικές τιμές του ισεντροπικού εφαπτόμενου συντελεστή όγκου για ορυκτά έλαια στους 50°C και ατμοσφαιρική πίεση είναι $1,62 \times 10^3$ MPa (ISO

VG100) και $1,57 \times 10^3$ MPa (ISO VG32). Ο συντελεστής όγκου μειώνεται με τη θερμοκρασία, αλλά αυξάνει με την πίεση (Εικ. 6.3).

Πίνακας 6.2 Τυπικές τιμές του C_p/C_v για ορυκτέλαια

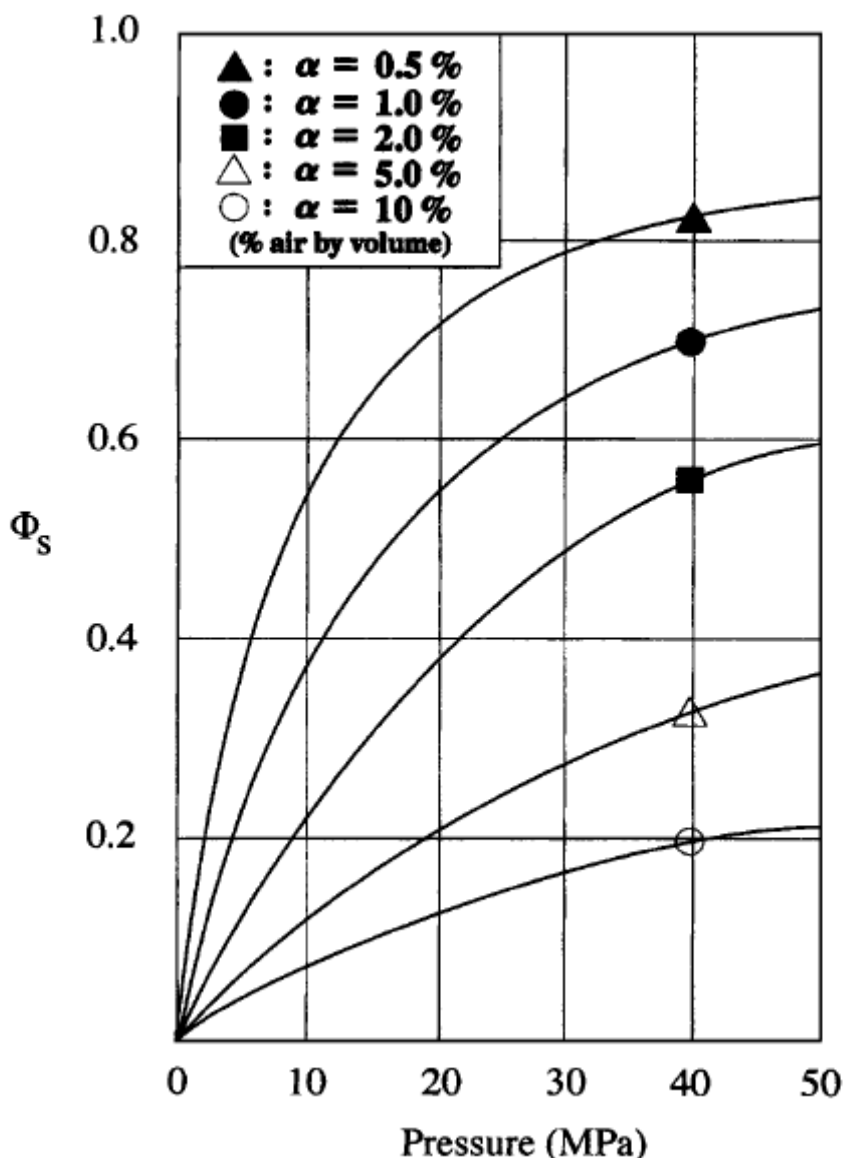
Θερμοκρασία °C	Ατμοσφαιρική πίεση	70 MPa
10	1,175	1,15
60	1,166	1,14
120	1,155	1,13



Εικ. 6.3 Ισηντροπικοί συντελεστές όγκου του ISO VG32 ορυκτελαίου, $KVI \approx 100$ (Shell Tellus Oil 32).

6.3 Η επίδραση του αέρα στον συντελεστή όγκου

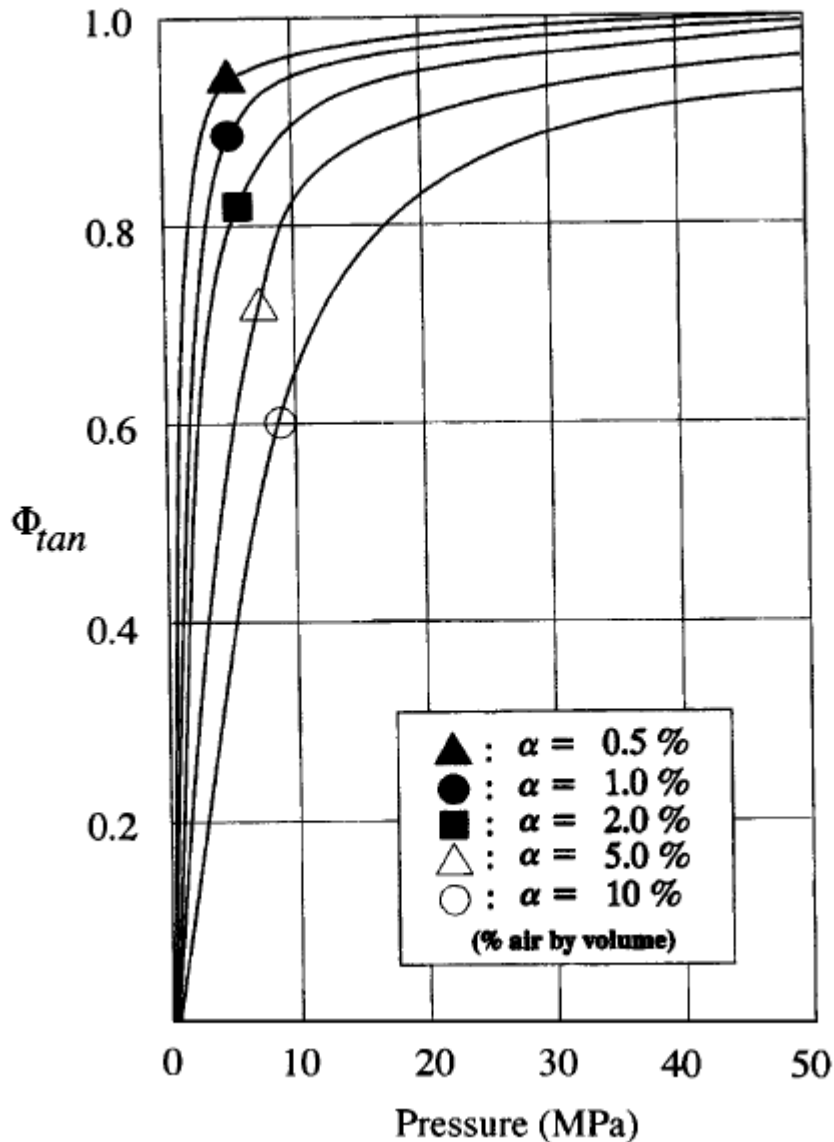
Στις χαμηλές θερμοκρασίες μια ποσότητα ελεύθερου (αδιάλυτου) αέρα σε ένα υδραυλικό ρευστό οδηγεί σε δραματικά αυξημένη συμπίεστικότητα και έναν αντιστοίχως χαμηλότερο συντελεστή όγκου. Αυτό μπορεί να διευκρινιστεί από το γεγονός ότι ο διατέμνων συντελεστής όγκου ενός ρευστού που περιέχει 2% όγκο ελεύθερου αέρα μειώνεται σε κατά προσέγγιση ένα δέκατο της πρωτότυπης τιμής του σε πίεση 40 bar.



Εικ. 6.4 Διορθωτικός συντελεστής για διατέμνοντα συντελεστή όγκου ενός ρευστού που περιέχει αδιάλυτο αέρα.

Καθώς η πίεση αυξάνει, η επίδραση του αδιάλυτου αέρα μειώνεται, και ο συντελεστής όγκου κατά προσέγγιση μειώνεται στο ήμισυ με 1% αδιάλυτο αέρα σε πίεση 170 bar.

Οι κατά προσέγγιση τιμές για το μειωμένο συντελεστή όγκου ως αποτέλεσμα μιας ποσότητας ελεύθερου αέρα μπορούν να υπολογιστούν πολλαπλασιάζοντας την κανονική, απαλλαγμένη από τον αέρα τιμή με τους αντίστοιχους συντελεστές Φ_{sec} και Φ_{tan} από τις εικόνες 6.4 και 6.5 :



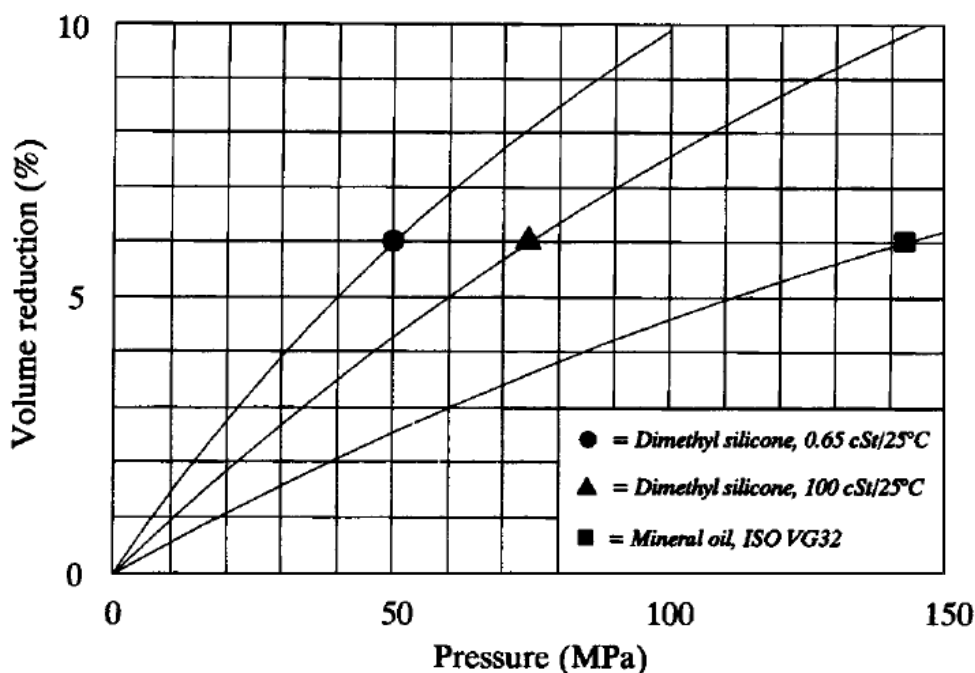
Εικ. 6.5 Διορθωτικός συντελεστής για τον επαπτόμενο συντελεστή όγκου ενός ρευστού που περιέχει αδιάλυτο αέρα.

$$\begin{aligned} \text{διατέμνων συντελεστής όγκου (με περιεχόμενο αέρα)} &= K_{sec} \Phi_{sec} \\ \text{εφαπτόμενος συντελεστής όγκου (με περιεχόμενο αέρα)} &= K_{tan} \Phi_{tan} \end{aligned}$$

6.4 Ρευστά με χαμηλό συντελεστή όγκου

Σε αντίθεση με την πλειοψηφία των υδραυλικών βασικών ελαίων, μερικά ρευστά που διαθέτουν γενικά ευνοϊκές ιδιότητες, χαρακτηρίζονται από εκπληκτικά

χαμηλή συμπιεστότητα. Τα ρευστά σιλिकόνης, οι πυριτικοί εστέρες, οι φθοράνθρακες και οι φθοροαιθέρες είναι παραδείγματα τέτοιων ρευστών.



Εικ. 6.6 Υψηλή συμπιεστότητα των ρευστών σιλικόνης.

Λόγω της εύκαμπτης φύσης της ραχοκοκαλιάς σιλοξανίου, τα ρευστά σιλικόνης εμφανίζουν ένα σχετικά υψηλό βαθμό συμπιεστότητας και μεταβολής του ιξώδους υπό πίεση. Οι χαμηλοί βαθμοί ιξώδους των διμεθυλοπολυσιλοξανίων συνεπώς χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα αποσβεστήρων κραδασμών (αμορτισέρ), και ο συνδυασμός τους με την ελικοειδή μοριακή δομή των σιλικόνων έχει οδηγήσει στο ψευδώνυμο «υγρό ελατήριο». Η εικόνα 6.6 απεικονίζει την υψηλή συμπιεστότητα των ρευστών σιλικόνης σε σύγκριση με ένα συμβατικό ορυκτέλαιο.

6.5 Πυκνότητα

Η πυκνότητα συμβολίζεται με το σύμβολο ρ , και είναι η αναλογία της μάζας προς τον όγκο σε κάποια καθορισμένη θερμοκρασία. Η συμβατική μονάδα είναι kg/l και οι 15°C είναι μια συνηθισμένη θερμοκρασία αναφοράς. Όλα τα ρευστά αυξάνουν σε όγκο όταν θερμαίνονται και εμφανίζουν μια αντίστοιχη συρρίκνωση όταν ψύχονται. Λόγω αυτής της μεταβολής του όγκου, όταν υποβάλλεται σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ποικίλει αντιστοίχως η πυκνότητα του ρευστού :

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} - \alpha (t_2 - t_1),$$

όπου α είναι ο διορθωτικός συντελεστής πυκνότητας.

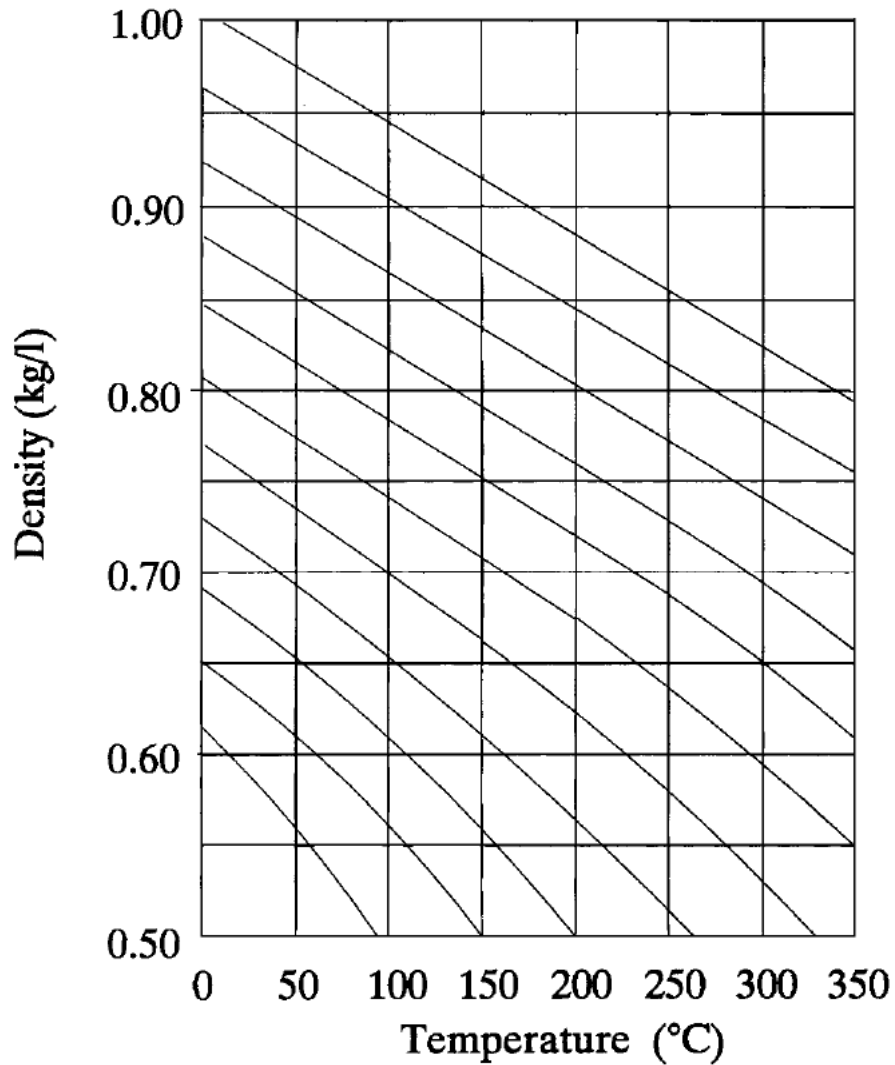
Πίνακας 6.3 Διορθωτικός συντελεστής πυκνότητας για ρευστά υδρογονανθράκων

Πυκνότητα στους 15°C	Διορθωτικός συντελεστής ανά 1°C (α)
0,7422 – 0,7534	0,000 79
0,7535 – 0,7646	0,000 77
0,7647 – 0,7757	0,000 76
0,7758 – 0,7866	0,000 74
0,7867 – 0,7984	0,000 72
0,7985 – 0,8020	0,000 70
0,8021 – 0,8279	0,000 68
0,8280 – 0,8594	0,000 67
0,8595 – 0,9245	0,000 65
0,9246 – 1,0243	0,000 63
1,0244 – 1,0742	0,000 61

Η μεταβολή της πυκνότητας με τη θερμοκρασία (Εικ. 6.7) σχετίζεται επίσης με το μέσο μοριακό βάρος των υδρογονανθράκων και μπορεί να υπολογιστεί με εύλογη ακρίβεια χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} - \beta (t_2 - t_1) - \gamma (t_2 - t_1)^2,$$

όπου β και γ είναι συναρτήσεις του μοριακού βάρους όπως δίδονται στον Πίνακα 6.4.



Εικ. 6.7 Μεταβολή της πυκνότητας με τη θερμοκρασία στα ορυκτέλαια.

Πίνακας 6.4 Συντελεστές σχετιζόμενοι με το μέσο μοριακό βάρος για υπολογισμούς της μεταβολής της πυκνότητας με τη θερμοκρασία

Μέσο μοριακό βάρος (MMW)	β	γ
300	0,000 67	$0,8 \times 10^7$
350	0,000 65	$1,3 \times 10^7$
400	0,000 636	$1,7 \times 10^7$

Η μεταβολή πυκνότητας που σχετίζεται με τη θερμοκρασία έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές στην υδραυλική, όπως π.χ. μετατροπή των κινηματικών ιξωδών σε αντίστοιχα δυναμικά, και αποτελεσματικοί υπολογισμοί των κινητικών μεταδόσεων.

Η πραγματική μεταβολή του όγκου που προκαλείται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο

$$\Delta V = V \cdot \alpha_{\text{vol}} \cdot \Delta t, \text{ όπου } \Delta t \text{ είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας.}$$

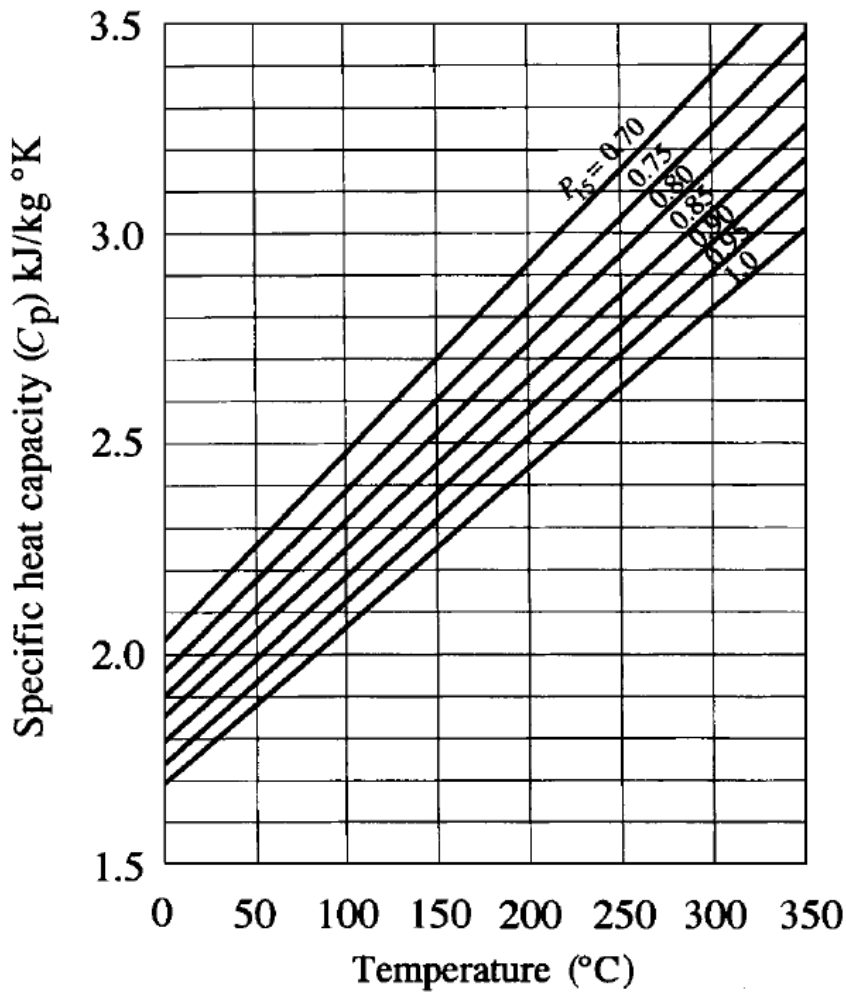
Ο μέσος συντελεστής αύξησης όγκου (α_{vol}) για τα υδραυλικά ρευστά που βασίζονται σε ορυκτέλαια είναι 0,000 75 ανά °C. Για το λόγο αυτό ο όγκος 1 λίτρου ορυκτού υδραυλικού ελαίου αυξάνει κατά 0,75 ml σε αύξηση θερμοκρασίας 1 °C. Αυτό έχει μεγάλη σημασία όσον αφορά στην πίεση ενός ρευστού εντός ενός περιορισμένου χώρου, για παράδειγμα σε έναν πλήρως εκτεταμένο υδραυλικό κύλινδρο. Κάτω από τέτοιου είδους συνθήκες, με καμία πιθανότητα να εξαπλωθεί το υγρό, η πίεση θα αυξηθεί περίπου κατά 1 MPa/ °C. Συνεπώς, ακόμα και μία μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 15 °C θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια αύξηση του όγκου κατά 1% και μια αύξηση της πίεσης κατά 15 MPa (150 bar) σε ένα περιορισμένο χώρο. Εάν για παράδειγμα, η επίδραση της θερμότητας από τον ήλιο σε ένα υδραυλικό κύλινδρο γεμάτο από έλαιο κλεισμένο και από τις δύο πλευρές, προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας κατά 40 °C, η επακόλουθη πίεση θα μπορούσε να αυξηθεί σε 40 MPa (400 bar)! Για ενδεχόμενα τέτοιας φύσεως είναι αναμφίβολα επιθυμητό να εξεταστούν μέτρα ασφαλείας για να επιτραπεί η αύξηση της πίεσης. Αντιστρόφως, η ψύξη των υδραυλικών ρευστών σε έναν περιορισμένο χώρο θα οδηγήσει σε μειωμένες πιέσεις.

6.6 Θερμικές ιδιότητες

Η ειδική θερμοχωρητικότητα σε σταθερή πίεση (C_p) έχει σχέση με τη θερμοκρασία, αλλά επηρεάζεται σε ασήμαντο βαθμό από το επίπεδο της πίεσης.

Για τα ορυκτέλαια και τους συνθετικούς υδρογονάνθρακες $C_p \approx 1841 + 4.4t$ J/kg ανά K (όπου t είναι σε °C). Τυπικές τιμές για την ειδική θερμοχωρητικότητα διαφόρων ειδών ρευστών εμφανίζονται στον Πίνακα 6.5.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα είναι επίσης συνάρτηση της πυκνότητας (Εικ. 6.8).



Εικ. 6.8 Σχέση της ειδικής θερμοχωρητικότητας / πυκνότητα των ορυκτελαίων.

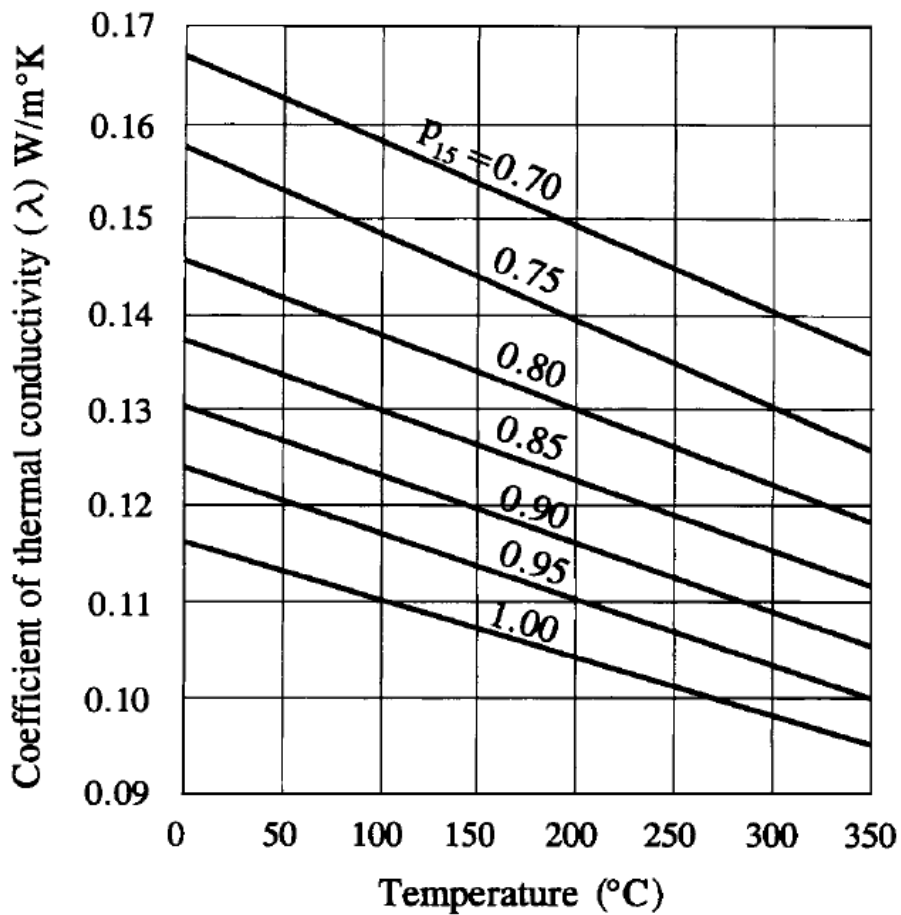
Η θερμική αγωγιμότητα (λ) σχετίζεται επίσης με τη θερμοκρασία και είναι κατά προσέγγιση 0,12 – 0,13 W/m ανά $^{\circ}\text{K}$ για τα ορυκτέλαια και τους συνθετικούς υδρογονάνθρακες. Η πολικότητα και οι δεσμοί υδρογόνου εμφανίζουν μια σημαντική επίδραση στις ιδιότητες της ειδικής θερμοχωρητικότητας και της θερμικής αγωγιμότητας. Οι αντίστοιχες ιδιότητες για ρευστά με ISO HFA και HFC είναι έτσι σημαντικά υψηλότερες από ότι οι υδρογονάνθρακες. (Πίνακας 6.5).

Η σχέση της θερμικής αγωγιμότητας με την πυκνότητα και τη θερμοκρασία απεικονίζεται στην εικ. 6.9.

Πίνακας 6.5 Ειδική θερμοχωρητικότητα (C_p) και θερμική αγωγιμότητα (λ) για διάφορα ρευστά

	Ανθεκτικά στη φωτιά ρευστά				Συνθετικά έλαια	
	HFA	HFB	HFC	HFDR	Διεστέρες	Σιλικόνες
C_p (J/kg ανά $^{\circ}\text{K}$)*	4000	3350	3300	1270	2310	1460
λ (W/m ανά $^{\circ}\text{K}$)*	0,60	0,52	0,31	0,11	0,14	0,15

* Τυπικές τιμές



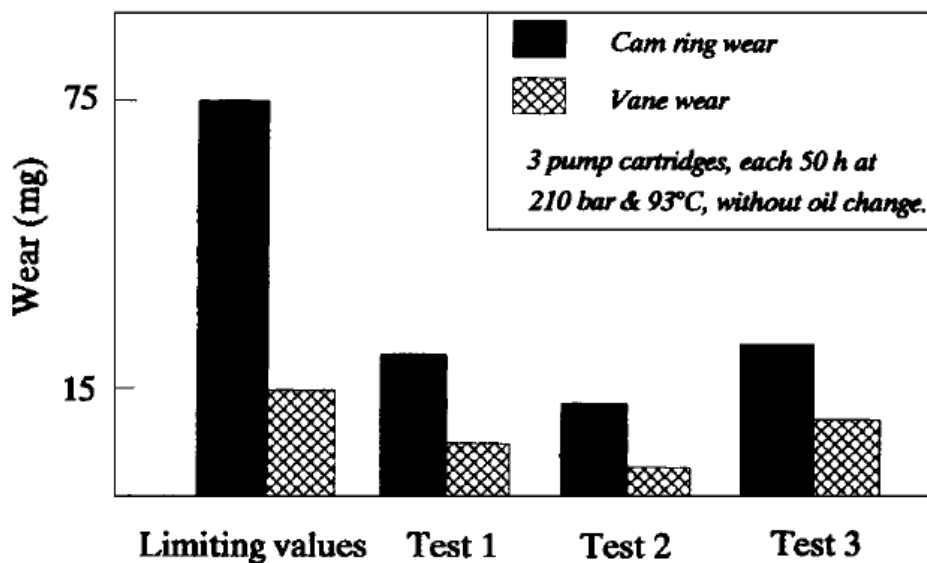
Εικ. 6.9 Σχέση θερμικής αγωγιμότητας / πυκνότητας για τα ορυκτέλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ

Ακόμα και οι ομαλά επεξεργασμένες επιφάνειες είναι κάπως τραχείς όταν εξετάζονται με μικροσκόπιο υψηλής ιχύος. Ως αποτέλεσμα, οι επαπτόμενες επιφάνειες δεν επιτυγχάνουν αμοιβαία επαφή επί ολόκληρης της επιφάνειας, αλλά ακουμπούν μόνο στις μεγαλύτερες προεξοχές. Όταν εφαρμόζεται ένα φορτίο, αυτές οι προεξοχές παραμορφώνονται ελαστικά ή ακόμα και πλαστικά. Η κανονική τυχαία κατανομή του ύψους των προεξοχών οδηγεί στην σταδιακή εμπλοκή περισσοτέρων προεξοχών καθώς το φορτίο αυξάνει. Έτσι η περιοχή της πραγματικής επιφάνειας επαφής είναι ανάλογη προς τη δύναμη φόρτωσης. Κάτω από μέτρια φορτία, η απαλή ολισθαίνουσα επαφή θα έχει την τάση να προωθεί διάφορους βαθμούς φθοράς τριβής.

Όταν οι επαπτόμενες επιφάνειες γλιστρούν η μία πάνω στην άλλη κάτω από τέτοιες οριακές συνθήκες, οι προεξοχές που έρχονται σε επαφή όχι μόνο παραμορφώνονται, αλλά επίσης συχνά θερμαίνονται σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες. Αυτές οι αποκαλούμενες τοπικές «θερμοκρασίες ανάφλεξης» μπορούν να είναι τόσο υψηλές, ώστε να συμβαίνει στιγμιαία συγκόλληση της προεξοχής χαμηλότερης τήξης με την αντίστοιχη της μεγαλύτερης τήξης, να ακολουθεί μια συγκεκριμένη ποσότητα μεταφοράς μετάλλου καθώς η συνεχής σχετική κίνηση διαλύει τη συγκόλληση, οδηγώντας σε συγκολλητική φθορά ή «γδάρισμα».

Παρά τις προσπάθειες των κατασκευαστών να προωθήσουν τις ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας μεταξύ των παραρτημάτων, πολλές μεταβλητές (πιέσεις, θερμοκρασίες, σχετικές ταχύτητες, και γεωμετρία των επαπτόμενων επιφανειών) συχνά αποκλείουν την υδροδυναμική λίπανση. Υπό τις επικρατούσες οριακές συνθήκες, οι δυνάμεις τριβής – και τελικά φθοράς – υπαγορεύονται σε μεγάλο βαθμό από τη μεταλλουργία των επαπτόμενων επιφανειών, τη λιπαντική ικανότητα του υδραυλικού ρευστού και το περιεχόμενο των χημικά ενεργών πρόσθετων.



Εικ. 7.1 Τεστ φθοράς, Vickers 35VQ25 (τυπικά αποτελέσματα).

Η προσθήκη πρόσθετων κατά της φθοράς στα υδραυλικά ρευστά γίνεται κυρίως για να μετριαστεί η φθορά «γδαρσίματος» ανάμεσα στις πολύ φορτωμένες ολισθαίνουσες επιφάνειες χάλυβα σε χάλυβα. Τέτοιου είδους πρόσθετα συνήθως έχουν ως βάση τους χημικώς ενωμένο φώσφορο (αρυλοφωσφορικά) ή θειούχες / φωσφορικές ενώσεις που μειώνουν τη μηχανική φθορά με μια μορφή «χημικού στιλβώματος». Αυτό το φαινόμενο περιλαμβάνει την αντίδραση του προσθέτου με τις μεταλλικές επιφάνειες όπου συμβαίνουν υψηλές θερμοκρασίες («θερμοκρασίες ανάφλεξης») λόγω της τριβής ανάμεσα στις προεξοχές που έρχονται σε επαφή μέσω του λιπαντικού φιλμ. Ο επακόλουθος σχηματισμός ενός επιφανειακού στρώματος από τα προϊόντα αντίδρασης προλαμβάνει τη δυναμική συγκόλληση των προεξοχών μεταξύ τους και την επακόλουθη καταστροφική φθορά γδαρσίματος που διαφορετικά θα συνέβαινε σε πολύ φορτωμένες επιφάνειες χάλυβα. Αυτό έχει μεγάλη σημασία σε σχέση με το δακτύλιο στάτορα και τα πτερύγια των υψηλής πίεσης πτερυγοφόρων αντλιών και μηχανών. Μεταξύ της ποικιλίας τυποποιημένων μεθόδων δοκιμής για την αξιολόγηση αυτής της άποψης περιλαμβάνονται τα γνωστά τεστ που χρησιμοποιούν τους τύπους αντλιών Vickers V104(5)-C και 35VQ25. Σε αυτές τις μεθόδους οι προηγούμενες αντλίες συνήθως λειτουργούν στο διπλάσιο της κανονικής τους πίεσης (140 bar). Καθώς οι πιέσεις των συστημάτων έχουν αυξηθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια των προσφάτων ετών, αυτά τα τεστ έχουν αντικατασταθεί από την πιο απαιτητική διαδικασία 35VQ25 στα 210 bar, η οποία θεωρείται πιο

αντιπροσωπευτική για το σύγχρονο εξοπλισμό. Η εικόνα 7.1 δείχνει τα αποτελέσματα των τυπικών τεστ για ένα ρευστό που διαθέτει ικανοποιητικές αντιφθοριακές ιδιότητες.

Μια άλλη μέθοδος δοκιμής που ευνοείται όλο και περισσότερο στην Ευρώπη, είναι η FZG ((Forschungsstelle für zahnrad und getriebebau, Munich) διάταξη δοκιμών γραναζιού DIN 51 354, που αντιπροσωπεύει ένα από τα κύρια κριτήρια δοκιμής για τα είδη ελαίου HLP όπως καθορίζονται από τη Γερμανική προδιαγραφή DIN 51 524. Αυτή η μέθοδος αξιολογεί την ικανότητα του ρευστού δοκιμής να αποτρέψει το γδάρσιμο μεταξύ των γραναζιών ώθησης κάτω από στενά καθορισμένες συνθήκες φορτίου, χρόνου και θερμοκρασίας.

Ο Πίνακας 7.1 απεικονίζει τη σταδιακή βελτίωση των ιδιοτήτων κατά της φθοράς, που προκύπτουν από την εισαγωγή νέων τύπων προσθέτων.

Πίνακας 7.1 Μείωση της φθοράς με τη χρήση βελτιωμένων συστημάτων προσθέτων

Με	Με σκουριά και	Με
Με	οξείδωση αναστολείς	Με
Σύστημα προσθέτου ZDTP	αρυλοφωσφορικά	+
Τεστ πτερυγιοφόρου αντλίας		
IP 281 (250 h, 17 MPa, 1450 rpm)		
Συνολική φθορά (mg): 30	690	240
Τεστ FZG – IP 334		
Στάδιο αποτυχίας φορτίου: 10-12	6	8
Shell 4 – τεστ με σφαιρίδιο – IP 239		
Ουλή φθοράς, 20 kg φορτίο(mm): 0,30	0,60	0,30
“ “ , 40 kg φορτίο (mm): 0,39	Συγκόλληση	Συγκόλληση

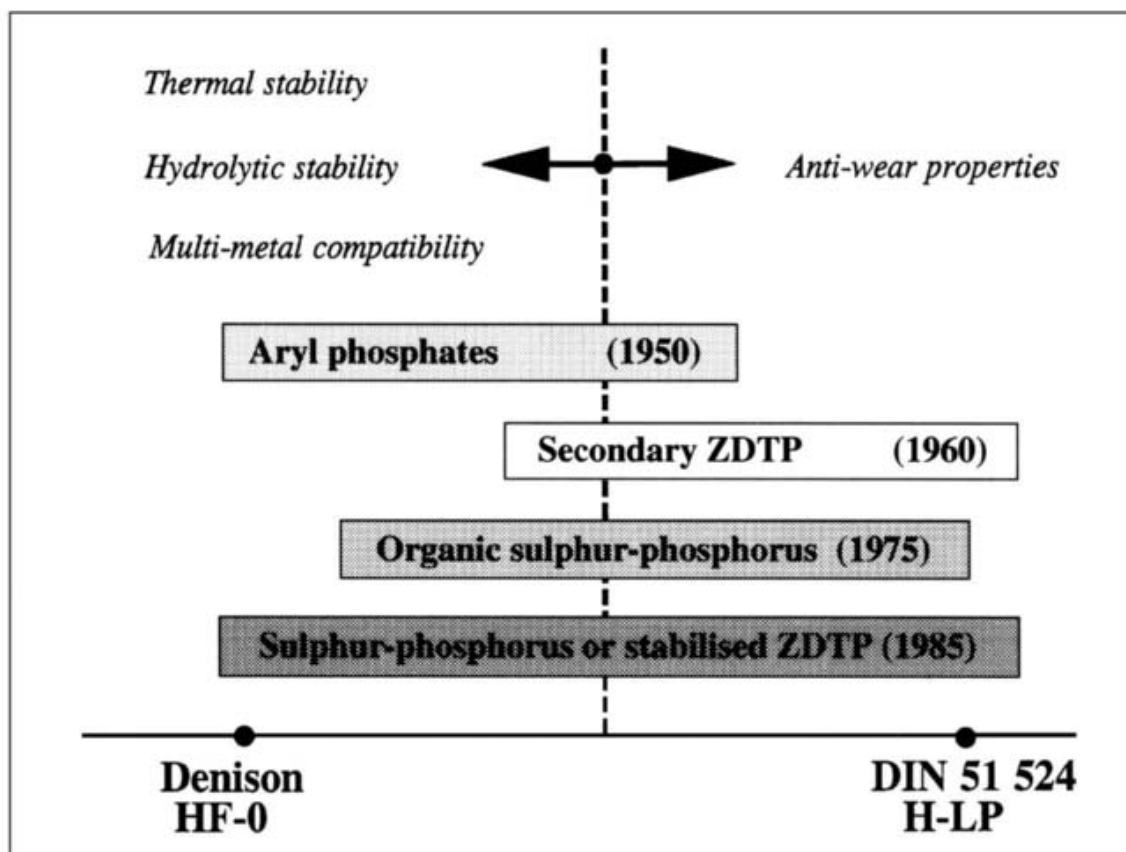
Επιπλέον των μεθόδων δοκιμής που προαναφέρθηκαν, πολλές άλλες τυποποιημένες και εσωτερικές διαδικασίες καθορίζονται από τους κατασκευαστές συστατικών για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων κατά της φθοράς των υδραυλικών μέσων.

Είναι επιτακτική ανάγκη να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν επιλέγονται πρόσθετα κατά της φθοράς για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες παρενέργειες, για παράδειγμα λιγότερο ικανοποιητικά χαρακτηριστικά τριβής με ορισμένους άλλους συνδυασμούς μετάλλων ή μειωμένη αναστολή διάβρωσης. Οι ολισθαίνουσες επαφές κίτρινων μετάλλων – χάλυβα εμφανίζονται πιο ευαίσθητες στο ιξώδες του λιπαντικού παρά στη σύνθεσή του, αν και κάτω από συνθήκες υψηλής φόρτωσης τα πιο χημικώς ενεργά πρόσθετα είναι ιδιαίτερος λιγότερο ικανοποιητικά. Μια κλασική προβληματική περιοχή από αυτή την άποψη είναι η δυσανάλογα υψηλή φθορά των χαλκοφωσφορικών επιφανειών ολίσθησης σε ορισμένες υψηλής αποτελεσματικότητας εμβολοφόρες αντλίες. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει κατευθυνθεί προς την ανάπτυξη συστημάτων προσθέτων που να παρέχουν ικανοποιητική προστασία στα πιο ευαίσθητα μέταλλα, επιτυγχάνοντας την ίδια στιγμή ικανοποιητική επίδοση στο σημαντικό τεστ FZG. Αυτός ο επιθυμητός συνδυασμός ιδιοτήτων αναφέρεται συνήθως ως «πολυμεταλλική συμβατότητα».

Η διαδοχική εξέλιξη των συστημάτων προσθέτων κατά της φθοράς μέσα στο χρόνο, απεικονίζεται στην Εικόνα 7.2.

Τα περισσότερα κίτρινα μέταλλα (χαλκός, μπρούντζος, ορείχαλκος) λιπαίνονται καλύτερα από ρευστά που περιέχουν σχετικά ήπια πρόσθετα κατά της φθοράς, ή ακόμα και από έλαια τουρμπίνων χωρίς κανένα τύπο χημικά ενεργού προσθέτου.

Το αλουμίνιο και τα κράματα αργιλίου εμφανίζονται να είναι γενικά συμβατά με τα περισσότερα από τα συνήθη συστήματα προσθέτων που χρησιμοποιούνται στα υδραυλικά ρευστά (αλλά όχι με όλα τα βασικά έλαια), αν και υψηλά φορτωμένοι συνδυασμοί αλουμινίου χαλκού – χάλυβα μπορεί να είναι προβληματικοί. Οι επιστρώσεις αργύρου στις επιφάνειες τριβέα, λιγότερο συνήθεις σήμερα, δέχονται ταχεία επίθεση από τα δραστικά διθειοφωσφορικά πρόσθετα, και τα ρευστά που σχηματίζονται χρησιμοποιώντας σχετικά ήπια πρόσθετα, όπως π.χ. τύπο ISO HL ή έλαια στροβίλων, μπορεί να είναι προτιμότερα όταν είναι παρών ο άργυρος.



Εικ. 7.2 Εξέλιξη των συστημάτων προσθέτων κατά της φθοράς.

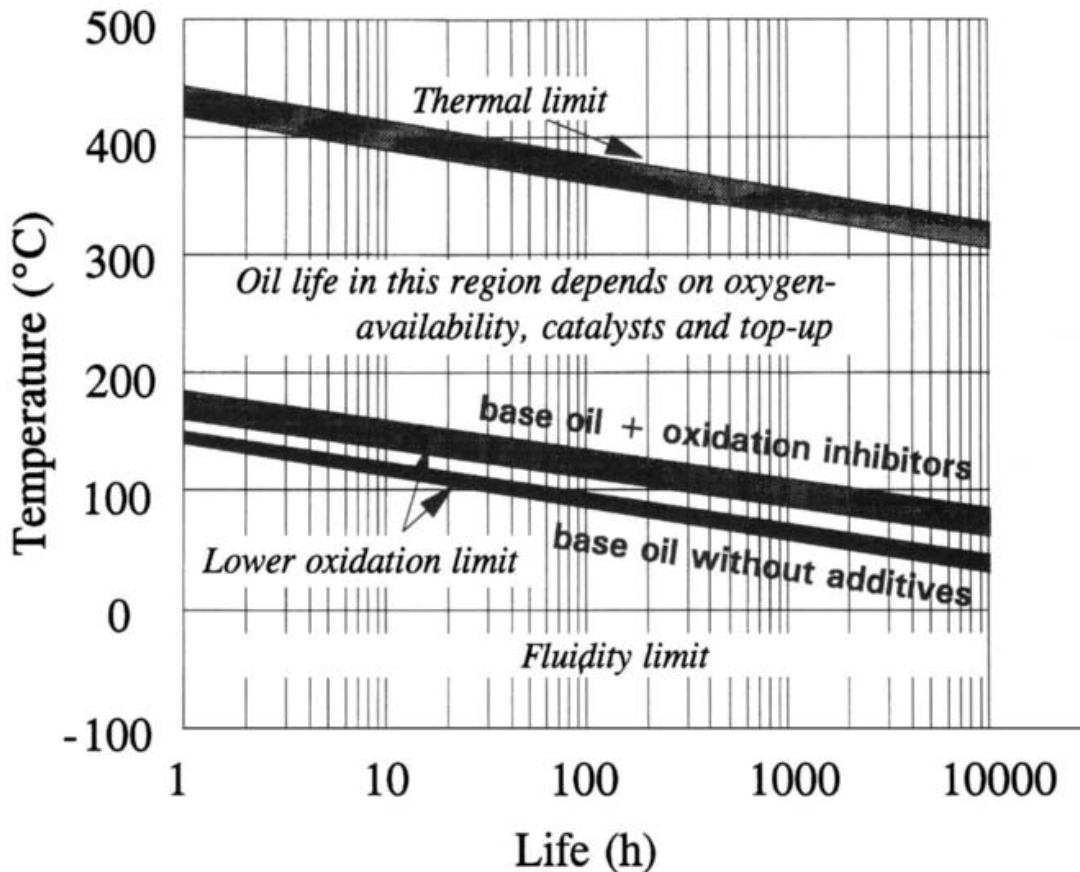
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

Ένα εξαιρετικά σημαντικό κριτήριο αναφορικά με την ποιότητα των υδραυλικών ρευστών, ιδιαίτερα στις εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, είναι η ικανότητα του ρευστού να αντιστέκεται στη χημική αποικοδόμηση από την αντίδραση με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Έτσι, η οξειδωτική σταθερότητα ενός υδραυλικού ρευστού καθορίζει την αντίσταση στη γήρανση, ήτοι τη χρήσιμη «ζωή» του ρευστού.

Η οξείδωση είναι μια αξιοσημείωτη εξώθερμη διαδικασία, και στην περίπτωση των ορυκτών ελαίων, εξαιρετικά περίπλοκη στη φύση της λόγω της παραγωγικής ποικιλίας των μοριακών δομών που εμπλέκονται. Η αποικοδόμηση των υδραυλικών ρευστών από την οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αυξήσεις του ιξώδους, ανάπτυξη διαβρωτικών οργανικών οξέων, και επίστρωση κρίσιμων επιφανειών βαλβίδων κλπ, από ρητινώδη οξειδωτικά προϊόντα.

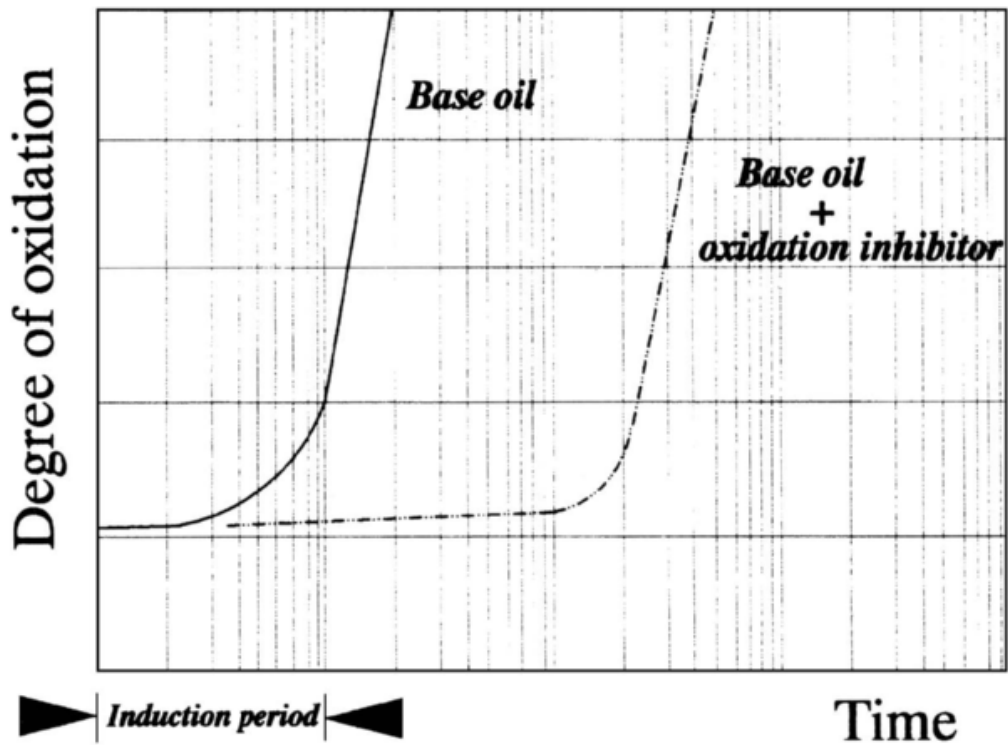
Η οξείδωση των ορυκτών ελαίων είναι μια σταδιακή χημική διαδικασία στην οποία τα μόρια υδρογονανθράκων δέχονται επίθεση από το οξυγόνο και διασπώνται σε ένα πλήθος διαφόρων οξυγονωμένων ενώσεων, που περιλαμβάνουν υδροϋπεροξειδία, αλκοόλες και οργανικά οξέα. Η διαδικασία οξείδωσης επηρεάζεται κυρίως από τη σύνθεση του ρευστού, τη θερμοκρασία, τη διαθεσιμότητα οξυγόνου (αέρα) και τους μεταλλικούς καταλύτες όπως ο χαλκός και ο σίδηρος.

Η οξειδωτική αποικοδόμηση κανονικά δεν είναι μεγάλο πρόβλημα με τα καλύτερης ποιότητας υδραυλικά ρευστά του σήμερα. Τα υδραυλικά έλαια συνήθως έχουν ως βάση τους υψηλά ραφιναρισμένα βασικά έλαια, και παρόλο που ο ρυθμός οξείδωσης είναι μια εκθετική συνάρτηση της θερμοκρασίας (η ταχύτητα διπλασιάζεται για κάθε αύξηση θερμοκρασίας 8-9°C), η θερμοκρασία λειτουργίας των περισσοτέρων συστημάτων σπάνια θα ξεπεράσει τους 65°C. Σ' αυτή τη θερμοκρασία, η οξειδωτική – περιορισμένη διάρκεια ζωής ενός ανεσταλμένου υδραυλικού ελαίου καλής ποιότητας θα μπορούσε να είναι της τάξεως πολλών χιλιάδων ωρών (Εικ. 8.1).

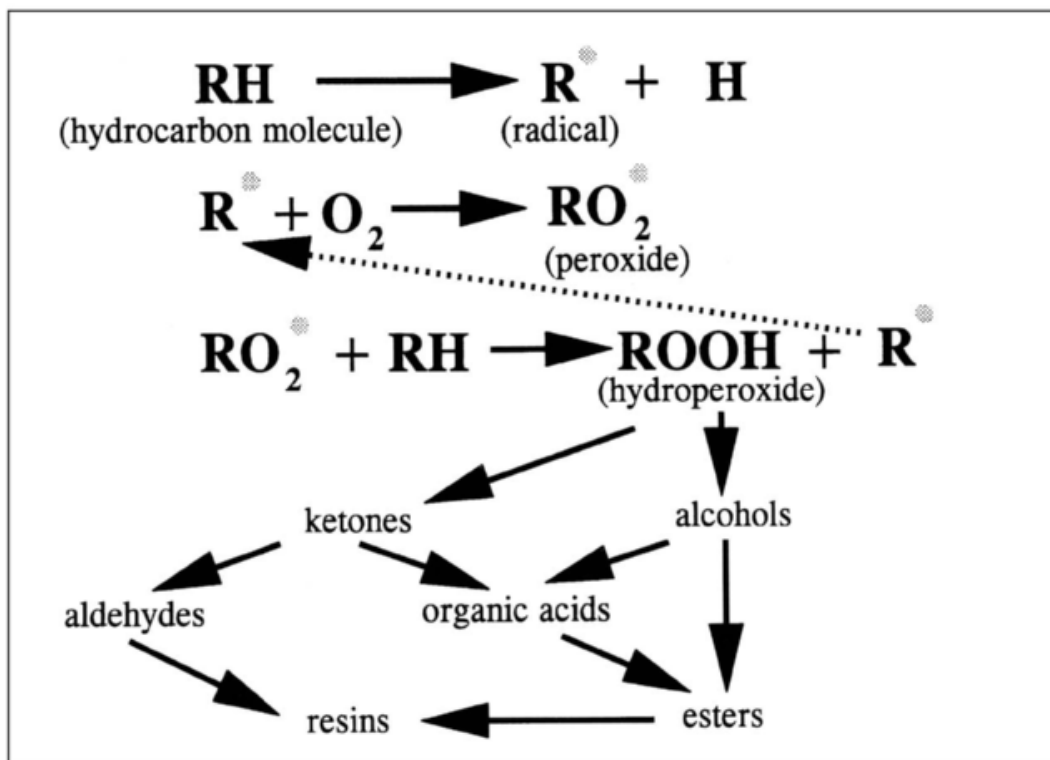


Εικ. 8.1 Όρια θερμοκρασίας για τα ορυκτά έλαια.

Τα υδραυλικά μέσα που είναι σχεδιασμένα για υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας απαιτούν προσεκτική επιλογή και του βασικού ρευστού και των προσθέτων. Τα ορυκτά βασικά έλαια υψηλής ποιότητας, κατάλληλα ανεσταλμένα, αποφέρουν ικανοποιητική επίδοση σε θερμοκρασίες λειτουργίας έως $\approx 90^{\circ}\text{C}$, αν και στην ανώτερη βαθμίδα θερμοκρασίας καθίσταται ολοένα και πιο σημαντικό να μην παρατείνεται η αντικατάσταση του ρευστού υπερβολικά, ειδικά σε συστήματα που ενσωματώνουν ευαίσθητα συγκροτήματα βαλβίδων. Για παρατεταμένη λειτουργία σε θερμοκρασίες άνω των 90°C , η χρήση επιλεγμένων συνθετικών βασικών ρευστών, π.χ. πολυαλφαολεφίνες, προσδίδει σαφή πλεονεκτήματα σε σχέση με την οξειδωτική σταθερότητα και μεταβλητότητα. Οι αναστολείς οξείδωσης, όπως οι στερικά παρεμποδισμένες φαινόλες, οι αλκυλιωμένες διφαινυλαμίνες, η παθητικοποίηση μετάλλων θειούχων / φωσφορικών ενώσεων κλπ, μπορούν να παρατείνουν σημαντικά το χρόνο επαγωγής (Εικ. 8.2) και κατά συνέπεια να καθυστερήσουν το σχηματισμό επιβλαβών προϊόντων οξείδωσης.



Εικ. 8.2 Καμπύλες οξείδωσης για έλαια με / χωρίς αναστολέα οξείδωσης.



Εικ. 8.3 Οξείδωση των ορυκτών ελαίων • = Πλούσια σε ενέργεια ρίζα ή μόριο.

Η οξείδωση των ορυκτών ελαίων είναι μια ασυνήθης περίπλοκη διαδικασία, κυρίως διότι ένα τυπικό ορυκτό βασικό έλαιο αποτελείται από πολλές χιλιάδες ισομερή ομόλογα υδρογονανθράκων. Χημικώς, η θερμική οξείδωση των υδρογονανθράκων είναι μια αυτοκαταλυτική αντίδραση, που εκκινείται από το σχηματισμό υπεροξειδίου ή υδροϋπεροξειδίου, προχωρά ως αλυσιδωτή αντίδραση και αναπτύσσει μια αυξανόμενη πολυπλοκότητα διακλαδώσεων καθώς τα ενδιάμεσα προϊόντα οξείδωσης αντιδρούν μεταξύ τους.

Η εικόνα 8.3 απεικονίζει πώς η ένωση υπεροξειδίου, σχηματισμένη σε ένα πρώιμο στάδιο της διαδικασίας από ένα διαχωρισμένο μόριο υδρογονάνθρακα, επιτίθεται τυχαία σε ένα άλλο μόριο υδρογονάνθρακα, ελευθερώνοντας ταυτόχρονα μια νέα πλούσια σε ενέργεια ελεύθερη ρίζα, η οποία οξειδώνεται ταχέως για να παράγει ένα νέο, αντιδραστικό υπεροξείδιο.

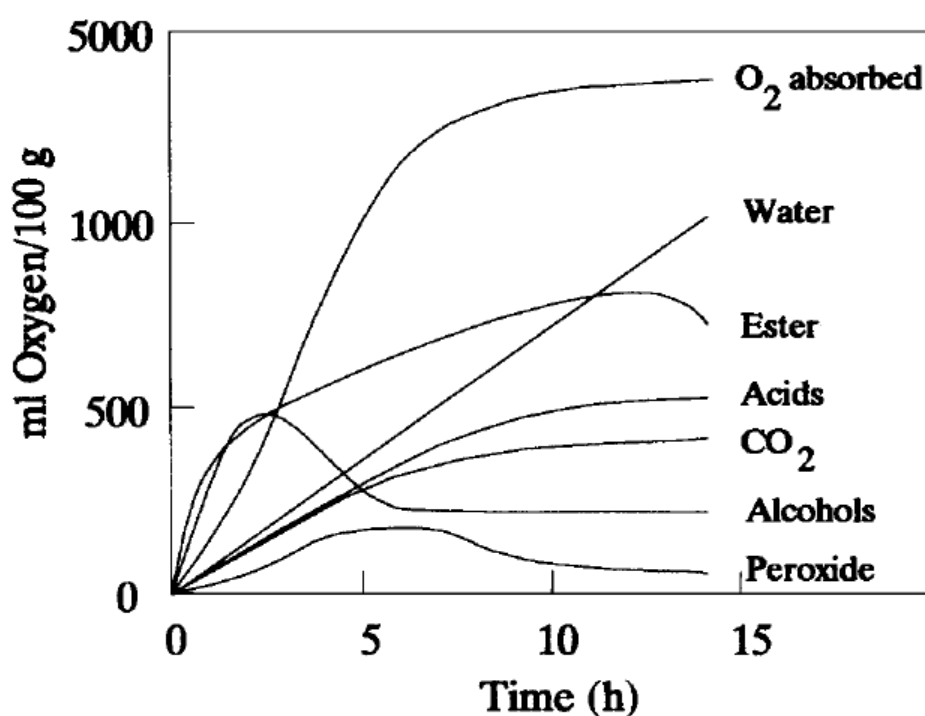
Τα ενδιάμεσα προϊόντα αντίδρασης της οξείδωσης του υδρογονάνθρακα, όπως οι αλκοόλες και οι κετόνες, υποβάλλονται σε περαιτέρω αποικοδόμηση, σχηματίζοντας καρβοξυλικά οξέα, κετο- και υδροξυ- καρβοξυλικά οξέα. Τα άλλα ενδιάμεσα, όπως π.χ. αλδεΐδες, τελικά σχηματίζουν ρητινώδεις εναποθέσεις από σύνθετες αντιδράσεις συμπύκνωσης.

Η πολύπλοκη διαδικασία οξείδωσης περιπλέκεται περαιτέρω από την επίδραση της επιτάχυνσης των μεταλλικών καταλυτών. Ιδιαίτερως επικίνδυνα καταλυτικά υλικά είναι οι διαλυτοί μεταλλικοί σάπωνες, οι οποίοι μπορούν να παραχθούν σταδιακά από χαλκό, μόλυβδο, ψευδάργυρο και σιδηρούχα μέταλλα στο σύστημα από διαβρωτικά προϊόντα οξείδωσης. Πολλά υδραυλικά ρευστά ενσωματώνουν ειδικά πρόσθετα για να αντισταθμίσουν την καταλυτική επίδραση των μετάλλων (παθητικοποιητές μετάλλων) και των διαλυτών σαπώνων.

Από τις ανωτέρω παρατηρήσεις θα είναι εύκολα κατανοητό ότι η αλληλουχία της οξειδωτικής αντίδρασης και η συναφής κινητική μπορούν μόνο να συνοψιστούν σε πολύ γενικούς όρους. Τα ορυκτά βασικά έλαια με υψηλό δείκτη ιξώδους, ήτοι αυτά που αποτελούνται κυρίως από παραφινικούς υδρογονάνθρακες, έχουν την τάση να παράγουν μια υψηλότερη αναλογία οξέων από τα αδιάλυτα ρητινώδη υλικά. Αντιστρόφως, η οξείδωση των ναφθενικών βασικών ελαίων με μεγαλύτερη περιεκτικότητα αρωματικών οδηγεί σε αναλογικά μεγαλύτερες ποσότητες αδιάλυτων «ασφαλτενίων». Άμεσης σημασίας για τα υδραυλικά συστήματα είναι το γεγονός ότι τα τελικά προϊόντα είναι τα επιθετικά οργανικά οξέα και οι αδιάλυτες ρητινώδεις ενώσεις, καθώς επίσης η επίδραση επιτάχυνσης των υψηλότερων θερμοκρασιών και

τα καταλυτικά υλικά. Η εικόνα 8.4 απεικονίζει την ποικιλία κατανομής των προϊόντων οξείδωσης με το χρόνο για ένα συνθετικό βασικό έλαιο, οξειδωμένο στους 110°C.

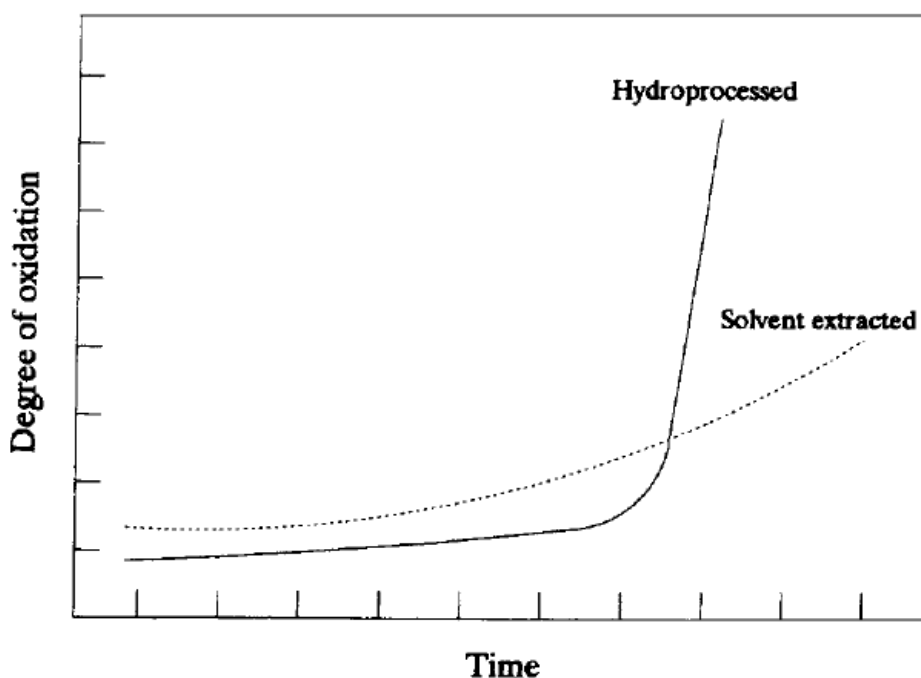
Διάφορες εργαστηριακές διαδικασίες δοκιμής χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η οξειδωτική σταθερότητα των υδραυλικών ρευστών, και να προβλεφθεί η οξειδωτική – περιορισμένη χρήσιμη διάρκεια ζωής τους. Η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων και σωστής ερμηνείας των αποτελεσμάτων των τεστ, σε σχέση με τους σχηματισμούς προϊόντων και εφαρμογών, απαιτούν ορισμένο βαθμό εμπειρογνωμοσύνης. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν τα κατά πολύ παραπλανητικά αποτελέσματα που αποκτώνται όταν εφαρμόζεται το γνωστό τεστ TOST (ASTM D943) σε ορισμένα βιοδιασπώμενα υδραυλικά ρευστά, και η αδιάκριτη χρήση της IR-φασματοσκοπίας για να εκτιμηθεί η εξάντληση προσθέτου. Στην πρώτη περίπτωση, υδρολύονται τα λιπαρά έλαια, παράγοντας μη ρεαλιστικές υψηλές οξύτητες υπό τις συνθήκες της διαδικασίας TOST, ενώ στο δεύτερο παράδειγμα ορισμένα πρόσθετα συνεχίζουν να ασκούν την ανασταλτική τους δράση μέσω ενδιάμεσων προϊόντων αντίδρασης, παρά τη σημαντικά μειωμένη συγκέντρωση του αρχικού προσθέτου.



Εικ. 8.4 Ποικιλία των προϊόντων οξείδωσης με το χρόνο (πολυϊσοβουτένιο).

Το είδος της διαδικασίας δύλισης έχει έκδηλη επίδραση στην επακόλουθη συμπεριφορά ενός βασικού ελαίου κατά την οξείδωση. Αυτό απεικονίζεται στην εικ.

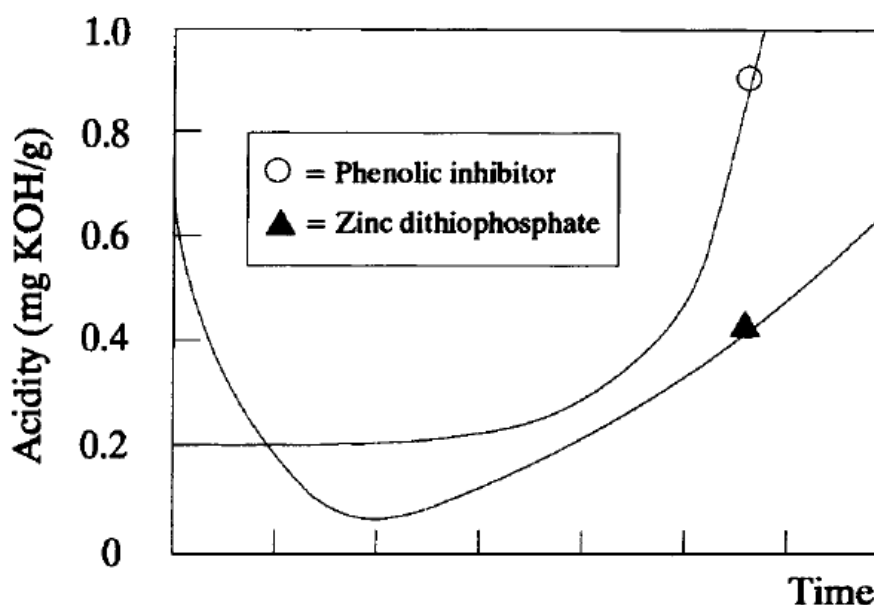
8.5, η οποία συγκρίνει την οξειδωτική φθορά (α) ενός αυστηρά υδροεπεξεργασμένου ορυκτού ελαίου, και (β) ενός εκχυλισμένου με διαλύτη βασικού ελαίου από το ίδιο ακατέργαστο έλαιο, που περιέχει τον ίδιο αναστολέα οξείδωσης. Η αυστηρή υδροεπεξεργασία του ελαίου οδηγεί σε σχεδόν ολική απομάκρυνση όλων των θειούχων ενώσεων, που περιλαμβάνουν φυσικούς αναστολείς οξείδωσης. Αυτή η δευτερογενής επίδραση είναι ατυχής, καθώς πολλές θειούχες ενώσεις, π.χ. θειοφένια και οργανικά σουλφίδια, είναι εξαιρετικά επωφελείς, μεταδίδοντας πολύτιμες οξειδοανασταλτικές ιδιότητες στα διυλισμένα βασικά έλαια. Αντιστρόφως, η εκχύλιση με διαλύτη έχει ως αποτέλεσμα μια πιο επιλεκτική απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών του ελαίου, με την παραμονή μιας κατάλληλης συγκέντρωσης φυσικών αναστολέων στο διυλισμένο έλαιο.



Εικ. 8.5 Επίδραση της διαδικασίας διύλισης στα χαρακτηριστικά οξείδωσης των ορυκτών βασικών ελαίων.

Όπως δείχνει η εικόνα, το υδροεπεξεργασμένο έλαιο ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην προσθήκη του αναστολέα οξείδωσης, όμως η οξειδωτική φθορά προχωρά ραγδαία αμέσως μόλις περάσει η περίοδος επαγωγής. Παρόλο που ο βαθμός εκχύλισης του διαλύτη δεν εμφανίζει τόσο καλή αρχική αντίσταση στην οξείδωση, το περιεχόμενο των φυσικών θειούχων ενώσεων συνεχίζει να αναστέλλει το ρυθμό οξείδωσης αν και ο προστιθέμενος αναστολέας οξείδωσης δεν είναι πια λειτουργικός. Έτσι, ο ρυθμός οξείδωσης αυξάνει πιο σταδιακά από ότι στην περίπτωση του

υδροεπεξεργασμένου προϊόντος, και παρέχει περισσότερο χρόνο να εντοπιστούν τα τελικά στάδια της χρήσιμης διάρκειας ζωής των ρευστών.



Εικ. 8.6 Καμπύλες της οξειδωτικής οξύτητας για διάφορα είδη αναστολέων οξείδωσης.

Κατά τη διάρκεια των συνήθων συνθηκών ελέγχου των χρησιμοποιημένων υδραυλικών ελαίων, είναι σύνηθες να προσδιορίζεται ο βαθμός οξείδωσης μετρώντας τις αυξήσεις του ιξώδους, το βαθμό οξύτητας και την περιεκτικότητα των ρητίνων υψηλού μοριακού βάρους. Η αρχική οξύτητα ενός ρευστού, και η επακόλουθη εξέλιξή του με το χρόνο καθώς το ρευστό παλαιώνει, εξαρτάται κατά πολύ από την παρουσία προσθέτων. Τα έλαια που σχηματίζονται με τα δύο πιο οικεία είδη αναστολέων οξείδωσης, ήτοι παρεμποδισμένες φαινόλες και μεταλλικά διθειοφωσφορικά, εμφανίζουν πολύ διαφορετικές σχέσεις οξύτητας – χρόνου (Εικ. 8.6).

Όταν χρησιμοποιούνται φαινολικοί αναστολείς οξείδωσης, η αρχική οξύτητα απορρέει κυρίως από άλλα συστατικά, όπως π.χ. αναστολείς σκουριάς. Ο αριθμός εξουδετέρωσης του ρευστού παραμένει αρκετά σταθερός σε μια σχετικά χαμηλή τιμή μέχρι να περάσει η περίοδος επαγωγής, και τότε η οξύτητα αυξάνει με αυξανόμενο ρυθμό.

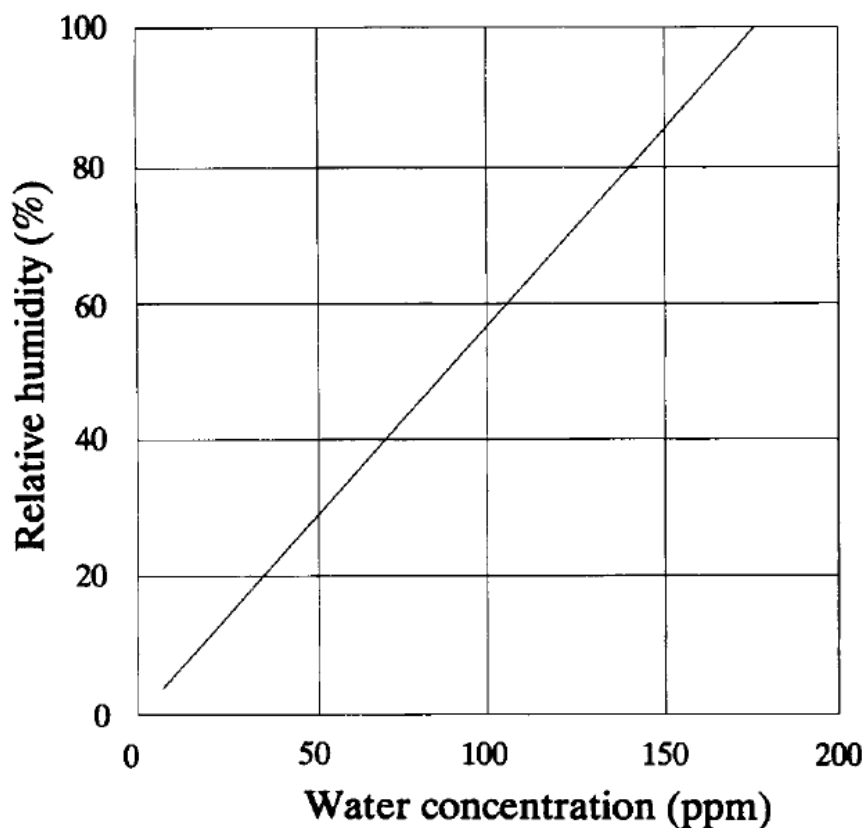
Οι διθειοφωσφορικοί αναστολείς, ωστόσο, μεταδίδουν μια φυσική υψηλή αρχική οξύτητα στο ρευστό, συνήθως μεταξύ 0,6 και 1,5 mg KOH /g στα σκευάσματα υδραυλικών ρευστών. Αυτή η αρχική υψηλή οξύτητα πηγάζει από την αμφοτερική φύση των μεταλλικών διθειοφωσφορικών και μειώνεται σε μια ελάχιστη

τιμή κατά την αρχική περίοδο λειτουργίας, καθώς το πρόσθετο αποσυνθέτει και απομακρύνει τις δραστικές ρίζες υπεροξειδίου από το ρευστό. Ταυτόχρονα με αυτή τη λειτουργία, η θερμική αποικοδόμηση των πολύ-λειτουργικών διθειοφωσφορικών στις επιφάνειες τριβής, οδηγεί στο σχηματισμό επιφανειακών υμένων με αποτελεσματικές ιδιότητες κατά της φθοράς και παθητικοποίησης μετάλλου. Όταν το περιεχόμενο του αναστολέα οξειδωσης και τα προϊόντα δραστικής αποσύνθεσης στο ρευστό τελικά εξαντληθούν, οι οξειδωτικές αντιδράσεις αποκτούν ορμή, με αποτέλεσμα την αύξηση της οξύτητας, όπως απεικονίζεται στην εικ. 8.6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο: ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Εκτός από ειδικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν ρευστά με βάση το νερό, συνήθως είναι επιθυμητό να αποκλείεται το νερό όσο το δυνατό περισσότερο από τα υδραυλικά συστήματα. Στην πράξη αυτό δεν είναι εύκολη υπόθεση, ιδιαίτερος όπου αφορά συστήματα ανοικτού εξαερισμού, π.χ στην πλειοψηφία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Το νερό μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στο υδραυλικό ρευστό με αρκετούς τρόπους, συμπεριλαμβάνοντας τη συμπύκνωση από τον υγρό αέρα που εισέρχεται από τις οπές εξαερισμού, τη διαρροή από τους ψύκτες λαδιού, και την απρόσεκτη συμπλήρωση μολυσμένου με υγρασία υδραυλικού ρευστού από βαρέλια ή δοχεία που έχουν αποθηκευτεί λανθασμένα. Σημαντικές συγκεντρώσεις συμπύκνωσης υδρατμών καταγράφονται σε δεξαμενές υδραυλικών ρευστών, όπου οι ανώτερες επιφάνειες εκτίθενται σε ψυχρό αέρα από παρακείμενους ανεμιστήρες εξαερισμού, και επίσης σε συστήματα, όπου πηνία ψύξης εκτέθηκαν εν μέρει σε όγκο ελεύθερου αέρα πάνω από το επίπεδο του ρευστού. Η ικανότητα ενός τυπικού ορυκτού υδραυλικού ελαίου να απορροφήσει υγρασία απεικονίζεται στην εικόνα 9.1.

Υπάρχουν πολλά πιθανά αποτελέσματα από τη μόλυνση με υγρασία, εκ των οποίων το πιο προφανές είναι ο σχηματισμός σκουριάς και τα επακόλουθα μηχανικά προβλήματα. Επιπλέον της καταστροφικής επίδρασης της επιφανειακής φθοράς, τα σωματίδια της σκουριάς μπορούν να προωθήσουν το σχηματισμό οξειδωτικής ιλύος και εναποθέσεων που προκαλούν σοβαρές δυσλειτουργίες των σερβο-βαλβίδων, των αντλιών, των μηχανών και άλλων κρίσιμων συστατικών. Τα σωματίδια σκουριάς κυκλοφορώντας μαζί με το υδραυλικό ρευστό, μπορούν να προκαλέσουν φθορά τριβής και να επιτείνουν κάθε τάση προς διάβρωση λόγω σπηλαίωσης σε βαλβίδες, γωνίες σωλήνων και άλλα σημεία, όπου παρατηρούνται υψηλές ταχύτητες και μεταβολές κατεύθυνσης του ρευστού. Ο σχηματισμός ή η συσσώρευση σκουριάς σε δυναμικές σφραγίσεις οδηγεί σε επιταχυνόμενη φθορά των σφραγίσεων και αυξανόμενη διαρροή του υδραυλικού ρευστού. Λόγω της τάσης του διεσπαρμένου νερού να ενθαρρύνει την κυκλοφορία μηχανικών προσμείξεων εντός του συστήματος, και να εκκινεί υδρολυτικές αντιδράσεις με πρόσθετα, η φτωχή ικανότητα απογαλακτωματοποίησης μπορεί έμμεσα να προωθήσει την παρεμπόδιση του φιλτραρίσματος.



Εικ. 9.1 Η ισορροπία περιεκτικότητας νερού ενός τυπικού ορυκτού ελαίου ISO VG32 στους 40°C ως συνάρτηση της υγρασίας.

Οι δυσμενής επίπτωση τόσο του ελεύθερου όσο και του διαλυμένου νερού στην αντοχή στην κόπωση των ρουλεμάν και των ομοίως πρεσαρισμένων εξαρτημάτων από κράματα χάλυβα, είναι καλά τεκμηριωμένη, και προέρχεται από ένα μηχανισμό ευθραυστότητας από το υδρογόνο. Η επίπτωση μπορεί να είναι αρκετά σημαντική, και τα τεστ επιβεβαιώνουν ότι ποσότητα λίγη όσο 0,01% (100 ppm) διαλυμένου νερού μπορεί να μειώσει την ελάχιστη διάρκεια ζωής σε κόπωση κατά 32–48 %. Η μεγάλη πλειοψηφία των βιομηχανικών υδραυλικών συστημάτων λειτουργεί σε υψηλότερες περιεκτικότητες νερού, κάποια ποσότητα ελεύθερου νερού είναι συνήθως παρούσα και η συγκέντρωση διαλυμένου νερού στο ρευστό είναι σε επίπεδο κορεσμού. Έτσι ο δυνητικός κίνδυνος της ελαττωμένης διάρκειας ζωής λόγω κόπωσης μπορεί να είναι σχετικός σε σχέση με υδραυλικές αντλίες και κινητήρες που ενσωματώνουν σε μεγάλο βαθμό πιεσμένους ένσφαιρους τριβείς και κυλινδροτριβείς ή τροχούς.

Προκειμένου να καταπολεμηθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις της μόλυνσης με νερό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάθε πιθανό μέσο για να ελαχιστοποιηθεί η

περιεκτικότητα υγρασίας του συστήματος. Ένα ανεκτίμητο χαρακτηριστικό σχεδιασμού είναι η τοποθέτηση ενός αποστραγγιστήρα στο χαμηλότερο σημείο της δεξαμενής του ρευστού, σύμφωνα με τον οποίο το αδιάλυτο νερό (ορισμένη ποσότητα θα καθιζάνει από το διάλυμα καθώς πέφτει η θερμοκρασία μετά τη διακοπή λειτουργίας), και η ιλύς και τα εξωγενή υλικά μπορούν περιοδικά να στραγγίζονται από το σύστημα. Δυστυχώς, ο πυθμένας των δεξαμενών των ρευστών σπανίως κλίνει ομοιόμορφα προς τον αποστραγγιστήρα. Μικρές παραμορφώσεις, ανεπαρκής ισοστάθμιση κατά την εγκατάσταση και η παρουσία στερεών διαχωρισμάτων εντός της δεξαμενής, μπορούν όλα να μειώσουν την αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης του νερού και των ιζημάτων με την αποστράγγιση.

Για συστήματα που υποβάλλονται μόνο σε συμπτωματική μόλυνση με νερό, π.χ. με συμπίκνωση, είναι γενικά αποδεκτό ότι το υδραυλικό ρευστό θα πρέπει να εμφανίζει καλή ικανότητα απογαλακτωματοποίησης, για να διαχωρίζεται γρήγορα από το συμπαρασυρόμενο νερό κατά τις στάσιμες περιόδους στη δεξαμενή ρευστού. Γενικά, η καλύτερη ικανότητα απογαλακτωματοποίησης επιτυγχάνεται από τα πιο εντόνως διυλισμένα ορυκτά βασικά έλαια και ορισμένα συνθετικά έλαια, π.χ. πολυσιλοξάνια και φθοράνθρακες, με αμελητέα χημική συγγένεια προς το νερό. Τα περισσότερα πρόσθετα αναιρούν τον υδροφοβικό χαρακτήρα των καθαρών βασικών ρευστών ως ένα βαθμό, και παρουσιάζουν αντίστροφη επίδραση στην ικανότητα απογαλακτωματοποίησης. Καθώς πολλοί από τους πιο αποτελεσματικούς αναστολείς σκουριάς είναι πολικές ενώσεις μιας κάπως υδρόφιλης φύσης, οι επιθυμητές απαιτήσεις για καλή ικανότητα απογαλακτωματοποίησης είναι συχνά δύσκολο να εναρμονιστούν με την εξαίρετη προστασία ενάντια στο σχηματισμό σκουριάς. Η αρχική ικανότητα ενός ρευστού να διαχωρίζεται από τη διασκορπισμένη υγρασία σταδιακά επιδεινώνεται στη χρήση καθώς αυξάνει η συγκέντρωση προϊόντων πολικής οξείδωσης.

Το πιο ενοχλητικό εμπόδιο στην καλή ικανότητα απογαλακτωματοποίησης είναι ωστόσο η παρουσία μολυσματικών στο σχηματισμό διαλυτών γαλακτωματοποιητών και λεπτά διαχωρισμένων σωματιδιακών προσμείξεων. Οι γαλακτωματοποιητές είναι απαραίτητες χημικές ουσίες που διαθέτουν χημική συγγένεια τόσο προς τη ρευστή όσο και προς την υδατική φάση. Σε σχέση με τα υδροφοβικά ρευστά που αναφέρθηκαν ανωτέρω, η μοριακή δομή ενός αποτελεσματικού γαλακτωματοποιητή χαρακτηρίζεται από μια μη πολική, υδρογονανθρακική συγκέντρωση ατόμων σε ένα τμήμα του μορίου, και υδρόφιλων

ομάδων (π.χ. ομάδες -καρβοξυλικών, -αμινών, ή -υδροξυλίων) σε ένα διαφορετικό τμήμα του μορίου γαλακτωματοποιητή. Γι αυτό το λόγο, αυτές οι ουσίες έχουν μια ταυτόχρονη χημική συγγένεια τόσο προς την υδατική όσο και προς την υδρογονανθρακική φάση του ρευστού, με την αποτελεσματικότητα του γαλακτωματοποιητή να εξαρτάται κατά πολύ από την ικανότητά του να μειώνει την διεπιφανειακή τάση ανάμεσα στις δύο φάσεις, αυξάνοντας έτσι την αμοιβαία συγκόλλησή τους. Η σταθερότητα ενός τέτοιου γαλακτώματος νερού σε έλαιο αυξάνει καθώς το απορροφημένο στρώμα των μορίων του γαλακτωματοποιητή γύρω από τα διασκορπισμένα σταγονίδια νερού γίνεται πιο σφιχτά συμπιεσμένο, και έτσι λιγότερο επιρρεπές στον εκτοπισμό λόγω της διεπαφής. Ατυχώς, λίγα μπορούν να γίνουν για να θεραπευτεί η φτωχή ικανότητα απογαλακτωματοποίησης που προκαλείται από τους διαλυτούς γαλακτωματοποιητές. Η προσθήκη «απογαλακτωματοποιητών» είναι μια θεωρητική πιθανότητα, όμως η πρακτική εμπειρία υποδεικνύει ότι οι πιθανότητες επιλογής της κατάλληλης δοσολογίας από το κατάλληλο πρόσθετο, και η επίτευξη μακροπρόθεσμης βελτίωσης, είναι λιγοστές.

Η πρακτική εμπειρία με υδραυλικά συστήματα δείχνει ότι σε πολλές περιπτώσεις η επιδεινωμένη ικανότητα απογαλακτωματοποίησης προκαλείται από το σχηματισμό σαπώνων μετάλλου κατά τη χρήση, κυρίως ενώσεων ασβεστίου και ψευδαργύρου. Ο ψευδάργυρος φυσικά, χρησιμοποιείται εκτεταμένα ως παράγοντας ενάντια στη φθορά και αναστολέας οξειδωσης στα υδραυλικά ρευστά. Η ασύνετη συμπλήρωση με εναλλακτικά προϊόντα που περιέχουν, για παράδειγμα, αναστολείς όξινης σκουριάς, μπορεί υπό την παρουσία υγρασίας να οδηγήσει στο σχηματισμό σαπώνων ψευδαργύρου, με αντίστροφα αποτελέσματα στην ικανότητα απογαλακτωματοποίησης. Η ανάμειξη ρευστών με ανόμοια σύνθεση θα έπρεπε για το λόγο αυτό να αποφεύγεται εκτός αν έχει εγκριθεί από τον προμηθευτή. Η χρήση γαλβανισμένων επιφανειών, σωλήνων και εξαρτημάτων δε συνιστάται, λόγω του κινδύνου σχηματισμού σάπωνα από την αντίδραση με οργανικά οξέα. Σοβαρά προβλήματα γαλακτωματοποίησης (και εγκλωβισμού αέρα) μπορούν επίσης να παρουσιαστούν εάν λάδια κινητήρα τύπου διασποράς προστεθούν ακούσια σε ένα υδραυλικό σύστημα.

Η παρουσία μικρών ποσοτήτων κolloειδών σωματιδίων, π.χ. κιμωλία ή σκουριά, μπορεί επίσης να ελαττώσει την ικανότητα απογαλακτωματοποίησης λόγω σταθεροποίησης της διεπαφής ανάμεσα στην υδατική και τη ρευστή φάση. Ένα τυπικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου συνέβη σε ένα εργοστάσιο πλαστικών,

όπου το υδραυλικό έλαιο βρέθηκε μολυσμένο με μικροσκοπικά σωματίδια από τις πλαστικές σκόνες χυτεύσεως, που εισήχθησαν στη δεξαμενή του ρευστού μέσω του εξαερισμού. Η ικανότητα απογαλακτωματοποίησης ενός ρευστού μολυσμένου από σωματίδια μπορεί συχνά να βελτιωθεί σημαντικά με φιλτράρισμα.

Κάποια συστήματα υποβάλλονται επίσης σε μια σχετικά σημαντική μόλυνση από νερό, π.χ. εκείνα που λειτουργούν σε ατμόσφαιρες με εξαιρετική υγρασία, σε χαρτοβιομηχανίες και όπου συμβαίνουν συνεχώς διαρροές νερού ψύξης. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα ήταν προτιμητέο ένα υδραυλικό ρευστό διαμορφωμένο να παρέχει έναν περιορισμένο βαθμό απορρυπαντικότητας. Τα υδραυλικά ρευστά αυτής της φύσης είναι για παράδειγμα ταξινομημένα ως τύπου HLP-D στις γερμανικές προδιαγραφές. Αυτά τα απορρυπαντικά υδραυλικά έλαια προλαμβάνουν αποτελεσματικά βλαβερές συσσωρεύσεις νερού στα υδραυλικά κυκλώματα και εξαρτήματα, εντούτοις δυνάμει της ελεγχόμενης απορρυπαντικότητας επιτρέπουν την καθίζηση του διεσπαρμένου νερού στη δεξαμενή του ρευστού από όπου μπορεί να αποστραγγιστεί ανά συχνά διαστήματα.

Οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές φίλτρων προμηθεύουν επίσης ειδικά φίλτρα, ικανά να απομακρύνουν περιορισμένες ποσότητες ελεύθερου νερού από τα υδραυλικά ρευστά. Τα τυπικά σχέδια αποτελούνται από πολυμερές που απορροφά νερό, το οποίο περιβάλλεται από μια πορώδη μεμβράνη πολυπροπυλενίου. Το πολυμερές συνδυάζεται χημικά με το ελεύθερο νερό χωρίς να μαλακώνει ή να διυλίζεται μέσα στο υδραυλικό ρευστό. Τέτοια φίλτρα μπορούν να είναι ένα αποτελεσματικό μέσο ελέγχου της περιεκτικότητας υγρασίας ενός μέσου συστήματος, όμως δύσκολα θα αποτελούσε οικονομική λύση για συστήματα που υποβάλλονται σε συνεχή μόλυνση από σημαντικές ποσότητες νερού.

9.1 Προστασία ενάντια στη διάβρωση

Τα σύγχρονα υδραυλικά συστήματα έχουν ελάχιστη ομοιότητα με τις σχετικά απλές μονάδες 50 ετών πριν, ενσωματώνοντας σύνθετες βαλβίδες και άλλα εξαρτήματα, τα οποία μπορεί να είναι ιδιαίτερος ευαίσθητα σε δυσλειτουργίες που επιφέρει η διάβρωση ή λεπτά μολυσματικά σωματίδια που απορρέουν από τη διάβρωση. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να συμπληρώνονται οι σύμφυτες ιδιότητες του υδραυλικού ρευστού για προστασία από τη διάβρωση με την προσθήκη ενός αποτελεσματικού αναστολέα διάβρωσης. Στα προϊόντα ορυκτών ελαίων, οι αναστολείς είναι συχνά πολικές ενώσεις, για παράδειγμα, μακριές αλυσίδες

δικαρβοξυλικών οξέων και των αλάτων τους, σχηματίζοντας δυνατά απορροφώμενα πολυμοριακά φιλμ σε όλες τις επιφάνειες που διαβρέχονται από το έλαιο. Υποθέτοντας μια ικανοποιητική συγκέντρωση, ο συνδυασμός στερικής απεικόνισης, μοριακών διαστάσεων και πολικότητας του αναστολέα, παρουσιάζει έναν αδιαπέραστο φραγμό στις διαβρωτικές ουσίες, την υγρασία κλπ. Ο προστατευτικός μηχανισμός μπορεί να συγκριθεί με ένα πλήθος γυρίνων που κολυμπούν στις άκρες ενός κάδου, ξεκουράζοντας τα κεφάλια τους στην περιβάλλουσα επιφάνεια και κουνώντας τις ουρές τους, προλαμβάνοντας έτσι περαιτέρω πρόσβαση στην επιφάνεια. Πολλά πολικά πρόσθετα εμφανίζουν μια έντονα επιβλαβή επίδραση στις ιδιότητες απογαλακτωματοποίησης των υδραυλικών ρευστών, και ορισμένοι όξινοι αναστολείς διάβρωσης επιτίθενται στις γαλβανισμένες επιφάνειες σχηματίζοντας σάπωνες ψευδαργύρου. Όπως και στην περίπτωση άλλων προσθέτων, είναι για το λόγο αυτό συνετό να επιλέγονται με προσοχή οι αναστολείς διάβρωσης.

Οι αναστολείς διάβρωσης που χρησιμοποιούνται σε μέσα που έχουν ως βάση τους το νερό είναι συχνά οξειδωτικά άλατα που μειώνουν τον ηλεκτροαρνητικό χαρακτήρα των ανοδικών επιφανειών, των ρυθμιστών pH (εξουδετερωτές) και διαφόρων πολικών προσθέτων που σχηματίζουν απορροφώμενα επιφανειακά φιλμ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο :
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΓΙΑ
ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι στρατιωτικές και αεροναυπηγικές εφαρμογές χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα υδραυλικών ρευστών, που κυμαίνονται από απλά ευθεία ορυκτά έλαια μέχρι υψηλά εξειδικευμένα συνθετικά ρευστά. Δικαιολογημένα αρκετά, αυτός ο χώρος εφαρμογών κυριαρχείται από ένα υψηλό ποσοστό ενδιαφέροντος σε μέσα ανθεκτικά στη φωτιά με θερμοκρασιακές ικανότητες μεγάλης διάρκειας. Προϊόντα τέτοιας φύσεως καθορίζονται με αυξανόμενο ρυθμό για χρήση σε στρατιωτικά αεροσκάφη, πολεμικά πλοία, οχήματα μάχης και οπλικά συστήματα.

Μια επιλογή των πιο γνωστών στρατιωτικών προδιαγραφών παρατίθενται στον Πίνακα 10.1.

10.1 Αεροσκάφος και αεροδιαστημική

Οι σημαντικές πρόοδοι στο σχεδιασμό συστημάτων και εξαρτημάτων στην αεροναυπηγική βιομηχανία έχουν συνοδευτεί από αντιστοίχως ακριβείς απαιτήσεις στα υδραυλικά ρευστά που απαιτούνται να λειτουργήσουν σε αυτά τα συστήματα. Οι χειροκίνητοι έλεγχοι έχουν αντικατασταθεί από υδραυλικούς και ο αριθμός των υδραυλικώς λειτουργούντων εφαρμογών έχει αυξηθεί ραγδαία, όπως και η πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων. Οι λειτουργικές παράμετροι έχουν επίσης γίνει πιο κρίσιμες· τα υψηλά υψόμετρα απαιτούν βελτιωμένη ρευστότητα σε χαμηλή θερμοκρασία ενώ οι υψηλές πιέσεις (≈ 20 MPa) και οι ελαττωμένοι όγκοι ρευστού απαιτούν καλύτερες λιπαντικές ιδιότητες, και θερμική και οξειδωτική σταθερότητα.

Αν και η χρήση ρευστών από φωσφορικούς εστέρες στα εμπορικά αεροσκάφη έχει καθιερωθεί από την εμφάνισή τους κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, είναι μόνο κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας που μειώθηκε αισθητά η

ευρεία χρήση ορυκτών υδραυλικών ελαίων (Nato code H-515) στα στρατιωτικά αεροσκάφη. Λόγω των κατανοητών μετατροπών που απαιτούνται στα συστήματα, και του περιορισμού στις θερμοκρασίες λειτουργίας ($\approx 110^{\circ}\text{C}$), τα αεροσκάφη του NATO δεν έχουν μετατραπεί ώστε να χρησιμοποιούν προϊόντα φωσφορικών εστέρων.

Ωστόσο, έχει συνεχιστεί η έρευνα για κατάλληλα ανθεκτικά στη φωτιά ρευστά, και τελικώς καθορίστηκε ένα ρευστό από πυριτικό εστέρα από την καινούρια προδιαγραφή MIL-H-8446, που χαρακτηρίζεται από εξαιρετικές θερμοκρασιακές ικανότητες ($- 54^{\circ}\text{C}$ μέχρι $+ 204^{\circ}\text{C}$), υψηλή θερμική σταθερότητα και καλή αντοχή στη φωτιά. Αυτό το ρευστό βασίστηκε σε αλκυλοπυριτικούς εστέρες με προσθήκη αιθυλομεθυλιούχου σιλοξανίου προκειμένου να βελτιωθεί ο δείκτης ιξώδους και να ρυθμιστεί το φούσκωμα της στεγανοποίησης. Δυστυχώς, η σχετικά φτωχή υδρολυτική σταθερότητα αναιρεί κατά κάποιον τρόπο τις κατά τα άλλα εξαιρετικές ιδιότητες επίδοσης, και έτσι το MIL-H-8446 είναι πλέον παρωχημένο. Εντούτοις, ένας παρεμφερής τύπος ρευστού από πυριτικό εστέρα χρησιμοποιείται ακόμα στο κεντρικό υδραυλικό σύστημα του υπερηχητικού αεροσκάφους Concorde.

Η υψηλή εμφάνιση φωτιάς στα υδραυλικά ρευστά των Αμερικάνικων ελικοπτέρων που χτυπήθηκαν από τα εχθρικά πυρά στον πόλεμο της Κορέας, υπογράμμισε την ανάγκη για ένα ακόμα πιο ανθεκτικό στη φωτιά ρευστό. Το 1974 αναπτύχθηκε η αντικατάσταση των προϊόντων με βάση τα ορυκτά έλαια MIL-H-5606 (H-515), με τον τύπο ενός ρευστού από συνθετικό υδρογονάνθρακα, που αργότερα ονομάστηκε MIL-H-83282 (H-537). Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του ρευστού έναντι των φωσφορικών εστέρων είναι η πλήρης συμβατότητα και εναλλαξιμότητα με τα συμβατικά με βάση ορυκτά έλαια ρευστά MIL-H-5606, επιτρέποντας έτσι τη χρήση σε συστήματα αεροσκαφών που έχουν σχεδιαστεί για αυτά τα μέσα. Το καινούριο ρευστό είναι ελαφρώς κατώτερο από το αυθεντικό ορυκτό έλαιο σε σχέση με τη ρευστότητα σε χαμηλή θερμοκρασία, όμως προσφέρει σημαντικά βελτιωμένες ιδιότητες στις υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή ευφλεκτότητα (βλέπε Πίνακα 10.2).

Κανένα μεμονωμένο τεστ ευφλεκτότητας δεν συσχετίζεται πλήρως με τις πολλές και ποικίλες συνθήκες που επικρατούν σε πραγματικές καταστάσεις, και για αυτό το λόγο είναι σύνηθες να εξετάζονται τα υποψήφια ρευστά με διάφορες μεθόδους δοκιμών για να σχηματιστεί μια αξιόπιστη εκτίμηση των δυνατοτήτων τους

αντοχής στη φωτιά. Στον Πίνακα 10.2, θα σημειωθεί ότι παρόλο που το ρευστό συνθετικού υδρογονάνθρακα εμφανίζει σημαντικά υψηλότερες τιμές στα τεστ σε σχέση με το σημείο ανάφλεξης, το σημείο φωτιάς και τη θερμοκρασία αυτοανάφλεξης, αυτό δε συμβαίνει στο τεστ ανάφλεξης σε θερμαινόμενη πλάκα. Αυτό το προφανώς ανώμαλο αποτέλεσμα οφείλεται στην υψηλότερη πολικότητα του ρευστού MIL-H-5606 και στο συντομότερο χρόνο παραμονής στη ζεστή επιφάνεια.

Το νέο ρευστό συνθετικού υδρογονάνθρακα αρχικά χρησιμοποιήθηκε από το Αμερικανικό ναυτικό και τα ελικόπτερα του στρατού. Η μεταγενέστερη εμπειρία αποκάλυψε ότι ο περιορισμός στη χαμηλή θερμοκρασία του νέου MIL-H-83282 ρευστού ήταν ουσιαστικά ένα επιπέδου εδάφους πρόβλημα ψυχρού περιβάλλοντος, και πολλά είδη στρατιωτικών αεροσκαφών έχουν από τότε επιτυχώς μετατραπεί σε ρευστό συνθετικού υδρογονάνθρακα.

Παρά τα βελτιωμένης επίδοσης χαρακτηριστικά των ρευστών MIL-H-83282, η κύρια έλλειψη που σχετίζεται με αυτό το ρευστό και τους φωσφορικούς εστέρες είναι ότι κάτω από πολλές συνθήκες λειτουργίας, και τα δύο μέσα μπορούν ακόμα να αναφλέγονται και να καίγονται, παρέχοντας έτσι μόνο ένα ποσοστό βελτίωσης σε σχέση με τη συχνότητα και την ένταση των φωτιών στα υδραυλικά συστήματα.

Πίνακας 10.1 Υδραυλικά ρευστά για στρατιωτικές εφαρμογές

Κωδικός Νατο	Στρατιωτική προδιαγραφή	Εφαρμογή	Είδος ρευστού	Ιξώδες (mm ² /s)			Σημείο Ροής °C	Σημείο Ανάφλεξης °C
				100 ⁰ C (min.)	40 ⁰ C	- 40 ⁰ C (max.)		
H-515	MIL-H-606	Υδραυλικά συστήματα σε πολιτικά και στρατιωτικά αεροσκάφη	Ορυκτό έλαιο	4,90	≥13,2	600	-60	82
H-536	MIL-S-83282	Λίπανση γυροσκοπικής πυξίδας και πυραυλικών συστημάτων σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας	Έλαιο χλωροφαινυλοσιλικόνης	15/19	50/60	—	-75	290
H-537	MIL-H-83282	Αεροσκάφη, όπλα και άλλα υδραυλικά συστήματα με συνθετικές στεγανοποιήσεις	Συνθετικός υδρογονάνθρακας	3,5	≥14	2200	-55	205
H-542	SAE J 1703	Ρευστό φρένων για στρατιωτικά διοικητικά οχήματα και ορισμένα υποβρύχια συστήματα	Αιθέρας γλυκόλης και πολυγλυκόλη	1,5	3,5 (50 ⁰ C)	900 (- 35 ⁰ C)	—	82
H-544	MIL-H-46170	Έλαιο ανάκρουσης οχημάτων μάχης για το πυροβολικό, μηχανισμούς στόχου για όπλα και τανκς	Συνθετικός υδρογονάνθρακας	3,4	≤19,5	2600	-54	218
H-547	MIL-B-46176	Ρευστό φρένων για οχήματα μάχης	Έλαιο σιλικόνης	1,3	—	900 (-55 ⁰ C)	—	—
H-572	BS 4475/1975 Grade CSB-68 (OM-65)	Μηχανισμοί όπλων, συσκευές στόχευσης, γυροσκοπικές πυξίδες και γενική λίπανση σε μέτριες θερμοκρασίες	Ορυκτό έλαιο	—	61/75	—	-9	192

Πίνακας 10.1 Υδραυλικά ρευστά για στρατιωτικές εφαρμογές (συνέχεια)

Κωδικός Νατο	Στρατιωτική προδιαγραφή	Εφαρμογή	Είδος ρευστού	Ιξώδες (mm ² /s)			Σημείο Ροής °C	Σημείο Ανάφλεξης °C
				100 ⁰ C (min.)	40 ⁰ C	- 40 ⁰ C (max.)		
H-573	MIL-L-17672	Βαρούλκα πρόσδεσης, πηδάλια υποβρύχια κεντρικά υδραυλικά συστήματα	Ορυκτό έλαιο	—	41,4/50,6	—	-23	163
H-575	MIL-F-17111	Ρευστό μετάδοσης ενέργειας, ναυτικός πυροβολικός εξοπλισμός	Ορυκτό έλαιο	8,0	25	—	-40	104
H-576	DEF STAN 91/39 (OM-33)	Πύραυλοι που λειτουργούν υδραυλικά, πηδάλια, κλπ	Ορυκτό έλαιο	—	26/33	—	-30	160
H-579	MIL-H-22072	Συστήματα καταπελτών επί αεροπλανοφόρων	Νερό / γλυκόλη	—	38/43	—	—	—
H-580	MIL-H-19457	Συστήματα καταπελτών και ανεγκυστήρες καταστρώματος επί αεροπλανοφόρων	Φωσφορικός εστέρας	4,8	38,5/45/5	—	-18	—

Πίνακας 10.2 Σχετικά χαρακτηριστικά ευφλεκτότητας πετρελαίου και υδραυλικού ρευστού αεροπορίας με βάση συνθετικό υδρογονάνθρακα (τυπικά δεδομένα)

Ιδιότητα	MIL-H-5606	MIL-H-83282
Είδος βασικού ελαίου	Ορυκτό	Πολυαλφαολεφίνη
Σημείο ανάφλεξης (COC) ($^{\circ}\text{C}$)	103	220
Σημείο φωτιάς (COC) ($^{\circ}\text{C}$)	115	254
Τεστ ανάφλεξης σε θερμαινόμενη πλάκα ($^{\circ}\text{C}$)	590	540
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης ($^{\circ}\text{C}$)	232	371
Τεστ εμπρηστικού πυροβολισμού, (50 διαμέτρημα/4 ρίψεις) αριθμός ρίψεων	5	1

Τα έλαια σιλικόνης, τροποποιημένα με τη χρήση των κατάλληλων προσθέτων, είναι επίσης πολλά υποσχόμενα ως ανθεκτικά στη φωτιά υδραυλικά ρευστά αεροσκαφών. Άλλες εγγενείς ιδιότητες, όπως οι εξαιρετικές ιδιότητες ροής σε χαμηλή θερμοκρασία, οι εξαιρετικά υψηλοί δείκτες ιξώδους, η χαμηλή πολικότητα, η καλή υδρολυτική σταθερότητα και η υψηλή οξειδωτική σταθερότητα, θα φαίνονταν ιδανικές για αυτή την εφαρμογή. Ωστόσο, αυτά τα πλεονεκτήματα κατά κάποιον τρόπο επισκιάζονται από τις φτωχές ιδιότητες οριακής λίπανσης για χάλυβα πάνω σε χάλυβα και τη σχετικά υψηλή συμπίεστικότητα σε σύγκριση με τα ρευστά ορυκτών ελαίων και τα ρευστά με βάση συνθετικούς υδρογονάνθρακες. Εντούτοις, ένα ρευστό με βάση το χλωροφαινυλομεθυλοσιλοξάνιο, δοκιμάστηκε στα αεροσκάφη BAC TSR2 και Hawker Hunter FGA Mk6, τροποποιημένο σε σχέση με τα υλικά στεγανοποίησης. Οι δοκιμές ήταν εύλογα ικανοποιητικές, αλλά καθώς κρίθηκαν επιθυμητές περαιτέρω τροποποιήσεις σχετικά με το σχεδιασμό σερβο-βαλβίδων, η υιοθέτηση των ρευστών σιλικόνης δεν συνεχίστηκε.

Οι σιλικόνες, οι φωσφορικοί εστέρες και μια ποικιλία αλογονωμένων ενώσεων, όλα έχουν απορριφθεί από τα εργαστήρια στρατιωτικών ερευνών κατά την έρευνα για το απόλυτο ανθεκτικό στη φωτιά υδραυλικό ρευστό. Μεταξύ των πιο υποσχόμενων βασικών υλικών που αναφέρθηκαν μέχρι σήμερα είναι το χλωροτριφθοροεθυλένιο, ο φθοροακυλοαιθέρας, ο περφθοροακυλοαιθέρας και η τριαζίνη περφθοροακυλοαιθέρα.

10.2 Οχήματα μάχης και πυροβόλα.

Τα πρώιμα υδραυλικά ρευστά που χρησιμοποιούνταν από τις δυνάμεις του NATO ήταν αποκλειστικά προϊόντα ορυκτών ελαίων, π.χ. H-540 ή C-635 για οχήματα και πυροβόλα. Κατά τη διάρκεια της Ισραηλο-αραβικής σύγκρουσης το 1973, σημειώθηκαν σημαντικές απώλειες λόγω πυρκαγιών όταν χτυπιούνταν τα υδραυλικά συστήματα των οχημάτων μάχης από τα εχθρικά πυρά. Κατά συνέπεια, ο Αμερικανικός στρατός εντατικοποίησε την έρευνα σε μέσα ανθεκτικά στη φωτιά και ανέπτυξε μια αντιδιαβρωτική εκδοχή του ρευστού από συνθετικό υδρογονάνθρακα MIL-H-83282. Το καινούριο ρευστό τυποποιήθηκε σύμφωνα με το MIL-H-46170 (κωδικός Nato H-544), και σήμερα εφαρμόζεται ευρέως εντός NATO, κυρίως για τα υδραυλικά συστήματα των οχημάτων μάχης.

Για πολλά χρόνια τα στρατιωτικά οχήματα χρησιμοποιούσαν υγρά φρένων με βάση τις πολυγλυκόλες και τους γλυκοαιθέρες, καθορίζοντας διαφορετικά προϊόντα για τις διάφορες κλιματικές συνθήκες και σκοπούς αποθήκευσης. Η ευαισθησία στο νερό αυτών των προϊόντων αναγνωρίζεται ως ο μέγιστος παράγοντας στις αποτυχίες των συστημάτων πέδησης, ακολουθούμενες από την εισχώρηση υγρασία στο σύστημα μέσω των στεγανοποιήσεων και των σωλήνων από καουτσούκ. Το απορροφώμενο νερό χαμηλώνει το σημείο βρασμού και το σημείο κλειδώματος ατμού αυτών των ρευστών, και αυξάνει σημαντικά το ιξώδες χαμηλής θερμοκρασίας, επιδρώντας έτσι αντιστρόφως στην επίδοσή τους. Προκειμένου να παρακαμφθούν αυτά τα προβλήματα, αναπτύχθηκαν τα μη υδροσκοπικά ρευστά σιλικόνης. Αυτά τα ρευστά διαθέτουν υψηλό σημείο βρασμού, υψηλούς δείκτες ιξώδους και επωφελές ιξώδες χαμηλής θερμοκρασίας. Λόγω της εγγενούς χαμηλής επιφανειακής τάσης αυτών των ρευστών, εμφανίζουν εξαιρετική ικανότητα υδάτωσης στις μεταλλικές επιφάνειες, εμποδίζοντας έτσι την εισροή υγρασίας και την επακόλουθη διάβρωση. Λόγω της ανθεκτικότητας των υγρών φρένων σιλικόνης στην υγρασία, και της καλής χημικής τους σταθερότητας, η προηγούμενη απαίτηση για περιοδική αντικατάσταση του ρευστού έχει κατά πολύ εξαλειφθεί.

10.3 Πολεμικά πλοία

Τα υδραυλικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στα πολεμικά πλοία βασίζονται επί του παρόντος σε συμβατικά ρευστά ορυκτών ελαίων, π.χ. κωδικοί Nato H-572, H-573 και H-576. Υπάρχει φυσικά και εδώ μια ξεχωριστή απαίτηση για ρευστά που προσφέρουν βελτιωμένη αντοχή στη φωτιά. Κατά τη δεκαετία του 1960 είχε αναπτυχθεί ήδη ένα ρευστό βασισμένο στο τριτο-βουτυλ φωσφορικό τριφαινύλιο από το Αμερικανικό ναυτικό για χρήση σε συστήματα καταπελτών και ανελκυστήρες καταστρώματος – πτήσης επί αεροπλανοφόρων. Αυτό το ρευστό έχει τυποποιηθεί σύμφωνα με το MIL-H-19457 (H-580).

Με την επακόλουθη εμπειρία κατά τον πόλεμο του Φόλκλαντ, το βασιλικό ναυτικό αύξησε τις προσπάθειες ανάπτυξης ενός πιο κατάλληλου υδραυλικού ρευστού, με αποκορύφωμα ένα νέο ρευστό νερού – γλυκόλης με, μεταξύ άλλων, βελτιωμένες ιδιότητες σε χαμηλή θερμοκρασία συγκρινόμενο με το H-579 (MIL-H-22072).

Ένα σημαντικό πρόβλημα που σχετίζεται με τις φωτιές στα υδραυλικά συστήματα είναι ο σχηματισμός τοξικού αερίου, το οποίο αντιπροσωπεύει έναν πολύ σημαντικό κίνδυνο όπου σχετίζονται κάποια από τα εναλλακτικά αποτελεσματικά προϊόντα με αντοχή στη φωτιά, όπως οι φωσφορικοί εστέρες και οι αλογονωμένες ενώσεις. Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερος οξύ στα υποβρύχια. Ακόμα μια σημαντική απαίτηση αναφορικά με τις υποβρύχιες εφαρμογές είναι η προτιμώμενη χρήση αναμίξιμων υδραυλικών ρευστών με θαλασσίνο νερό, εξασφαλίζοντας έτσι ότι οι διαρροές δεν θα αποκαλύψουν τη θέση του σκάφους με τοπικές συγκεντρώσεις ρευστού στην επιφάνεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο:ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ

Προκειμένου να εξασφαλιστεί μια αξιόπιστη επιλογή του κατάλληλου υδραυλικού ρευστού, είναι απαραίτητο να ξεκινήσουμε καταρτίζοντας πληροφορίες όσο το δυνατόν πιο λεπτομερώς, λαμβάνοντας υπόψη το πραγματικό σύστημα και τις συνθήκες λειτουργίας. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη έχουν ως ακολούθως.

- Ποια είναι τα ανώτερα και κατώτερα όρια ιξώδους;
- Σε τι εύρος θερμοκρασίας θα λειτουργήσει το σύστημα;
- Θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ρευστό με αντοχή στη φωτιά;
- Υπάρχουν ειδικές λιπαντικές απαιτήσεις σχετικά με κάποιο από τα εξαρτήματα;
- Η επιλογή του είδους του ρευστού περιορίζεται από κάποιο από τα κατασκευαστικά υλικά, π.χ. στεγανοποιήσεις ή στοιχεία φιλτραρίσματος;
- Ποιες είναι οι συστάσεις του κατασκευαστή σχετικά με τα πιο κρίσιμα εξαρτήματα (ειδικά υδραυλικές αντλίες και κινητήρες).
- Υπάρχουν άλλες ειδικές απαιτήσεις, π.χ. περιβαλλοντικοί περιορισμοί;

Μετά από προσεκτική θεώρηση των ανωτέρω παραγόντων, καθορίζεται ο βέλτιστος βαθμός ιξώδους των μέσων που συμπληρώνουν τα εναπομείναντα τεχνικά κριτήρια. Αν κριθεί απαραίτητο, η τελική επιλογή γίνεται αφού επίσης ληφθεί υπόψη πιθανή μετατροπή του συστήματος για να προσαρμόσει ένα προτιμώμενο είδος ρευστού για τεχνικούς, οικονομικούς ή εξορθολογιστικούς λόγους.

Γενικά, η πλειοψηφία των βιομηχανικών εφαρμογών ικανοποιούνται από ένα ορυκτό υδραυλικό έλαιο τύπου ISO HM με βαθμό ιξώδους ISO VG32 ή 46. Συστήματα που λειτουργούν σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, για παράδειγμα μηχανές μορφοποίησης πλαστικού, συχνά χρησιμοποιούν τους πιο ιξώδεις βαθμούς ISO VG68 ή ακόμα και 100.

Οι κινητοί εξοπλισμοί συνήθως χρησιμοποιούν τύπο ISO HV, ορυκτό υδραυλικό έλαιο ISO VG32 επί ενός εύρους θερμοκρασίας της τάξεως του $- 20^{\circ}\text{C}$ έως $+ 70^{\circ}\text{C}$. Θερμοκρασίες περιβάλλοντος κάτω από $- 20^{\circ}\text{C}$ απαιτούν τη χρήση ορυκτών ή συνθετικών ρευστών που διαθέτουν υψηλότερους δείκτες ιξώδους και καλή διατμητική σταθερότητα. Ειδικές αυστηρές απαιτήσεις βρίσκονται σε σχέση με ορισμένα είδη δασοκομικού εξοπλισμού που λειτουργούν κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και σκληρές συνθήκες, όπως για παράδειγμα στις Σκανδιναβικές χώρες. Πολλές από αυτές τις μηχανές ενσωματώνουν υδραυλικούς κινητήρες που λειτουργούν κάτω από συνθήκες χαμηλής ταχύτητας / υψηλής ροπής, και έτσι είναι αναγκαία η χρήση του εξαιρετικά σταθερής διάτμησης τύπου ISO HV, προϊόντων ISO VG46 – 68.

Για συστήματα στα οποία η συνήθης θερμοκρασία λειτουργίας ξεπερνά τους 90°C , θα έπρεπε να εξετάζεται το ενδεχόμενο χρήσης ενός κατάλληλου συνθετικού ρευστού που διαθέτει ικανοποιητική οξειδωτική σταθερότητα. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να κατευθύνεται προς τη συμβατότητα με τις επιφανειακές επιστρώσεις, στεγανοποιήσεις και άλλα ενδεχόμενα ελαστομερή υλικά όταν επιλέγεται ένα συνθετικό ρευστό.

Η πλειοψηφία των προτυποποιημένων μεθόδων δοκιμής εκδίδονται από τους ακόλουθους:

ASTM (Αμερικανική Ένωση Δοκιμών και Υλικών)

IP (Ινστιτούτο Πετρελαίου)

DIN (Γερμανικό Ινστιτούτο Προτυποποίησης)

FTM (Ομοσπονδιακή Μέθοδος Δοκιμής)

SIS (Σουηδική Επιτροπή Προτυποποίησης)

ISO (Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης)

AHEM (Ένωση Κατασκευαστών Υδραυλικού Εξοπλισμού)

Επιπλέον υπάρχουν πολλές ενδοεταιρικές διαδικασίες που αναπτύχθηκαν από κατασκευαστές αντλιών, πετρελαϊκές εταιρίες, κλπ.

11. 1 Φυσικο-χημικές ιδιότητες

Κινηματικό ιξώδες: ASTM D445, IP 71. Το ιξώδες είναι ένα μέτρο της εσωτερικής τριβής ή της αντίστασης στη ροή ενός ρευστού, όταν υπόκειται σε μια διατμητική δύναμη. Η μέθοδος προσδιορίζει το κινηματικό ιξώδες του ρευστού μετρώντας το χρόνο ροής ενός προκαθορισμένου όγκου του υγρού υπό βαρύτητα μέσω ενός βαθμονομημένου γυάλινου τριχοειδούς ιξωδόμετρου. Η μονάδα μέτρησης είναι το σεντιστοουκ (cSt) ή mm/s, και μπορεί να μετατραπεί σε δυναμικό ιξώδες σε σεντιπουαζ (cP = mPa·s) πολλαπλασιάζοντας το κινηματικό ιξώδες με την πυκνότητα του ρευστού. Όπως σε όλες τις μετρήσεις ιξώδους, ο ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας είναι υπέρτατης σημασίας για να αποφευχθούν ανακρίβειες.

Σημείο ροής: ASTM D97, IP 15. Το σημείο ροής είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, που εκφράζεται ως πολλαπλάσιο του 3⁰C, στην οποία το ρευστό δοκιμής παρατηρείται να ρέει όταν ψύχεται και εξετάζεται κάτω από προβλεπόμενες συνθήκες. Ως γενικός κανόνας, το σημείο ροής πρέπει να είναι τουλάχιστον 10⁰C κάτω από τη χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το ρευστό. Είναι, ωστόσο, σημαντικό να γίνει αντιληπτό ότι είναι το πραγματικό ιξώδες σ' αυτή τη θερμοκρασία και όχι το σημείο ροής από μόνο του, ο αληθινός περιοριστικός παράγοντας για τη λειτουργία σε χαμηλή θερμοκρασία.

Σημείο Ανάφλεξης: ASTM D92 ή D93. Το σημείο ανάφλεξης είναι η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να θερμανθεί ένα ρευστό σε μια πρότυπη συσκευή δοκιμής για να αναπτύξει επαρκή ατμό για στιγμιαία ανάφλεξη με την εφαρμογή μιας μικρής φλόγας. Η δοκιμή μπορεί να εκτελεστεί είτε ως μια δοκιμή ανοικτού δοχείου (D92), είτε ως κλειστή δοκιμή (D93). Η τελευταία διαδικασία είναι πιο ευαίσθητη σε μικρές ποσότητες πτητικών συστατικών και πάντα θα παράγει χαμηλότερες τιμές (15 - 30⁰C) από την εκδοχή του ανοικτού δοχείου.

Η δοκιμή ASTM D92 περιγράφει τον καθορισμό του σημείου ανάφλεξης σύμφωνα με τη μέθοδο ανοικτού δοχείου Cleveland.

Η ASTM D93 περιγράφει τη διαδικασία δοκιμής κλειστού δοχείου Pensky-Martens. Αυτή είναι η προτιμώμενη μέθοδος όταν υπάρχει υποψία μόλυνσης του υδραυλικού ρευστού από πτητικά κλάσματα, όμως χρησιμοποιείται επίσης συχνά για ευκολία λόγω των πολλών αυτόματων δοκιμαστών που διατίθενται.

Αριθμός εξουδετέρωσης, τιμή οξέως ή TAN: ASTM D664, IP 177. Αυτή η μέθοδος περιγράφει τις διαδικασίες για τον καθορισμό των οξεικών ή βασικών συστατικών στα πετρελαϊκά προϊόντα. Η μέθοδος λύει αυτά τα συστατικά σε ομάδες που έχουν ιδιότητες ιονισμού ασθενούς οξέως, δυνατού οξέως, ασθενούς βάσης ή δυνατής βάσης.

Η οξύτητα των αχρησιμοποίητων ελαίων και ρευστών συνήθως απορρέει από το είδος και τη συγκέντρωση ειδικών πρόσθετων υλικών. Αυτό σχετίζεται ιδιαίτερα με ρευστά που περιέχουν μεταλλικά διθειοφωσφορικά πρόσθετα, προϊόντα που χαρακτηρίζονται από μια σχετικά υψηλή αρχική οξύτητα ($\leq 1,5$ mg KOH/g).

Η οξύτητα εναλλακτικά ενδιαφέρει ως μέτρο για το βαθμό οξείδωσης ενός χρησιμοποιημένου ρευστού, και ελέγχοντας την ανάπτυξη οξύτητας με την πάροδο του χρόνου, παρέχει μια ένδειξη της ωφέλιμης ζωής του ρευστού.

Στην ASTM D664 και IP 177 το έλαιο διαλύεται σε έναν ιοντίζοντα διαλύτη και τιτλοδοτείται ποτενσιομετρικά με υδροξείδιο του καλίου. Ένα βυθισμένο ηλεκτρόδιο καταγράφει μεταβολές στη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης, εντοπίζοντας έτσι το ακριβές σημείο εξουδετέρωσης. Η οξύτητα μπορεί επίσης να προσδιοριστεί με χρωματομετρική τιτλοδότηση, χρησιμοποιώντας έναν χρωματιστό δείκτη (ASTM D974 και IP 1).

Ιδιότητες αφρισμού: ASTM D892, IP 146. Ο αφρισμός συνήθως προκαλείται από την εισχώρηση αέρα στο σύστημα από ελαττωματικές σφραγίσεις ή διαρροές στη γραμμή αναρρόφησης. Η ακατάλληλη τοποθέτηση των γραμμών επιστροφής του ρευστού στη δεξαμενή, η παρουσία λεπτών μολυσματικών σωματιδίων, και τα χαμηλά επίπεδα ρευστού ευνοούν επίσης τη συγκέντρωση αφρού. Η παρουσία μικρών φυσαλίδων μειώνει σημαντικά το συντελεστή όγκου του ρευστού και μπορεί επίσης να προάγει την οξείδωση.

Η δοκιμή εκτελείται καταγράφοντας την τάση αφρισμού καθώς ο αέρας διαχέεται στο ρευστό κάτω από τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής, και έπειτα τη σταθεροποίηση του αφρού. Η δοκιμή εκτελείται σε τρία στάδια στις θερμοκρασίες των 25⁰C, των 100⁰C, και τότε πάλι στους 25⁰C.

Απελευθέρωση αέρα: IP313, DIN 51 381. Ενώ η ASTM D892 εξετάζει την τάση του ρευστού να συγκεντρώνει επιφανειακό αφρό, η IP 313 προσδιορίζει την

ικανότητά του να διαχωρίζει τις συμπαρασυρόμενες φυσαλίδες. Ένα ευνοϊκό αποτέλεσμα όταν γίνεται εξέταση σύμφωνα με την IP 313 ή την DIN 51 381, υποδεικνύει ότι το ρευστό είναι απίθανο να διατηρήσει την κυκλοφορία του συμπαρασυρόμενου αέρα στο σύστημα.

Η διαδικασία της δοκιμής περιλαμβάνει την καταγραφή του χρόνου σε λεπτά για τον λεπτά διασκορπισμένο αέρα να μειωθεί σε 0,2% όγκο κάτω από τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής, συνήθως σε θερμοκρασία 50°C.

Οξειδωτική σταθερότητα: ASTM D943, ASTM D2272, IP 328. Με εξαίρεση το νερό, όλα τα υδραυλικά ρευστά υπόκεινται σε χημική φθορά υπό την επίδραση ζέστη και οξυγόνου (αέρα), σχηματίζοντας διάφορα προϊόντα οξείδωσης. Οι αντιδράσεις οξείδωσης επιταχύνονται με την παρουσία καταλυτικών υλικών, όπως π.χ. διαλυμένες ενώσεις χαλκού, όμως μπορούν να επιβραδυνθούν με προσθήκη ανασταλτικών προσθέτων (αντιοξειδωτικά).

Μια μεγάλη ποικιλία προτυποποιημένων και ενδοεταιρικών διαδικασιών δοκιμής απασχολούνται προκειμένου να αξιολογήσουν την σταθερότητα και την αναμενόμενη διάρκεια ζωής των υδραυλικών ρευστών κάτω από συνθήκες οξείδωσης. Η πλειοψηφία αυτών των δοκιμών βασίζονται στην έκθεση του ρευστού δοκιμής σε οξυγόνο ή αέρα σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και με την παρουσία καταλυτικών μετάλλων, για να αυξήσουν τους ρυθμούς οξείδωσης και να μειώσουν την περίοδο δοκιμής. Η οξειδωτική σταθερότητα εκτιμάται από τον ποσοτικό προσδιορισμό των προϊόντων οξείδωσης, την απορρόφηση οξυγόνου (αέρα), τις μεταβολές ιζώδους, κλπ, έπειτα από συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Πολλές από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους δοκιμής αναπτύχθηκαν αρχικά για χρήση με λάδια τουρμπίνων, αλλά από τότε έχουν αποδειχθεί επίσης κατάλληλες για πολλά είδη υδραυλικών ρευστών.

Παραδείγματα χρήσιμων προτυποποιημένων μεθόδων δοκιμής είναι:

- TOST (Τεστ οξειδωτικής σταθερότητας τουρμπίνας), ASTM D943.
- Τεστ περιστροφικής βόμβας, ASTM D2272 / IP 229.
- Οξειδωτική σταθερότητα ελαίων τουρμπίνας κατά τη διάρκεια της χρήσης, IP 328.

Η ASTM D943 αντιδρά το δείγμα ελαίου με οξυγόνο υπό την παρουσία νερού και ενός καταλύτη χαλκού – σιδήρου στους 95⁰C. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι ο συνολικός αριθμός οξέως (TAN) του ελαίου να φτάσει τα 2,0 mg KOH/g ή παραπάνω. Ο αριθμός των ωρών δοκιμής προκειμένου η οξύτητα να φτάσει τα 2,0 mg KOH/g ορίζεται ως «ζωή οξειδωσης» του ελαίου. Λόγω της παρουσίας νερού κατά τη διάρκεια της δοκιμής, μπορούν να αποκτηθούν παραπλανητικά αποτελέσματα όταν δοκιμάζονται ρευστά με φτωχή υδρολυτική σταθερότητα.

Η ASTM D2272 οξειδώνει το έλαιο στους 150⁰C υπό την παρουσία νερού, καταλύτη μεταλλικού χαλκού και οξυγόνου στα 620 kPa πίεση. Ο χρόνος που περνά προτού καταγραφεί πτώση πίεσης της τάξης των 175 kPa, είναι μια ένδειξη της οξειδωτικής σταθερότητας. Η διαδικασία της δοκιμής θεωρείται χρήσιμη για τον έλεγχο παραγωγής ελαίων που έχουν την ίδια σύνθεση και για να ελέγχεται η εναπομείνασα διάρκεια οξειδωτικής ζωής των ελαίων σε λειτουργία. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις σχετικά με τα ανεπαρκή σε υδρολυτική σταθερότητα ρευστά εφαρμόζονται και σε αυτή τη διαδικασία δοκιμής.

Η IP 328 υποβάλλει το δείγμα ελαίου σε οξείδωση σε μια ατμόσφαιρα οξυγόνου στη θερμοκρασία των 150⁰C, αλλά χωρίς καταλύτες. Το οξυγόνο που καταναλώνεται στις οξειδωτικές αντιδράσεις αντικαθίσταται από μια ισοδύναμη ποσότητα προμηθευόμενη από ένα ηλεκτρολυτικό θάλαμο. Ο χρόνος που χρειάζεται το έλαιο για να απορροφήσει μια συγκεκριμένη ποσότητα οξυγόνου καταγράφεται και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ο χρόνος σε ώρες για 100g ελαίου να απορροφήσει 300 ml οξυγόνου.

Θερμική σταθερότητα: ASTM D2160, ASTM D130, C-M test. Θερμική σταθερότητα είναι στην πραγματικότητα η ικανότητα του ρευστού να αντισταθεί στη χημική μεταβολή όταν υποβάλλεται σε υψηλή θερμοκρασία με απουσία αέρα ή οξυγόνου (συνθήκη σπάνια συναντώμενη στην πράξη, αφού συνήθως ο αέρας είναι παρών). Τα επεξεργασμένα ορυκτά βασικά έλαια διαθέτουν φυσική θερμική σταθερότητα μέχρι τις θερμοκρασίες γύρω στους 320⁰C, και η θερμική σταθερότητα των ορυκτών υδραυλικών ελαίων είναι κυρίως μια έκφραση της αντίστασης των προσθέτων στην υψηλή θερμοκρασία. Τα πιο ενεργά διθειοφωσφορικά πρόσθετα είναι ιδιαίτερος επιρρεπή στη θερμική αποδόμηση, και αποσυντίθενται σχηματίζοντας αδιάλυτες ενώσεις (λάσπη) σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η ASTM D2160 αξιολογεί τη θερμική σταθερότητα του ρευστού στους 260⁰C και 316⁰C για χρονικές περιόδους 6 ωρών με την απουσία οξυγόνου και νερού. Λόγω της πιθανής αποσύνθεσης και παραγωγής αερίων υψηλής πίεσης στη θερμοκρασία δοκιμής, αυτή η μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για υδατικά βασικά ρευστά ή άλλα μέσα που παράγουν υψηλές πιέσεις.

Στο κλείσιμο των περιόδων δοκιμής, οι θάλαμοι δοκιμής βαθμολογούνται με οπτική επιθεώρηση για κολλώδη κατάλοιπα, κλπ, και το δείγμα αναλύεται για μεταβολή ιξώδους και τιμή εξουδετέρωσης. Η δοκιμή διαφοροποιεί τη σχετική σταθερότητα των υδραυλικών ρευστών σε υψηλές θερμοκρασίες με την απουσία αέρα και νερού υπό τις συνθήκες της δοκιμής. Στην πράξη, θερμικώς ασταθή ρευστά μπορούν να σχηματίσουν μολυσμένα οξέα που προκαλούν διάβρωση, κατακάθια και μεταβολές ιξώδους, οδηγώντας σε δυσλειτουργίες του συστήματος.

Η ASTM D130 περιγράφει μια απλή διαδικασία για την εξερεύνηση της επιθετικότητας του ρευστού έναντι μιας γυαλισμένης ταινίας χαλκού, σε θερμοκρασία και για χρόνο επιλεγμένα για το ρευστό που υποβάλλεται στη δοκιμή. Οι τυπικοί παράμετροι δοκιμής για μη υδατικά ρευστά είναι 1-3 ώρες στους 90-150⁰C. Στο τέλος της περιόδου της δοκιμής η ταινία χαλκού απομακρύνεται, πλένεται και συγκρίνεται με τα ASTM Πρότυπα Διάβρωσης Ταινίας Χαλκού. Η δοκιμή ξεκάθαρα διαφοροποιείται μεταξύ ρευστών που περιέχουν διθειοφωσφορικά πρόσθετα ανόμοιας δομής.

Η πιο οικεία, και ίσως πιο σημαντική μέθοδος δοκιμής για τον καθορισμό της θερμικής σταθερότητας, είναι η δοκιμή Cincinnati – Milacron (διαδικασία A). Σε αυτή τη μέθοδο το δείγμα ρευστού θερμαίνεται στους 135⁰C για περίοδο 168 ωρών, μαζί με καταλυτικές ράβδους χαλκού και χάλυβα. Στο τέλος της δοκιμής, ζυγίζονται τα κατάλοιπα που καθίζησαν, και καταγράφονται επίσης οι απώλειες βάρους των καταλυτικών ράβδων. Αυτή η διαδικασία δοκιμής διαφοροποιείται πολύ κρίσιμα μεταξύ ρευστών ικανών να προωθήσουν φθορά ή διάβρωση σε συστατικά που ενσωματώνουν επιφάνειες τριβής από κράματα χαλκού έναντι χάλυβα, π.χ. φωσφοροχάλκινα slipper pads σε αξονικές αντλίες εμβόλου. Τα πιο δραστικά είδη προσθέτων κατά της φθοράς, π.χ. παράγωγα διακυκλοφωσφορικά, παράγουν εξαιρετικά φτωχά αποτελέσματα σε αυτή τη δοκιμασία. Η δοκιμή θερμικής σταθερότητας Cincinnati – Milacron καθορίζεται σε πολλά πρότυπα, π.χ. στο Denison HF-0.

Υδρολυτική σταθερότητα: ASTM D2619. Ορισμένα είδη βασικών ρευστών και προσθέτων έχουν την τάση να αντιδρούν με το νερό. Αυτό οδηγεί σε επιδείνωση των ιδιοτήτων, και κάποια από τα προϊόντα που σχηματίζονται κατά την υδρόλυση μπορούν να επιτεθούν σε ευάλωτα μέταλλα.

Γι αυτή τη δοκιμή σφραγίζονται σε ένα τύπου πίεσης μπουκάλι ποτού, 75 γρ. δείγμα ρευστού συν 25 γρ. νερό και ένα δοκίμιο χαλκού. Το μπουκάλι περιστρέφεται από άκρη σε άκρη για 48 ώρες σε ένα φούρνο στους 93⁰C. Τότε διαχωρίζονται οι φάσεις και ζυγίζονται τα αδιάλυτα. Μετράται η μεταβολή βάρους του δοκιμίου χαλκού. Καθορίζονται οι μεταβολές οξύτητας και ιξώδους του ρευστού και η οξύτητα της υδατικής φάσης.

Η μέθοδος διαφοροποιεί τη σχετική σταθερότητα των υδραυλικών ρευστών με την παρουσία νερού κάτω από τις συνθήκες της δοκιμής. Υδρολυτικά ασταθή υδραυλικά ρευστά σχηματίζουν όξινες και αδιάλυτες προσμείξεις, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργίες του συστήματος λόγω διάβρωσης, κόλλημα των βαλβίδων ή μεταβολές στο ιξώδες του ρευστού. Αυτή η δοκιμή υδρολυτικής σταθερότητας καθορίζεται επίσης στο πρότυπο Denison HF-0.

Ιδιότητες πρόληψης σκουριάς: ASTM D665b, ASTM D1748. Ακόμα και μικρές ποσότητες προϊόντων διάβρωσης, μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες σε ένα κρίσιμο υψηλής πίεσης υδραυλικό σύστημα. Τα πρόσθετα αναστολής της διάβρωσης συνήθως ενσωματώνονται στους σχηματισμούς υδραυλικών ρευστών για να αποτρέψουν αυτό το ενδεχόμενο. Διάφορες μέθοδοι δοκιμής χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν τις ιδιότητες πρόληψης της διάβρωσης ενός ρευστού, συμπεριλαμβάνοντας πολλές δοκιμές οξείδωσης / διάβρωσης, στις οποίες η διάβρωση και ο σχηματισμός επιφανειακών ιζημάτων σε μεταλλικές ταινίες δοκιμών αξιολογούνται κάτω από διαφορετικές συνθήκες δοκιμών.

Η ικανότητα ενός υδραυλικού ρευστού να προλαμβάνει τη σκουριά παρουσία θαλασσινού νερού, εξετάζεται μέσω της ASTM D665b. Δείγματα δοκιμής χάλυβα βυθίζονται σε ένα μείγμα του ρευστού και συνθετικού θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία 60⁰C για 24 ώρες. Καμία ορατή σκουριά δεν παρατηρείται με ρευστά που περνούν τη δοκιμή.

Η ASTM D1748 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τις ιδιότητες πρόληψης της σκουριάς ενός μη υδατικού υδραυλικού ρευστού υπό συνθήκες υψηλής υγρασίας, που συσχετίζονται ως ένα βαθμό με τις συνθήκες σε συστήματα που έχουν μολυνθεί με νερό, όταν δε βρίσκονται σε λειτουργία. Η δοκιμή διεξάγεται ανακόπτοντας τριμμένα με αμμοβολή και γυαλισμένα δείγματα χάλυβα, βυθισμένα στο ρευστό δοκιμής, σε ένα ντουλάπι με υγρασία στη θερμοκρασία των 50⁰C και σχετική υγρασία 95-100%. Η διάρκεια της δοκιμής μπορεί να διαφέρει αναλόγως των απαιτήσεων, και τα δείγματα της δοκιμής βαθμολογούνται ανάλογα με τον αριθμό και το μέγεθος των σημείων σκουριάς που αναπτύσσονται κατά την περίοδο της δοκιμής.

Συμβατότητα ελαστομερούς: IP 278, ASTM D3604. Μια απαραίτητη απαίτηση για τα υδραυλικά ρευστά είναι ότι θα πρέπει να είναι συμβατά με τα υλικά στεγανοποίησης και τους υδραυλικούς εύκαμπτους σωλήνες. Η προτιμώμενη επίδραση των ρευστών στις υδραυλικές σφραγίσεις συνήθως θεωρείται πως είναι ένα μέτριο φούσκωμα ($\leq 2\%$). Λόγω της σημαντικής διαφοροποίησης σε συμβατότητα με τα διάφορα είδη ρευστών, είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη αυτός ο παράγοντας όταν επιλέγονται νέα υλικά ή ρευστά.

Η IP 278 καθορίζει τη συμβατότητα των ορυκτών υδραυλικών ρευστών με τα υλικά στεγανοποίησης νιτριλίου καουτσούκ στους όρους ενός Δείκτη Συμβατότητας Στεγανοποίησης (SCI). Η εσωτερική διάμετρος ενός συνήθους δακτυλίου «Ο» μετράται σε μια κωνική ράβδο μετρητή. Ο δακτύλιος τότε βυθίζεται στο δείγμα του ελαίου για περίοδο 24 ωρών στη θερμοκρασία των 100⁰C. Αφού ψυχθεί ο δακτύλιος για συγκεκριμένο χρόνο, μετράται πάλι η μεταβολή στην εσωτερική του διάμετρο στο μετρητή. Ο Δείκτης Συμβατότητας Στεγανοποίησης είναι το ποσοστό ογκομετρικού φουσκώματος, προς τον πιο κοντινό απόλυτο αριθμό, που προκύπτει από μετατροπή από το διαμετρικό φούσκωμα υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες της δοκιμής. Η μέθοδος μπορεί να προσαρμοστεί για χρήση με άλλα ελαστομερή και ρευστά, και επίσης να συμπληρωθεί με εξέταση των μηχανικών ιδιοτήτων, τη σκλήρυνση κλπ, που ακολουθούν τη δοκιμή βύθισης.

Η ASTM D3604 καθορίζει τη μεταβολή όγκου κάθε επιλεγμένου ελαστομερούς στα υδραυλικά ρευστά, επίσης υπό σταθερές συνθήκες. Σε αυτή τη διαδικασία, μικρές ταινίες δοκιμής του επιθυμητού ελαστομερούς βυθίζονται στο

δείγμα ρευστού για 168 ώρες στη θερμοκρασία των 70⁰C. Η μεταβολή όγκου των δειγμάτων προέρχεται από το ζύγισμα των ταινιών του δείγματος στον αέρα και το νερό, πριν και μετά τη βύθιση.

Η Σουηδική επιτροπή προτυποποίησης έχει εισάγει το δικό της πρότυπο, το SIS 162208: *Bestämning av Vatskors Inverkan pd Gummi*, που περιλαμβάνει:

- Μεταβολή όγκου,
- Απώλεια βάρους,
- Μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων κατά τη διάρκεια της βύθισης,
- Μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων μετά την εκχύλιση με διαλύτη.

Διαχωρισμός νερού: ASTM D1401. Τα περισσότερα ορυκτά υδραυλικά έλαια και συνθετικά ρευστά είναι σχεδιασμένα να διαχωρίζονται εύκολα από το νερό, αλλιώς η υδατική μόλυνση θα μπορούσε να σχηματίσει σταθερά γαλακτώματα, αυξάνοντας το ιξώδες και προκαλώντας μια γενική χειροτέρευση των ιδιοτήτων. Το επακόλουθο γαλάκτωμα θα εμφάνιζε αυξημένη τάση να διασκορπίσει στερεούς ρυπαντές, και να προωθήσει φθορά, οξειδωση και διάβρωση εντός του συστήματος.

Η ASTM D1401 είναι μια κοινώς εφαρμόσιμη μέθοδος δοκιμής στην οποία ένα δείγμα ελαίου 40 ml και 40 ml αποσταγμένου νερού αναμιγνύονται για 5 λεπτά σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο στους 54⁰C ή τους 82⁰C. Ο χρόνος για το διαχωρισμό του γαλακτώματος που σχηματίζεται έτσι, καταγράφεται. Όταν δοκιμάζονται συνθετικά ρευστά των οποίων οι σχετικές πυκνότητες είναι μεγαλύτερες από αυτή του νερού, η διαδικασία δε μεταβάλλεται, παρόλο που η φάση διαχωρισμού του νερού πιθανώς θα επιπλέει στο γαλάκτωμα ή το ρευστό.

Περιεκτικότητα νερού: IP 74, ASTM D95, ASTM D1744. Η IP 74 και η ισότιμη ASTM D95 είναι οι πρότυπες μέθοδοι για τον καθορισμό της περιεκτικότητας νερού 0,05% όγκου και πάνω στα ορυκτά υδραυλικά έλαια και κάποια συνθετικά έλαια. Η διαδικασία της δοκιμής περιλαμβάνει αζεοτροπική κατ'αντιρροή απόσταξη του ελαίου με ξυλόλιο, διαχωρίζοντας το νερό από το κατ'αντιρροή απόσταγμα.

Η ASTM D1744 (Karl Fischer) είναι μια πιο ακριβής μέθοδος, κατάλληλη για περιεκτικότητες νερού μεταξύ 50 και 1000 ppm. Το δείγμα τιτλοδοτείται με ένα πρότυπο διάλυμα ιωδίου, πυριδίνης και διοξειδίου του φωσφόρου σε μεθυλική

αλκοόλη. Το τελευταίο σημείο της τιτλοδότησης, στο οποίο ελευθερώνεται το ελεύθερο ιώδιο, μπορεί να καταγραφεί είτε ποτενσιομετρικά είτε με δείκτη χρώματος.

11.2 Μηχανική δοκιμή

Ιδιότητες κατά της φθοράς: ASTM D2882, IP 281, Vickers 35VQ25A, Denison P46. Σχετικές μέθοδοι δοκιμής είναι τα τεστ αντλιών που αναφέρθηκαν ανωτέρω, μαζί με διάφορες μηχανικές κλίνες δοκιμών σχεδιασμένες να προσομοιώνουν διάφορες συνθήκες οριακών επαφών σε κρίσιμα εξαρτήματα υπό ένα εύρος διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας.

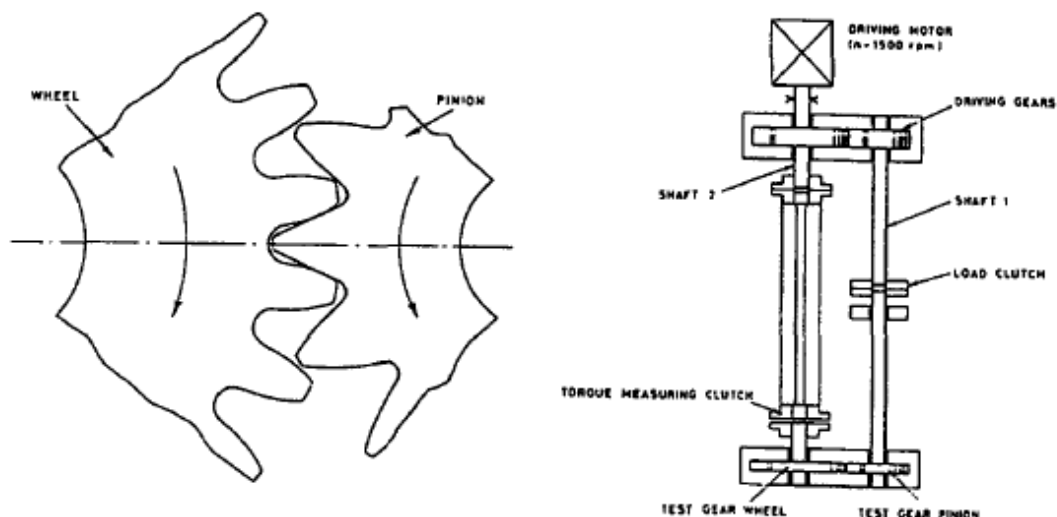
Ο πίνακας 11.1 παραθέτει έναν αριθμό γνωστών κλινών δοκιμής και τα απαραίτητα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα με τέτοιου είδους δοκιμές σε πάγκο είναι η έλλειψη ομοιόμορφης συσχέτισης με τις ιδιότητες λίπανσης των υδραυλικών ρευστών στην πράξη. Οι μηχανικές διατάξεις δοκιμών έχουν την τάση να υποβάλλονται σε συγκεκριμένα είδη προσθέτων και καλά αποτελέσματα μπορούν, για παράδειγμα, να αποκτηθούν σε δοκιμές σχέσεων μετάδοσης FZG ή IAE επιλέγοντας δραστικές ενώσεις διθειοφωσφορικών. Συνεπώς, η σειρά επιτυχίας όταν βαθμολογούνται ρευστά ανόμοιας σύνθεσης προσθέτων συχνά θα ποικίλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων διατάξεων δοκιμής. Το απαραίτητο κριτήριο όταν επιλέγεται αυτό το είδος δοκιμής είναι η ομοιότητα των συνθηκών επαφής μεταξύ της διάταξης δοκιμής και των εξαρτημάτων του συστήματος (κυρίως οι αντλίες) για τα οποία προορίζεται το ρευστό. Λόγω αυτών των σκέψεων, οι περισσότερες διατάξεις δοκιμών χρησιμοποιούνται κυρίως από έμπειρους τεχνικούς κατά τη διάρκεια έρευνας και ανάπτυξης πρότζεκτ. Μια αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι το τεστ FZG, καθορισμένο από τη γνωστή γερμανική εθνική προδιαγραφή DIN 51 524 (τμήματα II και III) για υδραυλικά έλαια κατά της φθοράς H-LP και HVLP (εικ. 11.1).

Πίνακας 11.1 Μηχανικές διατάξεις δοκιμών για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων κατά της φθοράς των ρευστών.

Δοκιμή	Μέθοδος	Συνθήκες Επαφής
FZG	IP 334, DIN 51 354	Μετωπικά γρανάζια, τροχός

Shell 4-ball	IP 239, ASTM D2266	και γρανάζι χάλυβα: φορτωμένη γραμμή επαφής Ατσάλινο ρουλεμάν που περιστρέφεται γύρω σε τρία σταθερά ρουλεμάν
Timken	IP 240	Ατσάλινος δακτύλιος που περιστρέφεται σε ατσάλινο μπλοκ
Falex	IP 241	Ατσάλινος στροφέας άξονα που περιστρέφεται σε δυο ατσάλινα μπλοκ σχήματος V
Amsler	εσωτερική μέθοδος	Ατσάλινος στροφέας άξονα που περιστρέφεται σε μπρού- τζινο ή από ορείχαλκο μπλοκ δοκιμής



FZG	Test parameters		Test criteria
Type A	8.3 m/s	90°C	Scuffing

Εικ. 11.1 Επιτρεπόμενη ικανότητα φόρτωσης από τη διάταξη δοκιμής γραναζιών FZG (DIN 51 354, IP 334).

Στη διάταξη σχέσης FZG, που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της σχετικής επιτρεπόμενης ικανότητας φόρτωσης των υδραυλικών ρευστών και λιπαντικών, οι πιο γνωστοί τύποι φθοράς είναι η χάραξη και τα γδαρσίματα. Οι επιπτώσεις και των δύο αυτών ειδών φθοράς εξαρτώνται από τη σύνθεση του ρευστού δοκιμής, και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ως κριτήρια επίδοσης.

Η δοκιμή εκτελείται με ειδικά γρανάζια βυθισμένα στο ρευστό δοκιμής, περιστρεφόμενα σε σταθερή ταχύτητα για 15 λεπτά ή 21 700 στροφές κινητήρα για κάθε στάδιο φόρτωσης. Στην αρχή κάθε σταδίου φόρτωσης η θερμοκρασία του ρευστού ελέγχεται, αλλά επιτρέπεται να αυξηθεί ελεύθερα κατά τη διάρκεια των ξεχωριστών σταδίων. Η φόρτωση των ταχυτήτων αυξάνεται για κάθε καθορισμένο στάδιο φόρτωσης, και οι ταχύτητες επιθεωρούνται οπτικά για καταστροφή κάποιου δοντιού απ' το γρανάζι στο τελείωμα του κάθε σταδίου. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί το «στάδιο αποτυχίας φόρτωσης», που χαρακτηρίζεται από την εκδήλωση βαθιών γραμμών χάραξης ή περιοχές αιφνίδιας προσβολής σε οποιοδήποτε δόντι του γραναζιού. Η δοκιμή τύπου A καθορίζει 12 στάδια φόρτωσης, με την τιμή FZG του ρευστού δοκιμής να είναι το προαναφερόμενο στάδιο αποτυχίας φόρτωσης.

Εάν δεν καταγραφεί καμία καταστροφή μέχρι το τελικό στάδιο φόρτωσης, η δοκιμή ολοκληρώνεται και το αποτέλεσμα αναφέρεται ως $FZG > 12$. Η δοκιμή τύπου B, όχι σχετική με υδραυλικά ρευστά, τελείται σε περιφερειακή ταχύτητα 16,6 m/s και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για λιπαντικά εξαιρετικής ταχύτητας πίεσης με υψηλή επιτρεπόμενη ικανότητα φόρτωσης.

Ωστόσο, είναι η συμπεριφορά του υδραυλικού ρευστού σε πρακτικά συστήματα με αληθινά εξαρτήματα που έχει πρωταρχική σημασία. Δοκιμές φθοράς διενεργούμενα σε συστήματα πλήρους κλίμακας θα ήταν πολύ εκτενή, χρονοβόρα και ακριβά, με πολλές πιθανές ανακρίβειες. Για το λόγο αυτό ήταν φυσικό να επιλεγεί το πιο κρίσιμο εξάρτημα από τριβολογικής απόψεως, δηλαδή η υδραυλική αντλία, και να αναπτυχθούν οι κατάλληλες διαδικασίες δοκιμής σχετικά με διάφορα είδη αντλιών. Έχουν προκύψει πολλά διαφορετικά τεστ αντλιών με την πάροδο των χρόνων, καθώς προοδεύουν οι τεχνολογικές εξελίξεις, και η επιλογή σύγχρονου ενδιαφέροντος αναφέρεται στον Πίνακα 11.2.

Διατμητική σταθερότητα: IP 294, DIN 51 382, ASTM D3945, ASTM D2603. Τα υδραυλικά ρευστά που προορίζονται για χρήση σε μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας συνήθως περιέχουν πολυμερή πρόσθετα για να βελτιωθεί ο δείκτης ιξώδους. Όταν υποβάλλονται στις υψηλές διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σε ορισμένα μέρη του συστήματος, π.χ. στις βαλβίδες ελέγχου της πίεσης και τις πτερυγιοφόρες αντλίες, τα πολυμερή βελτιωτικά του δείκτη ιξώδους είναι ως ένα βαθμό κατεστραμμένα μηχανικώς. Αυτό έχει ως συνέπεια μια αντίστοιχη μείωση του ιξώδους, και η σταθερότητα ενός ρευστού ενάντια σε τέτοιες διατμητικές απώλειες συνήθως καθορίζεται με την κυκλοφορία του ρευστού μέσω μπεκ εγχυτήρα ντίζελ, σύμφωνα με τις IP 294, DIN 51 382 και ASTM D3945.

Λαμβάνονται δείγματα αφότου το ρευστό έχει συμπληρώσει έναν προκαθορισμένο αριθμό περασμάτων (συνήθως 250 κύκλους), και τα κινηματικά ιξώδη του αυθεντικού ρευστού και των διατμητικών δειγμάτων καθορίζονται στους 40⁰C και στους 100⁰C. Έτσι, η ποσοστιαία μείωση του ιξώδους είναι ένα μέτρο της διατμητικής σταθερότητας του ρευστού δοκιμής όπως καθορίζεται από τη διάταξη δοκιμής (Bosch) Diesel Injector.

Η ASTM D2603 είναι μια εναλλακτική μέθοδος δοκιμής που χρησιμοποιεί ηχητική ακτινοβολία (10 kHz) για να διατμήσει το πολυμερές περιεχόμενο του

ρευστού. Ωστόσο, θα εμφανιζόταν ότι η ηχητική ταλάντωση εκτιμά τα διάφορα είδη πολυμερούς με διαφορετική σειρά στις μηχανικές συσκευές, και η συσχέτιση με τα τεστ αντλιών και το τεστ εγχυτήρα ντίζελ είναι συχνά φτωχή.

Πίνακας 11.2 Παράμετροι δοκιμής για σημαντικά τεστ υδραυλικών αντλιών

Δοκιμή	MPa	⁰ C	rpm	h	Απαίτηση
IP 281 – Vickers V-104C (περυγιοφόρος αντλία)	14	≅13 cSt	1440	250	Ολική φθορά (δακτύλιος + περύγια) <100 mg
ASTM D2882 – Vickers V-104(5)C (περ. αντλία)	13,8	80	1200	100	Ολική φθορά (δακτύλιος + περύγια) < 50 mg
Vickers 35VQ25A (περ. αντλία)	21	93	2400	3 X 50	<75 mg (δακτύλιος) <15 mg (περύγια)
Denison P46 (αντλία αξονικού εμβόλου)	35	57-85	2400	100	Μηδαμινή φθορά των φωσφορομπρούτζινων ροδελών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο:ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ

Όλα τα υδραυλικά συστήματα αναπόφευκτα περιέχουν διάφορες ποσότητες επιβλαβών ουσιών. Ένα μικρό 40 λίτρων σύστημα, για παράδειγμα, θα μπορούσε τυπικά να περιέχει 1 – 3.000.000 σωματίδια μικρότερα του 1μm. Περισσότερο από το 80% όλων των σφαλμάτων που συμβαίνουν στα υδραυλικά συστήματα τεκμαίρεται ότι προέρχονται από επιβλαβείς ουσίες στο λειτουργικό ρευστό. Γι αυτό το λόγο είναι εξαιρετικά σημαντικό να ελέγχεται το επίπεδο επιμόλυνσης σ' αυτά τα συστήματα, μειώνοντας ως εκ τούτου τη φθορά και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων.

12.1 Ποιες προσμείξεις εμπλέκονται;

Οι προσμείξεις μπορούν να διαιρεθούν σε δυο ομάδες: (α) μηχανικές επιβλαβείς ουσίες (σωματίδια) και (β) χημικές επιβλαβείς ουσίες.

Οι μηχανικές επιβλαβείς ουσίες (σωματίδια) έχουν διάφορες προελεύσεις και μπορεί να είναι μεταλλικές, ίνες, σωματίδια σκόνης, κλπ. Σε γενικές γραμμές, τα ιδιαίτερος σκληρά σωματίδια μεγέθους κάπως μεγαλύτερου από τα διάκενα μεταξύ των επαπτόμενων επιφανειών σε σχετική κίνηση, είναι αυτά που δημιουργούν τη μεγαλύτερη φθορά στον εξοπλισμό.

Οι χημικές επιβλαβείς ουσίες είναι κυρίως η υγρασία, προϊόντα διάσπασης από το ρευστό, λάδια κοπής από εργαλειομηχανές, προληπτικά διάβρωσης και διάφορα καθαριστικά υγρά.

12.2 Από πού προέρχονται οι προσμείξεις;

Οι επιβλαβείς ουσίες σε ένα υδραυλικό σύστημα μπορούν να αποδοθούν στις ακόλουθες προελεύσεις:

«Εγγενή σωματίδια», όπως άμμος χυτηρίων, σωματίδια οξειδίου, σκόνη και πιθανώς άλλες επιβλαβείς ουσίες που απομένουν από την περίοδο εγκατάστασης.

«Παραγόμενα σωματίδια», που προέρχονται συνήθως από διαδικασίες φθοράς που επηρεάζουν τα υδραυλικά εξαρτήματα, τα οποία όμως μπορούν επίσης να σχηματιστούν κατά τη συναρμολόγηση του συστήματος.

Οι πιο σημαντικές διαδικασίες φθοράς είναι:



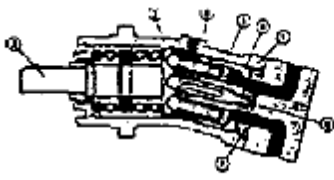
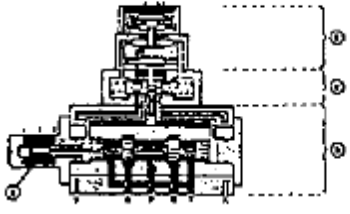
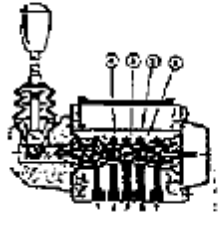
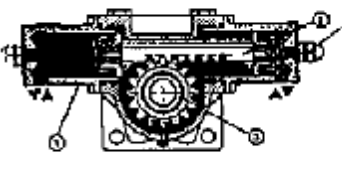
- Η συγκολλητική φθορά (γδαρσίματα), που προκαλείται από τοπική ψυχρή συγκόλληση επιφανειακών τραχυτήτων σε επιφάνειες τριβής. Λόγω της σχετικής κίνησης, οι συγκολλήσεις σπάνε αμέσως. Ως εκ τούτου το μεταλλικό υλικό μεταφέρεται πέρα δώθε ανάμεσα στις κινούμενες επιφάνειες, ώσπου τελικά, τα σωματίδια φθοράς φεύγουν από τις επιφάνειες. Τα πρόσθετα κατά της φθοράς εμποδίζουν αυτόν το μηχανισμό φθοράς, τα διθειοφωσφορικά μέταλλα και οι δραστικές θειο-φωσφορικές ενώσεις είναι ιδιαίτερες αποτελεσματικές.
- Η φθορά λόγω τριβής, που προκαλείται από σκληρές τραχύτητες ή σωματίδια που γρατζουνίζουν ή οργώνουν μια επιφάνεια. Τα σωματίδια φθοράς παράγονται από επαναλαμβανόμενες παραμορφώσεις των πλαστικών, και γι αυτό η φθορά λόγω τριβής σχετίζεται με έναν εξασθενημένο πλαστικό μηχανισμό.
- Η κόπωση επιφάνειας, η οποία πρώτα απ' όλα επηρεάζει εξαρτήματα που λειτουργούν υπό υψηλές πιέσεις επαφής. Σύμφωνα με τη θεωρία του Hertz, η μεγαλύτερη διατμητική δύναμη αναπτύσσεται ακριβώς κάτω από τη μεταλλική επιφάνεια, και αυτό μπορεί τελικώς να εκκινήσει ρωγμή κόπωσης. Αυτή η ρωγμή μεταδίδεται παράλληλα προς την επιφάνεια για μια σύντομη απόσταση, μετά προς τα πάνω, απελευθερώνοντας έτσι ένα μεταλλικό σωματίδιο. (νιφάδα).

Ακόμα και η συγκριτικά μέτρια περιεκτικότητα υγρασίας (< 100 ppm) στα υδραυλικά ρευστά, μπορεί να προωθήσει αυτή την καταστροφική διεργασία. Τα μικρά μόρια νερού διαχέονται εύκολα επί των επιφανειών αντίδρασης των προσφάτως σχηματισμένων μικρορωγμών, και αποσυντίθενται απελευθερώνοντας άτομα υδρογόνου. Τα άτομα υδρογόνου τότε διαχέονται επί του μετάλλου πέρα από τη μικρορωγμή, προκαλώντας ευθραυστότητα του χάλυβα από το υδρογόνο, συμβάλλοντας έτσι στην περαιτέρω διάδοση της ρωγμής.

Τα σωματίδια καταπόνησης που παράγονται με αυτό τον τρόπο θα συνεχίσουν να προωθούν περαιτέρω τη φθορά με την παραγωγή περισσότερων σωματιδίων.

Οι εξωτερικές επιβλαβείς ουσίες είναι προσμείξεις που μολύνουν το υδραυλικό ρευστό μέσω οπών εξαερισμού, σημείων πρόσβασης, στεγανοποιήσεων, ψυκτών διαρροής, πλήρωσης ακάθαρτου υγρού, και εργασιών συντήρησης.

Τα σύγχρονα συστήματα υψηλής πίεσης περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία ευαίσθητων εξαρτημάτων, απαιτώντας μεγάλο βαθμό καθαρότητας όσον αφορά το υδραυλικό μέσο. Η εικόνα 12.1 απεικονίζει μερικά από τα πιο κρίσιμα μεγέθη καθαρότητας που συναντώνται στα τυπικά εξαρτήματα. Συνεπώς, τα υδραυλικά συστήματα είναι εξοπλισμένα με πολλά διαφορετικά φίλτρα προκειμένου να προστατευθούν τα ουσιώδη εξαρτήματα και να διατηρηθεί η καθαρότητα του ρευστού σε ένα αποδεκτό επίπεδο.

Component Clearance (μm)		
	Gear Pumps	
	Gear to side plate	0.5–5
	Gear tip to housing	0.5–5
	Vane pumps	
	Vane tip to stator	0.5–1
	Vane to side plate	5–13
	Piston pumps	
	Piston to cylinder	5–40
	Cylinder to valve plate	0.5–5
	Servo valves	
	Jets	130–450
	Spool to housing	1–4
	Control valves	
	Jets	130–10 000
	Spool to housing	1–23
	Seated valves	13–40
	Actuators	
	Piston to cylinders	50–250
	Hydrostatic bearings	0.5–25

Εικ. 12.1 Τυπικά δυναμικά διάκενα στα υδραυλικά εξαρτήματα.

Το επίπεδο καθαρότητας ενός υδραυλικού ρευστού συνήθως καθορίζεται από το μέγεθος των κατανεμημένων σωματιδίων, σε σχέση με ένα από τα πρότυπα που αναφέρονται παρακάτω.

1. Το ISO 4406 (πρώην CETOP RP70), που αναφέρεται σε σωματίδια 5 μm και 15 μm (Πίνακας 12.1).

2. Το NAS 1638, το Αμερικάνικο πρότυπο αεροναυπηγικής, που αναφέρεται σε σωματίδια σε πέντε διαφορετικά μεγέθη ταξινόμησης (Πίνακας 12.2).

Πίνακας 12.1 Κωδικοποίηση επιπέδου επιμόλυνσης στερεών σωματιδίων σύμφωνα με το ISO 4406

Κώδικας	Αρ. σωματιδίων ανά ml > 5 μm		Αρ. σωματιδίων ανά ml > 15 μm	
	Περισσότερο από:	Μέχρι και περιλαμβάνοντας	Περισσότερο από:	Μέχρι και περιλαμβάνοντας
20/17	5000	10 000	640	1300
20/16	5000	10 000	320	640
20/15	5000	10 000	160	320
20/14	5000	10 000	80	160
19/16	2500	5000	320	640
19/15	2500	5000	160	320
19/14	2500	5000	80	160
19/13	2500	5000	40	80
18/15	1300	2500	160	320
18/14	1300	2500	80	160
18/13	1300	2500	40	80
18/12	1300	2500	20	40
17/14	640	1300	80	160
17/13	640	1300	40	80
17/12	640	1300	20	40
17/11	640	1300	10	20
16/13	320	640	40	80
16/12	320	640	20	40
16/11	320	640	10	20
16/10	320	640	5	10
15/12	160	320	20	40
15/11	160	320	10	20
15/10	160	320	5	10
15/9	160	320	2.5	5
14/11	80	160	10	20
14/10	80	160	5	10
14/9	80	160	2.5	5
14/8	80	160	1.3	2.5
13/10	40	80	5	10
13/9	40	80	2.5	5
13/8	40	80	1.3	2.5
12/9	20	40	2.5	5
12/8	20	40	1.3	2.5
11/8	10	20	1.3	2.5

Πίνακας 12.2 Βαθμοί καθαρότητας σύμφωνα με το NAS 1638

Κατηγορία											
6	7	8	00	9	0	1	2	3	4	5	
Μέγεθος σωματιδίου ανά 100 ml (µm)											
Αριθμός σωματιδίων											
5-15			125		250		500		1000	2000	4000
8000	16000	32000	64000	128000	256000						
15-25			22		44		89		178	356	712
1425	2850	5700	11400	22800	45600						
25-50			4		8		16		32	63	126
253	506	1012	2025	4050	8100						
50-100			1		2		3		6	11	22
45	90	180	360	720	1440						
> 100			0		0		1		1	2	4
8	16	32	64	128	256						

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο:ΦΘΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Αξιόπιστες έρευνες αποκαλύπτουν ότι η πλειοψηφία των προβλημάτων λειτουργίας οφείλονται σε *επιμόλυνση*, είτε με τη μορφή σωματιδίων που προωθούν τη φθορά και μπλοκάρουν στενά διάκενα, είτε με τη μορφή ξένων λαδιών (π.χ. απορρυπαντικά έλαια κινητήρα) που προκαλούν το σχηματισμού αφρού και γαλακτώματος. Μια συχνή πηγή επιμόλυνσης σωματιδίων είναι η διάβρωση, που προκαλείται από τη συγκέντρωση περιττής υγρασίας στο σύστημα. Περίπου το 80 – 90 % των σφαλμάτων στα υδραυλικά συστήματα, ασυνήθης φθορά, δυσλειτουργία βαλβίδων, κλπ, μπορεί να αποδοθεί σε επιμόλυνση σωματιδίων και ανεπαρκές φιλτράρισμα του υδραυλικού ρευστού (Πίνακας 13.1).

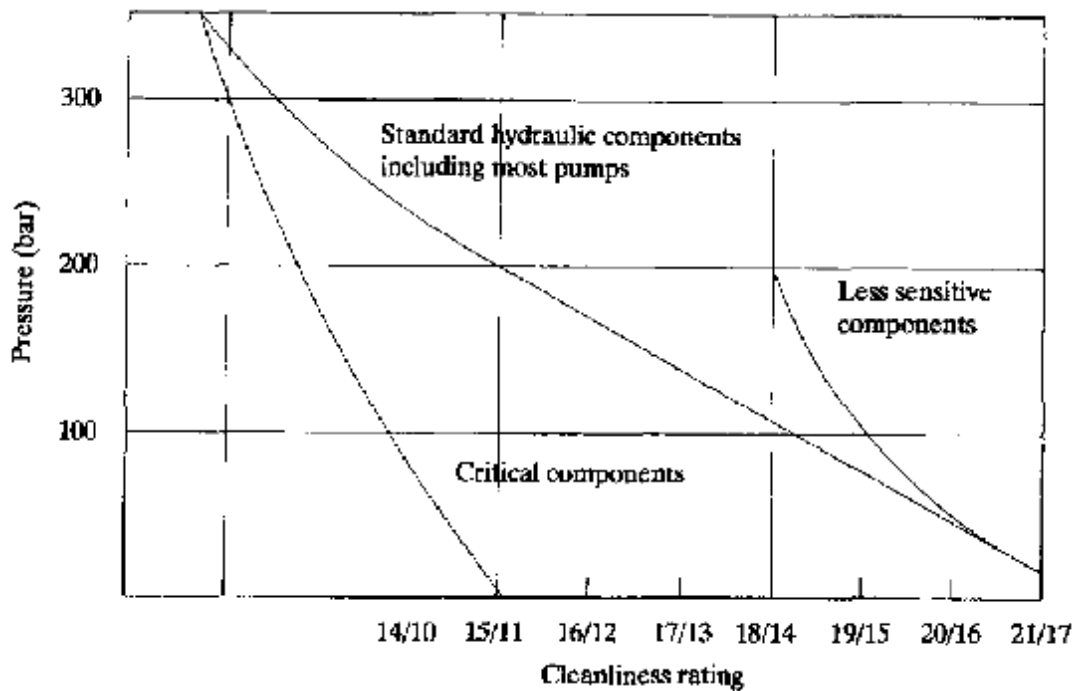
Διαιρεμένες με ακρίβεια επιβλαβείς ουσίες επίσης επηρεάζουν αρνητικά τις ιδιότητες απογαλακτωματοποίησης και εξαερισμού του ρευστού, και μπορούν να καταλύσουν τη διαδικασία οξείδωσης. Αντιστρόφως, μόνο μηδαμινή φθορά και ασήμαντα προβλήματα λειτουργίας καταγράφονται σε υδραυλικά συστήματα που λειτουργούν με το σωστό τύπο ρευστού σε υψηλά επίπεδα καθαρότητας. Η καθαρότητα γι αυτό το λόγο είναι πρωταρχικής σημασίας και επιτυγχάνεται με ολοκληρωτική έκπλυση των νέων συστημάτων με μικροφιλτραρισμένο (5μm) ρευστό, και χρήση των κατάλληλων φίλτρων κατά τη λειτουργία.

Σε κρίσιμα συστήματα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των σωματιδίων, διότι παρέχει έναν χρήσιμο οδηγό για το αν το επίπεδο φιλτραρίσματος που έχει επιλεγεί για το σύστημα είναι ικανοποιητικό για τη λειτουργική αξιοπιστία και διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων του συστήματος. Η εικόνα 13.1 δείχνει τη σχέση μεταξύ του επιπέδου καθαρότητας και της λειτουργικής πίεσης προκειμένου να επιτευχθεί αποδεκτή διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων. Ο συνήθης αριθμός σωματιδίων θα αποκαλύψει κατά πόσο τα φίλτρα λειτουργούν ικανοποιητικά, την εισχώρηση εξωτερικών επιβλαβών ουσιών, κατά πόσο αυξάνεται η μηχανική επιμόλυνση, και παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανά προβλήματα λειτουργίας.

Πίνακας 13.1 Προτεινόμενα επίπεδα καθαρότητας για διάφορα είδη συστημάτων.

Επιθυμητό επίπεδο καθαρότητας σύμφωνα με το ISO 4406		Ανώτατος αριθμός σωματιδίων ανά 100 ml		Ευαισθησία	Είδος συστήματος	Προτεινόμενος βαθμός διύλισης (μm) ($\beta x > 100$)*
5μm	15μm	5μm	15μm			
13	9	8000	500	Πολύ κρίσιμη	Ευαίσθητο στην ιλύ σύστημα ελέγχου με πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Εργαστήριο ή αεροναυπηγική	1 – 2
15	11	32000	2000	Κρίσιμη	Υψηλής επίδοσης σερβο- και υψηλής πίεσης συστήματα με μεγάλη διάρκεια ζωής, π.χ. αεροσκάφη, εργαλειομηχανές NC, κλπ	3 – 6
16	13	64000	8000	Πολύ σημαντική	Αξιόπιστα συστήματα υψηλής ποιότητας. Γενικές απαιτήσεις μηχανημάτων	6 – 10
18	14	250000	16000	Σημαντική	Γενικός μηχανολογικός εξοπλισμός και κινητά συστήματα. Μεσαία πίεση, μεσαία χωρητικότητα	10 – 15
19	15	500000	32000	Ποικίλη	Χαμηλής πίεσης, συστήματα βαριάς βιομηχανίας ή εφαρμογές όπου η μεγάλη διάρκεια ζωής δεν είναι κρίσιμη.	16 – 25
21	17	2000000	130000	Υψηλή αντοχή	Συστήματα χαμηλής πίεσης με μεγάλη κάθαρση	25 – 40

* βx = συντελεστής βήτα ενός φίλτρου. Ισοδυναμεί με τον αριθμό σωματιδίων μεγέθους x που παρακρατούνται από το φίλτρο διαιρούμενο με τον αριθμό ομοίων σωματιδίων που περνούν από το φίλτρο, όταν γίνεται αξιολόγηση με το πρότυπο ISO 4572.



Εικ. 13.1 Προτεινόμενοι βαθμοί καθαρότητας για αποδεκτή διάρκεια ζωής (τεκμαίρεται λειτουργία εντός του συνιστώμενου εύρους ιξώδους).

Ο αριθμός σωματιδίων μπορεί να συμπληρωθεί από φασματικές αναλύσεις που προσδιορίζουν τους ακριβείς τύπους φθοράς που παρουσιάζουν τα μέταλλα (σίδηρος, χαλκός, μόλυβδος, νικέλιο, κλπ), και / ή φερρογραφία που παρέχει πρόσθετες πληροφορίες για την προέλευση των σωματιδίων.

Το επίπεδο λαδιού, η θερμοκρασία λειτουργίας και τα φίλτρα πρέπει να ελέγχονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Είναι επίσης σημαντικό να αποστραγγίζεται το πιθανώς διαχωρισμένο νερό και οι κατακαθισμένες επιβλαβείς ουσίες από ένα σημείο αποστράγγισης τοποθετημένο στο χαμηλότερο σημείο της δεξαμενής λαδιού. Ο εξαερισμός από τη δεξαμενή του ρευστού μπορεί, με την πάροδο του χρόνου, να οδηγήσει στη συγκέντρωση σημαντικής ποσότητας νερού συμπύκνωσης, ειδικά σε συστήματα που λειτουργούν σε μέτριες θερμοκρασίες λειτουργίας και / ή σε υγρά περιβάλλοντα.

Το νερό σε ένα υδραυλικό έλαιο αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης και φθοράς στις βαλβίδες και την υδραυλική αντλία. Στις μονάδες εξωτερικού χώρου, η αύξηση

του ιξώδους λόγω του γαλακτωματοποιημένου νερού μπορεί να είναι πολύ σημαντική όταν επιχειρείται εκκίνηση του συστήματος σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, και οι βαλβίδες μπορεί να μη λειτουργούν λόγω σχηματισμού πάγου.

Ένα υδραυλικό ρευστό με βάση ορυκτό έλαιο συνήθως παρουσιάζει μια θολή (γαλακτώδη) εμφάνιση όταν η περιεκτικότητα διασκορπισμένου νερού ξεπερνά το 0,05% (500 ppm), και στα περισσότερα βιομηχανικά συστήματα αυτό δεν πρέπει να επιτρέπεται να ανεβαίνει πάνω από 0,10 – 0,15 %. Οι κύριες εξαιρέσεις είναι διάφορες ισχυρές, χαμηλής πίεσης μονάδες (λειτουργικές πιέσεις \approx 3,5 MPa) χωρίς ευαίσθητα εξαρτήματα, στις οποίες μια περιεκτικότητα νερού 0,25 – 0,40 % μπορεί να είναι αποδεκτή. Στο άλλο άκρο είναι ορισμένα σημαντικά υψηλής πίεσης συστήματα για τα οποία οι κατασκευαστές καθορίζουν τα όρια υγρασίας στα 200 ppm ή λιγότερο.

Όταν η περιεκτικότητα νερού ενός υδραυλικού ελαίου υπερβεί τη συνιστώμενη τιμή, το έλαιο πρέπει να αντικατασταθεί με μια νέα ποσότητα, αν και στην περίπτωση μεγάλων όγκων ελαίου ίσως είναι πιο οικονομικό να κερδηθεί μια προσωρινή αναβολή με φυγοκέντρωση ή καθίζηση του ελαίου. Μια άλλη πιθανή εναλλακτική λύση για την απομάκρυνση σχετικά μικρών ποσοτήτων νερού είναι η χρήση φίλτρων που απορροφούν το νερό, διαθέσιμα τώρα από πολλούς προμηθευτές.

Το έλαιο επίσης υποβάλλεται σε μια συνεχή χημική αποικοδόμηση, κυρίως οξείδωση, αν και, εκτός από ορισμένο καφέτισμα στο χρώμα, οι ιδιότητες του ελαίου δύσκολα επηρεάζονται κατά την αρχική περίοδο χρήσης. Αργότερα, ο ρυθμός οξείδωσης επιταχύνεται, οδηγώντας σε μεγαλύτερη οξύτητα, αυξημένο ιξώδες, μειωμένο διαχωρισμό νερού και μια τάση για σχηματισμό ρητινωδών κατακαθιών. Λόγω αυτής της τάσης χρωματισμού, είναι ανεπιθύμητη μια μεγάλη καθυστέρηση στην αντικατάσταση ενός οξειδωμένου ελαίου, ιδιαιτέρως σε υδραυλικά συστήματα που εμπεριέχουν ευαίσθητες σερβοβαλβίδες.

Σε θερμοκρασίες λειτουργίας έως 70⁰C, η οξειδωτική ζωή ενός υδραυλικού ρευστού με βάση ορυκτά έλαια ικανοποιητικής ποιότητας, κανονικά θα είναι πολλές χιλιάδες ώρες λειτουργίας. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η ζωή του ελαίου μπορεί να είναι αισθητά συντομότερη, καθώς ο ρυθμός οξείδωσης αυξάνει εκθετικά με την άνοδο της θερμοκρασίας

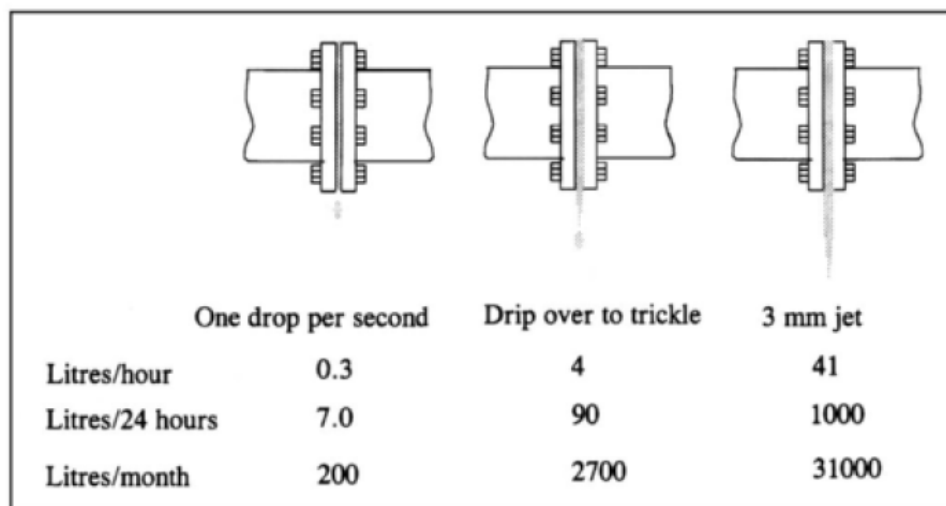
Τα ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία, που κάποιες φορές εμπεριέχονται για να διευκολύνουν την εύκολη κυκλοφορία κατά την αρχική περίοδο έναρξης, είναι καλύτερα να αποφεύγονται, καθώς συχνά έχουν υπερβολικές διαστάσεις και προκαλούν τοπική υπερθέρμανση με θερμική αποικοδόμηση του ρευστού. Όταν χρησιμοποιούνται, η ανώτερη συνιστώμενη πυκνότητα ισχύος είναι 0,8 W/cm² επιφάνειας.

Ο βαθμός οξείδωσης, π.χ. το επίπεδο χημικής φθοράς, μπορεί να μετρηθεί μέσω πολλών παραμέτρων, για παράδειγμα ενός προσδιορισμού οξύτητας (TAN). Η αύξηση της οξύτητας με το πέρασμα του χρόνου, ωστόσο, σχετίζεται στενά με τη σύνθεση του ελαίου, και δεν είναι πιθανό να προδιαγραφεί οποιαδήποτε γενική οριακή τιμή. Τα έλαια που περιέχουν μεταλλικά διθειοφωσφορικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται από μια σχετικά υψηλή αρχική οξύτητα. Αυτή η οξύτητα απορρέει από την επαμφοτερίζουσα φύση του προσθέτου και μειώνεται κατά την αρχική περίοδο λειτουργίας, ενώ αυξάνεται μετέπειτα καθώς το έλαιο οξειδώνεται. Αντίθετα, τα έλαια με φαινολικά αντιοξειδωτικά παρουσιάζουν μια σχετικά χαμηλή και σταθερή τιμή οξύτητας για μια μεγάλη περίοδο λειτουργίας, μέχρι να περάσει η αρχική περίοδος. Η ερμηνεία των επιπέδων οξύτητας θα πρέπει για το λόγο αυτό να αφήνεται στον προμηθευτή του ελαίου αν δεν είναι γνωστή η σύνθεση του προϊόντος ή δεν έχει αποκτηθεί επαρκής εμπειρία στην ποιότητα του συγκεκριμένου ελαίου.

Τα περιέχοντα πολυμερή υδραυλικά έλαια με ιδιαίτερος υψηλό δείκτη ιξώδους, προοδευτικά γίνονται λιγότερο ιξώδη κατά τη διάρκεια της χρήσης, λόγω της μηχανικής αποικοδόμησης του πολυμερούς βελτιωτή του δείκτη ιξώδους υπό υψηλές διατμητικές πιέσεις. Μια κοινή σύσταση είναι να εξετάζεται η αντικατάσταση του ελαίου όταν η απώλεια ιξώδους ισοδυναμεί με 10 – 15% του μετρημένου ιξώδους του ελαίου όταν είναι καινούριο (δεν είναι η ISO VG μέση τιμή).

Τα σωστά διαμορφωμένα ορυκτά υδραυλικά έλαια δεν βλάπτονται από τον πάγο, όμως πρέπει κατά προτίμηση να αποθηκεύονται υπό ξηρές συνθήκες, ή σε οποιαδήποτε περίπτωση υπό κάλυψη όταν αποθηκεύονται σε εξωτερικό χώρο. Γενικά, και πάντα σε περίπτωση ακάλυπτης αποθήκευσης σε εξωτερικό χώρο, τα βαρέλια του λαδιού πρέπει να τοποθετούνται στις πλευρές τους με τις στρόφιγγες και με κάποιο είδος στηρίγματος, έτσι ώστε να αποφεύγεται η άμεση επαφή με το

έδαφος. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό είναι προκειμένου να αποφευχθεί η συγκέντρωση ομβρύων υδάτων και άλλων επιβλαβών ουσιών στην κορυφή των βαρελιών, και η σταδιακή εισχώρησή τους μέσα σε αυτά μέσω των στροφίγγων, καθώς τα βαρέλια «αναπνέουν» με τις εναλλαγές της θερμοκρασίας.



Εικ. 13.2 Σωρευτική απώλεια του υδραυλικού ρευστού λόγω διαρροών.

Ακόμα και φαινομενικά ασήμαντες διαρροές μπορούν να οδηγήσουν σε εκπληκτικά μεγάλες απώλειες υδραυλικού ρευστού με την πάροδο του χρόνου (Εικ. 13.2). Οι διαρροές όχι μόνο αντιπροσωπεύουν οικονομική ζημία, αλλά επίσης και φτωχότερες συνθήκες εργασίας και κινδύνους ασφαλείας με τη μορφή ολισθηρών δαπέδων και κινδύνων πυρκαγιάς.

Έκπλυση

Η έκπλυση συχνά απαιτείται όταν το σύστημα είναι καινούριο ή κατά τη διάρκεια μεταγενέστερου σέρβις, ιδιαιτέρως μετά από επισκευές, εάν έχει συμβεί σημαντική επιμόλυνση. Μεγάλα συστήματα που συναρμολογούνται επί τόπου, συχνά εμπεριέχουν εξαρτήματα κατεργασμένα με προσωρινά προστατευτικά κατά της διάβρωσης. Εάν τέτοιου είδους υλικά δεν απομακρυνθούν πριν τη συμπλήρωση του συστήματος με ένα καθαρό υδραυλικό ρευστό, τότε σταδιακά θα διαλύονται μέσα

στο ρευστό και μπορεί να αποδυναμώσουν την επίδοσή του από πολλές απόψεις, π.χ. προωθώντας την γαλακτωματοποίηση.

Εάν απαιτείται έκπλυση, είναι προτιμητέο να χρησιμοποιείται ο βαθμός που χρησιμοποιείται στη λειτουργία ή ένας χαμηλότερος βαθμός ιξώδους παρεμφερούς σύνθεσης. Σημαντικά εξαρτήματα (βαλβίδες, υδραυλικές αντλίες και κινητήρες) θα πρέπει κατά προτίμηση να απομονώνονται ή να παρακάμπτονται κατά την έκπλυση, προκειμένου να αποφευχθούν επιβλαβείς συγκεντρώσεις μολυσματικών σωματιδίων, ακυρώνοντας έτσι το σκοπό της θεραπείας. Μια ελάχιστη ποσότητα λαδιού έκπλυσης επαρκεί, κυκλοφορώντας στο σύστημα και στα με επαρκείς διαστάσεις συμπληρωματικά φίλτρα, μέσω μιας κατάλληλης εξωτερικής αντλίας. Τα φίλτρα πρέπει να ελέγχονται περιοδικά και η έκπλυση να συνεχίζεται μέχρι ο αριθμός των σωματιδίων στο ρευστό που επιστρέφει στα φίλτρα να μειωθεί σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Η θερμοκρασία της κυκλοφορίας θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι γύρω στους 40°C . Αν κριθεί απαραίτητο, το μέσο έκπλυσης θα πρέπει να θερμανθεί, όμως θα πρέπει να αποφευχθεί η τοπική υπερθέρμανση. Εάν χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικοί θερμαστές, αυτοί θα πρέπει να είναι ελεύθερης επιφάνειας. Ως κατευθυντήρια γραμμή, δοκιμές με τυπικές μονάδες αποκάλυψαν αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας κατά 40°C με πυκνότητα ισχύος $\approx 0,8 \text{ W / cm}^2$, και 60°C χρησιμοποιώντας $\approx 1,6 \text{ W / cm}^2$. Όταν για το σκοπό αυτό διατίθεται αντλία υψηλής πίεσης, η θερμοκρασία του μέσου έκπλυσης μπορεί να αυξηθεί καταλλήλως περνώντας το μέσω κάποιου είδους τσοκ, π.χ. μια βαλβίδα εκτόνωσης της πίεσης ή ένα μήκος σωληνώσεων στενής οπής που βυθίζονται στη δεξαμενή του ρευστού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14^ο: ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΕΛΑΙΟΥ

Η κατάσταση ενός υδραυλικού ρευστού συνήθως παρακολουθείται με περιοδικό καθορισμό του ιξώδους, της συνολικής οξύτητας, περιεκτικότητας νερού και οπτικής επιθεώρησης, αναφορικά με μηχανικές προσμείξεις. Επί τη βάση αυτών των αποτελεσμάτων, μπορεί να αποφασισθεί κατά πόσο το λάδι είναι κατάλληλο για περαιτέρω χρήση. Μια πιο πλήρης εκτίμηση της κατάστασης του ελαίου μπορεί να αποκτηθεί συμπληρώνοντας τα προαναφερόμενα αποτελέσματα με ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα τεστ:

- *φασματική ανάλυση (AA ή ICP)*, για την αναγνώριση μετάλλων φθοράς
- *απαριθμήσεις σωματιδίων*, για την εκτίμηση των μηχανικών προσμείξεων, αριθμητικώς και κατά μέγεθος κατανομή.
- *φερρογραφία*, για να προσδιοριστεί η προέλευση και η μορφολογία των μεταλλικών σωματιδίων
- *υπέρυθρη ανάλυση απορρόφησης (IR)*, για να εξεταστεί η χημική σύνθεση του ελαίου και τα προϊόντα αποικοδόμησης
- *τεστ οξείδωσης*, για την εκτίμηση της εναπομείνουσας διάρκειας ζωής του ελαίου.

Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων δοκιμών παράγει μια σημαντικώς πιο αξιόπιστη εκτίμηση για την κατάσταση του ελαίου, όμως είναι σχετικά δαπανηρές στην εκτέλεση και έτσι χρησιμοποιούνται επιλεκτικά. Τα τεστ οξείδωσης μπορούν να είναι ιδιαίτερος χρονοβόρα και γι αυτό το λόγο σπανίως εφαρμόζονται κατά την τακτική παρακολούθηση της κατάστασης.

Ο πίνακας 14.1 παραθέτει τα αποτελέσματα των τεστ σε δείγματα που ελήφθησαν από ένα κινητό υδραυλικό σύστημα ύστερα από 250, 1500 και 3000 ώρες λειτουργίας. Ο τύπος του λαδιού είναι ISO HV/VG32, το αχρησιμοποίητο λάδι έχει δείκτη ιξώδους κατά προσέγγιση 180, και πληροί τις απαιτήσεις εκτέλεσης του προτύπου DIN 51 524 (H-LP).

Πίνακας 14.1. Αναλυτικά αποτελέσματα για ένα υδραυλικό έλαιο (τύπος ISO HV, VG32) μετά από 250, 1500 και 3000 ώρες χρήσης.

Ανάλυση	Νέο έλαιο	250 h	1500 h	3000 h
Κινηματικό ιξώδες cSt στους 100 ⁰ C	7,0	6,65	6,3	5,9
	στους 40 ⁰ C	32	30,8	29,8
Σημείο ανάφλεξης (°C)	165	170	168	163
Περιεκτικότητα νερού (ppm)	40	180	1100	1800
TAN (mg KOH/g)	0,75	0,52	0,65	0,87
Πρόσθετα μέταλλα				
Zn (% m)	0,04	0,04	0,03	0,02
P (% m)	0,04	0,04	0,03	0,03
Εμφάνιση / χρώμα	Καθαρό, απαλό κίτρινο	Καθαρό, απαλό κίτρινο	Ελαφρώς θολό, σκούρο κίτρινο	Θολό, πορτοκαλί
Μέταλλα φθοράς, ppm				
Σίδηρος (Fe)	1	6	29	53
Χαλκός (Cu)	0	1	5	11
Χρόμιο (Cr)	0	< 1	1	2
Μόλυβδος (Pb)	0	< 1	1	3
Αλουμίνιο (Al)	0	< 1	1	2
Κασσίτερος (Sn)	0	< 1	2	3
Σιλικόνη (Si)	< 1	1	4	8

14.1 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των τεστ

Από την ανάλυση στον Πίνακα 19.1 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το υδραυλικό έλαιο με βάση διθειοφωσφορικό ψευδάργυρο εμφανίζει μόνο ελάχιστες αλλαγές μετά από 250 ώρες, είναι ακόμα σε αρκετά καλή κατάσταση μετά από 1500 ώρες, και πλησιάζει στο τέλος της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του στις 3000 ώρες λειτουργίας λόγω οξειδωσης, μεταβολής τους ιξώδους και αυξανόμενης επιμόλυνσης.

Το ιξώδες έχει μειωθεί σταδιακά λόγω μηχανικής διάτμησης του με πολυμερή δείκτη ιξώδους βελτιωτικού προσθέτου, φαινόμενο που επισκιάζει οποιαδήποτε αύξηση ιξώδους λόγω οξειδωσης.

Το σημείο ανάφλεξης αυξάνει ελαφρώς κατά τη διάρκεια της αρχικής περιόδου λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στη σταδιακή εξάτμιση των πολύ πτητικών συστατικών υδρογονάνθρακα. Επακόλουθες μικρές μεταβολές αντανakλούν το συνδυαστικό αποτέλεσμα της εξάτμισης και του σχηματισμού πτητικών προϊόντων οξειδωσης.

Η περιεκτικότητα σε νερό αυξήθηκε αμέσως με τη συμπλήρωση του συστήματος λόγω καταλοίπων του προηγούμενου λαδιού. Η περιεκτικότητα νερού αυξήθηκε στα 1100 ppm (0,11%) μετά από 1500 ώρες, και περαιτέρω στα 1800 ppm (0,18%) μετά από 3000 ώρες λειτουργίας. Αυτές οι αυξήσεις οφείλονται κυρίως στην υγρασία, καθώς η οξειδωτική υποβάθμιση του ελαίου δεν είναι ακόμα αρκετά μεγάλη ώστε να συμβάλει σημαντικά στη μετρηθείσα περιεκτικότητα νερού.

Η ολική οξύτητα (TAN) για το αχρησιμοποίητο λάδι προέρχεται από την επαμφοτερή φύση του διθειοφωσφορικού προσθέτου, και η αρχική τιμή μειώνεται ακόμα ύστερα από 250 ώρες, καθώς ενεργοποιείται το διθειοφωσφορικό. Η οξύτητα πιθανώς πέφτει στην τιμή του 0,15 – 0,20 κατά την περαιτέρω λειτουργία, και τότε αυξάνει πάλι με την έναρξη των οξειδωτικών αντιδράσεων του υδρογονάνθρακα. Η ολική οξύτητα βρίσκεται ακόμα σε ικανοποιητικά μέτριο επίπεδο ύστερα από 1500 ώρες, όμως αργότερα ξεπερνά την αρχική τιμή ενός καινούριου λαδιού. Ύστερα από 3000 ώρες, η οξύτητα έχει ανέβει στο 0,87, υποδεικνύοντας ότι ο ρυθμός οξειδωσης αυξάνει. Στο σημείο αυτό μπορεί να υπάρξει ένας κίνδυνος σχηματισμού κολλωδών, ρητινωδών κατάλοιπων πολυμερών προϊόντων οξειδωσης, προκαλώντας δυσλειτουργία σημαντικών σερβο-βαλβίδων, κλπ.

Η περιεκτικότητα προσθέτων παρακολουθείται μετρώντας τις συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και φωσφόρου που απομένουν στο λάδι. Οι συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων σταδιακά μειώνονται καθώς το διθειοφωσφορικό πρόσθετο υποβάλλεται σε χημική αντίδραση και αποδυναμώνεται σταδιακά, κυρίως με τις αντιδράσεις σχηματισμού υμένων σε μεταλλικές επιφάνειες. Αυτό τελικά έχει ως αποτέλεσμα το λάδι να έχει μειωμένες ιδιότητες κατά της φθοράς.

Η εμφάνιση και το χρώμα μετά από 250 ώρες μοιάζουν με αυτά ενός καινούριου λαδιού, όμως το λάδι προοδευτικά γίνεται πιο σκούρο και θολό λόγω χημικής υποβάθμισης και αυξημένης περιεκτικότητας σε διασκορπισμένο νερό.

Τα μέταλλα φθοράς επιμολύνουν το έλαιο με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τη μεταλλουργία των εξαρτημάτων που υποβάλλονται σε φθορά ή διάβρωση. Στην παρούσα κατάσταση, η σιλικόνη, ο χαλκός, ο μόλυβδος και ο κασσίτερος είναι τα στοιχεία με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Οι αυξανόμενες τιμές του μολύβδου, του κασσίτερου και του χαλκού απορρέουν από την επίδραση όξινων προϊόντων οξείδωσης, το ενεργό διθειοφωσφορικό πρόσθετο, και τη γενική φθορά από την τριβή.

Η περιεκτικότητα σιλικόνης του αχρησιμοποίητου λαδιού οφείλεται κυρίως στο αντιαφριστικό πρόσθετο, ένα έλαιο σιλικόνης. Η επακόλουθη αύξηση κατά τη λειτουργία είναι κυρίως αποτέλεσμα της επιμόλυνσης (πυριτική σκόνη), η οποία προωθεί φθορά από την τριβή σε όλο το σύστημα.

Τα σιδηρούχα μέταλλα κυριαρχούν στα εξαρτήματα και το σύστημα εν γένει. Δεν αποτελεί έκπληξη ότι ο σίδηρος είναι παρών σε σχετικά μεγάλη συγκέντρωση στο χρησιμοποιημένο λάδι. Η μετρήσιμη συγκέντρωση ωστόσο, θεωρείται αρκετά συνηθισμένη για τις πραγματικές ώρες λειτουργίας.

Ο προσδιορισμός των μετάλλων φθοράς που υπάρχουν σε ένα δείγμα χρησιμοποιημένου λαδιού παράγει πολύτιμες πληροφορίες σε σχέση με τον τρόπο φθοράς ενός συγκεκριμένου συστήματος κάτω από τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

14.2 Παρακολούθηση της κατάστασης και μεταβολή του λαδιού

Δεν είναι καθόλου αποδοτικό να εκτελείται τακτική *εργαστηριακή ανάλυση* σε μικρά συστήματα (≤ 250 λίτρα), και τα διαστήματα αλλαγής των λαδιών συνήθως αποφασίζονται με βάση την εμπειρία. Τα μεγάλα υδραυλικά συστήματα, εντούτοις, συχνά περιέχουν πολλούς τόνους υδραυλικού ρευστού, και η κατάσταση του λαδιού ελέγχεται κανονικά με *τακτική ανάλυση* (π.χ. κάθε έξι μήνες) (βλέπε Πίνακα 14.2).

Πίνακας 14.2 Διαστήματα αλλαγής λαδιού

Μικρά συστήματα (≤ 250 λίτρα)	Μεγάλα συστήματα
Σύμφωνα με την εμπειρία, π.χ. :	Καθορίζεται από :
A) Σε θερμοκρασίες λειτουργίας 40-50°C: 1,5 – 3 χρόνια	A) Εργαστηριακή ανάλυση κάθε 6 – 12 μήνες
B) Σε θερμοκρασίες λειτουργίας 60°C: 1 χρόνος	B) Τακτική οπτική εξέταση

Ως μέτρο ασφαλείας ενάντια σε συμπτωματική επιμόλυνση και απροσδόκητη ραγδαία υποβάθμιση, είναι συνετό να γίνονται εβδομαδιαίοι *οπτικοί έλεγχοι* των υδραυλικών ρευστών σε λειτουργία όπως φαίνεται στον Πίνακα 14.3.

Πίνακας 14.3 Παρακολούθηση κατάστασης με οπτική επιθεώρηση

Άμεση	Εμφάνιση μετά από 1 ώρα	Αιτία	Ενέργεια
Καθαρό, φυσιολογική οσμή	_____	Φυσιολογική	Καμία
Θολό	Καθαρό	Εισχώρηση αέρα	Έλεγχος συστήματος
Θολό	Καθαρό, χωρίς νερό	Ασταθές γαλάκτωμα	Αποστράγγιση νερού τακτικά
Θολό	Καθαρό	Σταθερό γαλάκτωμα	Ανάλυση λαδιού, σκέψη για αλλαγή του λαδιού
Βρώμικο, φυσιολογική οσμή	Ίζημα	Επιμολυσμένο	Ανάλυση λαδιού, έλεγχος φίλτρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15^ο: ΡΕΥΣΤΑ ΜΕ ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ

Τα πιο γνωστά είδη μέσων με αντοχή στη φωτιά είναι:

- γαλακτώματα λαδιού σε νερό (o/w), ταξινομημένα ως ISO HFAE,
- γαλακτώματα νερό σε λάδι (w/o), ISO HFB,
- διαλύματα νερού – γλυκόλης, ISO HFC,
- φωσφορικοί εστέρες, ISO HFDR,
- οργανικοί εστέρες, ISO HFDU.

Αν και αυτά τα προϊόντα παρουσιάζουν έναν σημαντικά χαμηλό κίνδυνο φωτιάς σε σύγκριση με τα συμβατικά ρευστά με βάση ορυκτά έλαια, τα μεμονωμένα προϊόντα με αντοχή στη φωτιά συχνά διαθέτουν άλλες λιγότερο επωφελείς ιδιότητες. Παραδείγματα δίνονται παρακάτω.

(α) Η σχετικά υψηλή πυκνότητα κάποιων ρευστών με αντοχή στη φωτιά έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες απαιτήσεις στην ικανότητα αναρρόφησης της αντλίας σε συστήματα όπου η αντλία είναι τοποθετημένη πάνω από το επίπεδο του ρευστού.

(β) Ορισμένα ρευστά με χαμηλούς δείκτες ιξώδους είναι σημαντικά πιο ιξώδη από τα συμβατικά υδραυλικά ρευστά σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σε τέτοιες περιπτώσεις η τοποθέτηση των αντλιών χαμηλότερα από τη δεξαμενή του ρευστού προκειμένου να επιτευχθεί θετική αναρρόφηση, μπορεί να είναι απαραίτητη για να αποφευχθούν προβλήματα σπηλαίωσης πριν αποκτηθεί η φυσιολογική θερμοκρασία λειτουργίας.

(γ) Η υψηλή πίεση ατμού των υδαρών ρευστών μπορεί εύκολα να προκαλέσει σχηματισμό φυσαλίδων στις χαμηλές πιέσεις και να προκαλέσει σπηλαιώση. Η θερμοκρασία λειτουργίας για τα ISO HFAS, HFAE, HFB και HFC θα πρέπει για το λόγο αυτό να περιορίζεται στους 55 – 65⁰C για να αποκλειστεί αυτό το πρόβλημα και να περιοριστούν οι απώλειες λόγω της εξάτμισης στην υδαρή φάση.

Ενδεχόμενες απώλειες λόγω εξάτμισης θα πρέπει να αντισταθμίζονται από τακτικές προσθήκες απιονισμένου νερού. Αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό αναφορικά με τα ρευστά HFC λόγω της προφανούς τάσης διόγκωσης, καθώς η περιεκτικότητα του νερού μειώνεται.

(δ) Η μικροβιολογική ανάπτυξη είναι ένας πιθανός κίνδυνος στα περισσότερα συστήματα που χρησιμοποιούν ρευστά με βάση το νερό, ειδικά στα μέσα HFAE και HFAS σε μέτριες θερμοκρασίες λειτουργίας.

(ε) Οι ιδιότητες λίπανσης των υδαρών μέσων είναι γενικά κατώτερες από αυτές των συμβατικών ορυκτών υδραυλικών ρευστών, και αυτή η αδυναμία συχνά απαιτεί αλλαγές στο σύστημα κατά τη μετατροπή από ορυκτά ρευστά σε υδατικά υδραυλικά ρευστά. Η καταπόνηση των ρουλεμάν είναι σημαντικά μειωμένη όταν αυτά λιπαίνονται από ρευστά που περιέχουν νερό. Ειδικά σχέδια αντλιών εμπεριέχουν υπερμεγέθη ρουλεμάν για να αντισταθμίσουν αυτή την αδυναμία.

(στ) Μερικά ρευστά με αντοχή στη φωτιά επιτίθενται στα συμβατικά υλικά στεγανοποίησης, λάστιχα και χρώματα. Αυτό αφορά ιδιαίτερος τους φωσφορικούς εστέρες, τα διαλύματα νερού – γλυκόλης και ορισμένους οργανικούς εστέρες.

Οι ιδιότητες των διαφόρων ρευστών με αντοχή στη φωτιά συγκρίνονται στον Πίνακα 20.1.

Τα μέσα HFAE είναι γαλακτώματα λαδιού σε νερό (o/w), που περιέχουν εξ ορισμού ένα ανώτατο ποσοστό 20% ορυκτού ελαίου διασκορπισμένο έξοχα μέσα στο νερό. Συνεπώς, το ιξώδες αυτών των ρευστών προσεγγίζει αυτό του νερού ($\approx 0,8$ cSt στους 40⁰C), και τα συμβατικά υδραυλικά συστήματα που προορίζονται για χρήση με ένα ορυκτό υδραυλικό ρευστό κανονικά απαιτούν μετατροπή προκειμένου να χρησιμοποιήσουν το ρευστό HFAE χωρίς να προκαλέσουν υπέρμετρη φθορά των σημαντικών εξαρτημάτων. Οι περιορισμοί στη λειτουργία αυτών των ρευστών είναι

οι πιέσεις ≤ 6 Μρα και εύρος θερμοκρασίας 5-50⁰C. Ωστόσο, γαλακτώματα λαδιού σε νερό έχουν λειτουργήσει ικανοποιητικά για πολλά χρόνια σε μεγάλα συστήματα με χαμηλές πιέσεις. Μια εγγενής ιδιότητα των υδατικών μέσων είναι η ατυχής μείωση σε διάρκεια ζωής των βαρέως φορτωμένων επιφανειών χάλυβα. Γι αυτό το λόγο είναι προτιμητέο να χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενοι τριβείς αντί για ένσφαιρους ή κυλινδρικούς τριβείς στις υδραυλικές αντλίες και τους κινητήρες που λειτουργούν σε αυτά τα ρευστά. Είναι επίσης εξαιρετικά σημαντική η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται σε αυτά τα γαλακτώματα. Ποιότητες σκληρού νερού μπορούν να προκαλέσουν ασβεστούχα ιζήματα, ενώ το μαλακό νερό προκαλεί αφρισμό. Βιοκτόνα πρόσθετα ενσωματώνονται συχνά στα υδατικά μέσα για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροβίων και τα σχετιζόμενα προβλήματα, που αποτελούν πάντοτε έναν πιθανό κίνδυνο σ' αυτά τα ρευστά σε μέτριες θερμοκρασίες λειτουργίας. Η αλκαλική φύση (υψηλό pH) πολλών σχηματισμών αντιπροσωπεύει έναν πιθανό κίνδυνο διάβρωσης σε σχέση με το μαγνήσιο, τον ψευδάργυρο, το μόλυβδο και το αλουμίνιο. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην έρευνα έχουν οδηγήσει στη δημιουργία ακόμα καλύτερων διασπορών λαδιού σε νερό (μικρογαλακτώματα), που διαθέτουν βελτιωμένη σταθερότητα έναντι του διαχωρισμού από τη φάση του λαδιού, και επίσης ανώτερες λιπαντικές ιδιότητες. Τα σύγχρονα προϊόντα περιέχουν τυπικά 3-10% ορυκτό έλαιο και είναι γνωστά ως ρευστά HWBF (βασικά ρευστά με υψηλή περιεκτικότητα νερού). Η έρευνα για περαιτέρω βελτιώσεις στις λιπαντικές ιδιότητες έχει οδηγήσει στην εξέλιξη των προϊόντων υψηλού ιξώδους HWBF, π.χ. το Shell Irgus Fluid AT με κινηματικό ιξώδες 11 cSt στους 40⁰C. Τέτοια ρευστά μπορούν πιθανώς να αντικαταστήσουν τα συμβατικά ορυκτά υδραυλικά λάδια σε πολλές εφαρμογές χωρίς καμία ιδιαίτερη μετατροπή των συστημάτων, και πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί, π.χ. στη βιομηχανία χάλυβα (μονάδες CON-CAST).

Τα ρευστά HFB είναι «αντίστροφα» γαλακτώματα νερού σε λάδι (w/o), που αποτελούνται από μικροσκοπικά σταγονίδια νερού, διαμέτρου 1-2 μm, έξοχα σιασκορπισμένα μέσα στη φάση του λαδιού. Η περιεκτικότητα νερού είναι φυσιολογικά γύρω στο 40% v, προκειμένου να επιφέρει ικανοποιητική αντοχή στη φωτιά και να πληρεί τις σχετικές ειδικές απαιτήσεις. Τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά είναι συνήθως ISO VG68 ή 100, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασίες από 0 έως 50⁰C, ή ακόμα και μέχρι $\approx 65^0$ C εάν είναι αποδεκτή η

αυξημένη πτητικότητα. Τα ρευστά ΗFB διαθέτουν εκ φύσεως μακράν καλύτερες λιπαντικές ιδιότητες από τα μέσα ΗFAE, και παράγουν ικανοποιητικές επιδόσεις σε

Πίνακας 15.1 Σύγκριση διαφόρων ρευστών μέσων με αντοχή στη φωτιά.

	Ορυκτό έλαιο	Φωσφορικός εστέρας	Νερό/γλυκόλη	Οργανικός εστέρας	O/W γαλάκτωμα
Τύπος ISO:	HM	HFDR	HFC	HFDU	HFAE
Πυκνότητα στους 15 ⁰ C	0,88	1,15	1,10	0,93	1,0
Δείκτης ιξώδους	Υψηλός	Χαμηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός	Υψηλός
Πίεση ατμού	Χαμηλή	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Πολύ υψηλή
Λίπανση	Καλή	Καλή	Μέτρια	Καλή	Περιορισμένη
Παράγοντας φόρτωσης κυλινδρικών τριβέων	1	1,2	2,6	1	Υψηλός
Μέταλλα που πρέπει να αποφεύγονται	—	Αλουμίνιο (ολισθηρές επαφές)	Ψευδάργυρος, κάδμιο, μαγνήσιο	—	Εξαρτάται από την τιμή του pH
Συνιστώμενα χρώματα	Εποξικά	Εποξικά	Εποξικά	Εποξικά	Εποξικά
Υλικά στεγανοποίησης, Δακτύλιοι O*	Νιτρίλιο, Viton, Πολυουρεθάνη	Βουτύλιο, EPR Viton	Νιτρίλιο, Viton	Νιτρίλιο, Viton	Νιτρίλιο, Viton
Υλικά εύκαμπτων σωλήνων (εξωτερικοί: νεοπρένιο)	Νιτρίλιο	Βουτύλιο, EPR Viton	Νιτρίλιο	Νιτρίλιο, Viton	Νιτρίλιο
Ανώτατη θερμοκρασία λειτουργίας (⁰ C)	130	150	65	150	50
Συντελεστής μάζας (10 ⁹ N/m ²)	1,5	2,0	2,9	2,2	Υψηλός
Αντοχή στη φωτιά	Φτωχή	Εξαιρετική	Καλή	Καλή	Εξαιρετική
Σχετική τιμή (ορυκτό έλαιο = 1)	1	5	3	4	0,2

*Λόγω της πολύπλοκης σύνθεσης των αποκλειστικών υλικών, η συμπεριφορά των σφραγίσεων που βασίζονται αναγνωρισμένα ονομαστικά ελαστομερή μπορεί να ποικίλουν. Συνιστάται έλεγχος με τεστ εμβάπτισης στα συγκεκριμένα προϊόντα σε πραγματικές θερμοκρασίες όταν εισάγονται νέα υλικά.

οδοντωτές, κοχλιοειδείς και αξονικές εμβολοφόρες αντλίες μέχρι και τα 20 MPa. Οι αντλίες με περύγια ωστόσο, αξιολογούν τις λιπαντικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων HFB πιο σημαντικά, και δεν συνιστώνται γενικά λειτουργικές πιέσεις πάνω από τα 5-6 MPa.

Τα ρευστά HFC είναι υδατικά διαλύματα γλυκόλων και πολυαλκυλενογλυκόλων, με την προσθήκη διαφόρων προσθέτων, όπως π.χ. ενάντια στη φθορά, αναστολείς διάβρωσης και αφρισμού. Η περιεκτικότητα σε νερό θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 35% του όγκου για να εξασφαλίζονται ικανοποιητικές ιδιότητες αντοχής στη φωτιά (η πλειοψηφία των προϊόντων που κυκλοφορούν στην αγορά περιέχουν 40-45%), και αυτό θα πρέπει να παρακολουθείται τακτικά και να διατηρείται στο συγκεκριμένο επίπεδο για να αποκλείονται ενοχλητικές αυξήσεις του ιξώδους. Ένας ενδιαφέρων, αν και όχι γενικά αναγνωρισμένος, παράγοντας είναι η ευαισθησία στη θερμοκρασία των λιπαντικών ιδιοτήτων κάποιων ρευστών HFC. Με ορισμένους σχηματισμούς για παράδειγμα, οι επιδόσεις κατά της φθοράς μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά αυξάνοντας τη θερμοκρασία λειτουργίας πάνω από την περιορισμένη τιμή των 65⁰C. Τα συστήματα που προορίζονται για ρευστά HFC δεν θα πρέπει να περιέχουν στοιχεία μαγνησίου, καδμίου ή ψευδαργύρου. Τα ρευστά είναι συμβατά με σφραγίδες από καουτσούκ νιτριλίου, όμως είναι εξαιρετικά επιθετικά σε πολλά είδη επικάλυψης με χρώμα. Τα ρευστά HFC έχουν την τάση να παρασύρουν τον αέρα και να κρατούν την επιμόλυνση των σωματιδίων σε αναστολή σε μεγαλύτερο βαθμό από τα ορυκτά υδραυλικά μέσα. Συνεπώς, αυτά τα ρευστά είναι πιο σημαντικά όσον αφορά στην αποτελεσματική εξαέρωση λόγω του καλού σχεδιασμού της δεξαμενής, και την ικανοποιητική ικανότητα φιλτραρίσματος.

Τα ρευστά HFD είναι σχηματισμένα με βάση διάφορα συνθετικά, και μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη χημική τους σύνθεση. Τα βασικά ρευστά περιλαμβάνουν οργανικούς εστέρες ποικίλης σύνθεσης, πολυσιλοξάνια, πυριτικούς εστέρες, φωσφορικούς εστέρες και πολυφαινυλαιθέρες. Οι συνθετικοί υδρογονάνθρακες που προέρχονται από πολυμερισμό των ολιγομερών αλφαολεφίνων, έχουν εκτεταμένη χρήση στη δημιουργία λιγότερο εύφλεκτων υδραυλικών ρευστών στη βιομηχανία των αερομεταφορών.

Ορισμένα υλικά με βάση ρευστά HFD έχουν γίνει αισθητά λιγότερο ελκυστικά κατά τα πρόσφατα έτη, λόγω της αυξανόμενης επικέντρωσης στους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτό αφορά ειδικά τα ρευστά HFDS και HFDT λόγω της περιεκτικότητάς τους σε αλογόνα. Ωστόσο, οι μοναδικές ιδιότητες ορισμένων από αυτά τα αλογονωμένα ρευστά αναμφίβολα

επιβεβαιώνει το συνεχιζόμενο ενδιαφέρον για περαιτέρω εξέλιξη στην αεροναυπηγική και τις στρατιωτικές εφαρμογές.

Μεταξύ των μέσων HFD, είναι κυρίως οι φωσφορικοί εστέρες και οι οργανικοί εστέρες που επιλέγονται για βιομηχανικές εφαρμογές σήμερα. Από αυτά, οι φωσφορικοί εστέρες είναι ξεκάθαρα οι πιο ανθεκτικοί στη φωτιά, παρόλο που αναπόφευκτα παρουσιάζουν έναν αριθμό από περιορισμούς αναφορικά με το σχεδιασμό του συστήματος και την επιλογή υλικών (Πίνακας 20.1). Η υψηλή πυκνότητα, οι χαμηλοί δείκτες ιξώδους και οι φτωχές ιδιότητες ροής στις χαμηλές θερμοκρασίες πολλών φωσφορικών εστέρων απαιτούν τη δέουσα προσοχή στις διαστάσεις και την τοποθέτηση γραμμών αναρρόφησης, φίλτρων και στραγγιστηριών. Εξαιρετική προσοχή θα πρέπει να δίδεται στην επιλογή σφραγίσεων και εύκαμπτων σωλήνων. Η ασυμβατότητα αυτών των ρευστών με τα συμβατικά ελαστομερή νιτριλίου συχνά αποκλείει τη μετατροπή των συστημάτων ορυκτών ελαίων λόγω του απαγορευτικού κόστους αντικατάστασης όλων των σφραγίσεων, κλπ, από ελαστομερή φθορανθράκων, EPR ή εναλλακτικά καουτσούκ βουτυλίου. Όπως και στην περίπτωση όλων των ρευστών με ανθεκτικότητα στη φωτιά, είναι σοφό να γίνεται συζήτηση με τους προμηθευτές σφραγίδων και εξαρτημάτων, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με το επιλεγμένο υδραυλικό μέσο.

15.1 Μετατροπή των υπαρχόντων συστημάτων σε ρευστά με αντοχή στη φωτιά

Εάν δεν είναι σχεδιασμένα για ένα συγκεκριμένο μέσο με ανθεκτικότητα στη φωτιά, ο περισσότερος υδραυλικός εξοπλισμός είναι συνήθως σχεδιασμένος για χρήση ορυκτών υδραυλικών λαδιών. Η επιτυχής μετατροπή σε ρευστά με αντοχή στη φωτιά εξαρτάται από προσεκτική επιλογή των ρευστών που είναι κατάλληλα για τα εξαρτήματα του συστήματος (με ενδεχόμενες μετατροπές) και τις λειτουργικές παραμέτρους. Επιπροσθέτως, πρέπει να εγκαθιδρυθεί ικανοποιητική παρακολούθηση της κατάστασης, έλεγχος της επιμόλυνσης και τακτικές εργασίες συντήρησης.

Όταν μετατρέπονται υπάρχοντα συστήματα, προτείνονται οι ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές:

1. Απόκτησε πλήρεις τεχνικές πληροφορίες για τα εξαρτήματα του συστήματος, τις συνθήκες λειτουργίας και τις συστάσεις του κατασκευαστή. Οι προμηθευτές των εξαρτημάτων (ιδιαίτερα οι κατασκευαστές αντλιών) συχνά θέτουν τις δικές τους απαιτήσεις

για τη χρήση των ρευστών με ανθεκτικότητα στη φωτιά, συνήθως προτείνοντας λίστες αποδεκτών προϊόντων και συστήνοντας απαραίτητες μετατροπές του συστήματος.

2. Επί τη ανωτέρω βάση, συζητήστε με τους προμηθευτές για το ποια είδη ρευστών είναι κατάλληλα, και κατά πόσο απαιτούνται μετατροπές στο σύστημα. Πιθανές μετατροπές μπορεί να περιλαμβάνουν την πίεση και / ή τους περιορισμούς rpm σε συστήματα που χρησιμοποιούν ρευστά με βάση το νερό. Παρομοίως, θα ήταν σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικά στοιχεία φίλτρων, και να αντικαθίστώνται τα εξαρτήματα ελαφρών κραμάτων με άλλα από ανοξείδωτο ατσάλι.

3. Αποστραγγίξτε το προηγούμενο ρευστό πλήρως από το σύστημα, αποσυναρμολογώντας τα εξαρτήματα, τα φίλτρα, τους συνδέσμους, κλπ, όπως απαιτείται για να αδειάσει το σύστημα.

4. Σκουπίστε τα εσωτερικά τοιχώματα της δεξαμενής του ρευστού ώστε να είναι καθαρά και στεγνά.

5. Καθαρίστε και αλλάξτε όλα τα φίλτρα. Ελέγξτε ότι το είδος του φίλτρου είναι κατάλληλο, ήτοι συμβατό και αποδεκτής αποτελεσματικότητας και ικανότητας για το επιλεγμένο ρευστό.

6. Απομακρύνετε ενδεχόμενα χρώματα και επικαλύψεις του δοχείου με καυστική σόδα ή άλλο δικό σας διαβρωτικό χρώματος αν υπάρχει η παραμικρή αμφιβολία σε σχέση με τη χημική αντίσταση στο νέο ρευστό. Να έχετε υπόψη σας ότι οι εξωτερικές χρωματισμένες επιφάνειες επίσης μπορούν να υποβληθούν σε ορισμένη επαφή με το ρέον υγρό λόγω πιθανών υπερχειλίσεων ή διαρροών. (Σημ: όλες οι συνδέσεις σωλήνων θα πρέπει να σφραγιστούν με ασφάλεια έτσι ώστε να προστατευθεί το υπόλοιπο σύστημα κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας).

7. Αντικαταστήστε όλα τα ασύμβατα εξαρτήματα, σφραγίσεις και εύκαμπτους σωλήνες.

8. Ελέγξτε ότι η γραμμή αναρρόφησης και το στραγγιστήρι έχουν επαρκείς διαστάσεις σε σχέση με τη ροή και τα χαρακτηριστικά πτητικότητας του νέου ρευστού.

9. Εάν το σύστημα περιέχει σημαντική ποσότητα ιζημάτων από το ορυκτό έλαιο, συμπληρώστε το με μια ελάχιστη ποσότητα ρευστού με αντοχή στη φωτιά και κάντε

κυκλοφορία για 30 λεπτά. Μετά από αυτό αποστραγγίστε το σύστημα και συμπληρώστε με το νέο ρευστό.

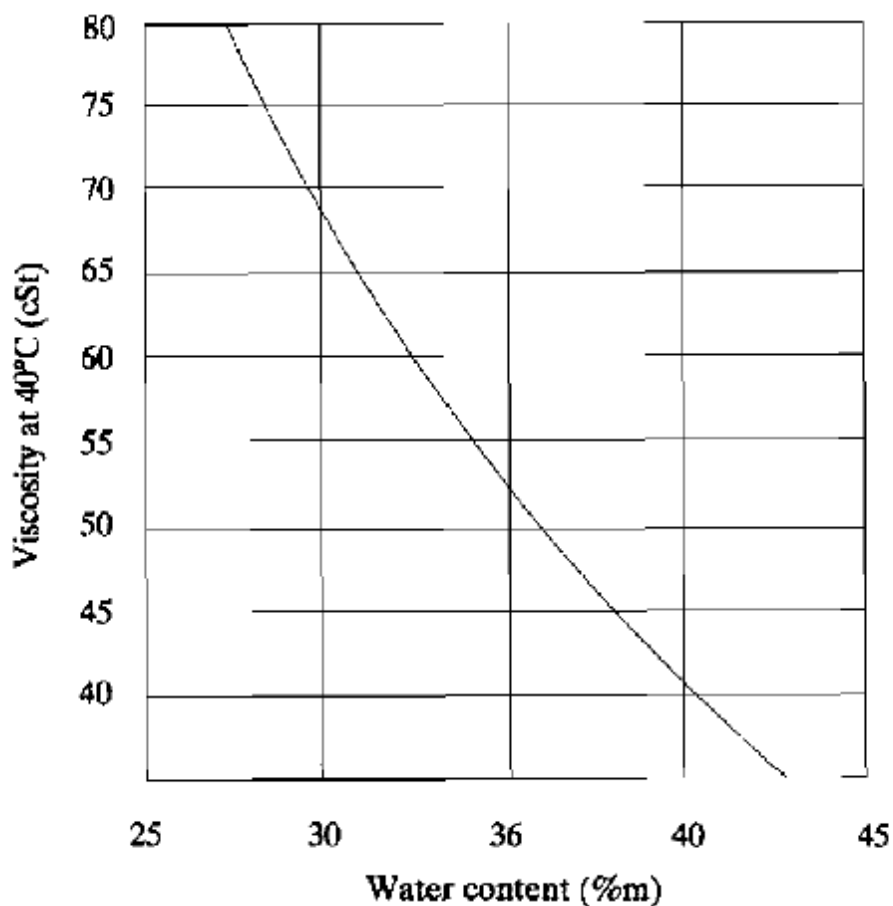
10. Επιθεωρήστε όλα τα φίλτρα και τους στραγγιστήρες σε τακτικά χρονικά διαστήματα κατά την αρχική περίοδο λειτουργίας. Παρακολουθήστε την κατάσταση του νέου ρευστού με σχετικά συχνούς εργαστηριακούς ελέγχους μέχρι να επιβεβαιωθεί ότι το σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά.

15.2 Συντήρηση των ανθεκτικών στη φωτιά ρευστών

Ο χρήστης των ανθεκτικών στη φωτιά ρευστών πρέπει να δεχτεί την ανάγκη για μεγαλύτερη επαγρύπνηση σε σχέση με τη συντήρηση του ρευστού από τη συνήθη για τα συμβατικά ορυκτά υδραυλικά ρευστά. Δεν είναι πια επαρκής η περιοδική αλλαγή φίλτρων, επισκευή περιστασιακών διαρροών (τα ανθεκτικά στη φωτιά ρευστά είναι ακριβά) και ξαναγέμισμα της δεξαμενής του ρευστού.

Η πλειοψηφία των ανθεκτικών στη φωτιά ρευστών εμφανίζουν σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό απορρυπαντικότητας από τα συμβατικά ορυκτά υδραυλικά ρευστά, και συνεπώς τα ακάθαρτα σωματίδια ή συντρίμια φθοράς δεν εγκαθίστανται στη δεξαμενή του ρευστού τόσο εύκολα. Αυτή η τάση προωθεί την φθορά τριβής των αντλιών και άλλων εξαρτημάτων πέραν του ότι προκαλούν δυσλειτουργία των βαλβίδων.

Για το λόγο αυτό ο αποτελεσματικός έλεγχος για επιμόλυνση είναι μια σημαντική πλευρά της εργασίας με ανθεκτικά στη φωτιά ρευστά και ένα απλό τεστ εναπόθεσης που εκτελείται επιτρέποντας σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από το ρευστό που κυκλοφορεί να σταθεί για 24 ώρες, μπορεί να παράγει χρήσιμες ενδείξεις για την αποτελεσματικότητα του φιλτραρίσματος.



Εικ. 15.1 Σχέση ιξώδους και περιεκτικότητας νερού για το ρευστό ISO HFC (Shell Iru Fluid C).

Οι απώλειες από την εξάτμιση από τα αντίστροφα γαλακτώματα (ρευστά HFB) και νερού – γλυκόλων (ρευστά HFC) μπορεί να έχουν ατυχείς παρενέργειες. Η μειωμένη περιεκτικότητα νερού στα ρευστά HFB, οδηγεί σε μειωμένη ανθεκτικότητα στη φωτιά και μειωμένο ιξώδες, ενώ τα διαλύματα νερού – γλυκόλων γίνονται πιο ιξώδη (Εικ. 15.1). Το ιξώδες των ρευστών HFC μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την περιεκτικότητα νερού και συχνά χρησιμοποιείται ως ένα απλό μέσο αξιολόγησης των απωλειών από την εξάτμιση.

Πίνακας 15.2 Πρόγραμμα παρακολούθησης για τα ανθεκτικά στη φωτιά ρευστά τύπου ISO HFAE, HFB, HFC και HFDR

O/W γαλάκτωμα (HFAE)	W/O (HFB)	Νερού – γλυκόλης (HFC)	Φωσφορικός εστέρας (HFDR)
Περιεκτικότητα λαδιού	Περιεκτικότητα νερού	Περιεκτικότητα νερού	Πυκνότητα
Σταθερότητα γαλακ/τος	Σταθερότητα γαλακ/τος	pH	Τιμή οξέος
pH	Ιζώδες	Ιζώδες	Ιζώδες
Μικροοργανισμοί	Μικροοργανισμοί	Μικροοργανισμοί	Υγρασία
Μέτρηση σωματιδίων	Μέτρηση σωματιδίων	Μέτρηση σωματιδίων	Μέτρηση σωματιδίων

Από τη στιγμή που εγκατασταθεί ένας σωστός συνδυασμός σχεδιασμού του συστήματος και υδραυλικού ρευστού, το κλειδί για οικονομική και αποτελεσματική λειτουργία είναι η αυστηρή τήρηση των συστάσεων των κατασκευαστών, η συστηματική επιθεώρηση των φίλτρων, και η περιοδική επιθεώρηση του υδραυλικού ρευστού με εργαστηριακή εξέταση όπως απεικονίζεται παραπάνω στον Πίνακα 15.2. Όταν η εργαστηριακή ανάλυση επιβεβαιώσει ότι η κατάσταση του ρευστού δεν είναι πλέον αποδεκτή, το σύστημα θα πρέπει να αποστραγγιστεί και να ξαναγεμίσει με καθαρό ρευστό. Παρατεταμένη χρήση ενός ρευστού που έχει υποβαθμιστεί πέρα από τα αποδεκτά όρια είναι ελλιπής τακτική οικονομίας και εν τέλει θα οδηγήσει σε δαπάνη χρόνου και εξαρτημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16^ο: ΡΕΥΣΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΦΡΕΝΩΝ

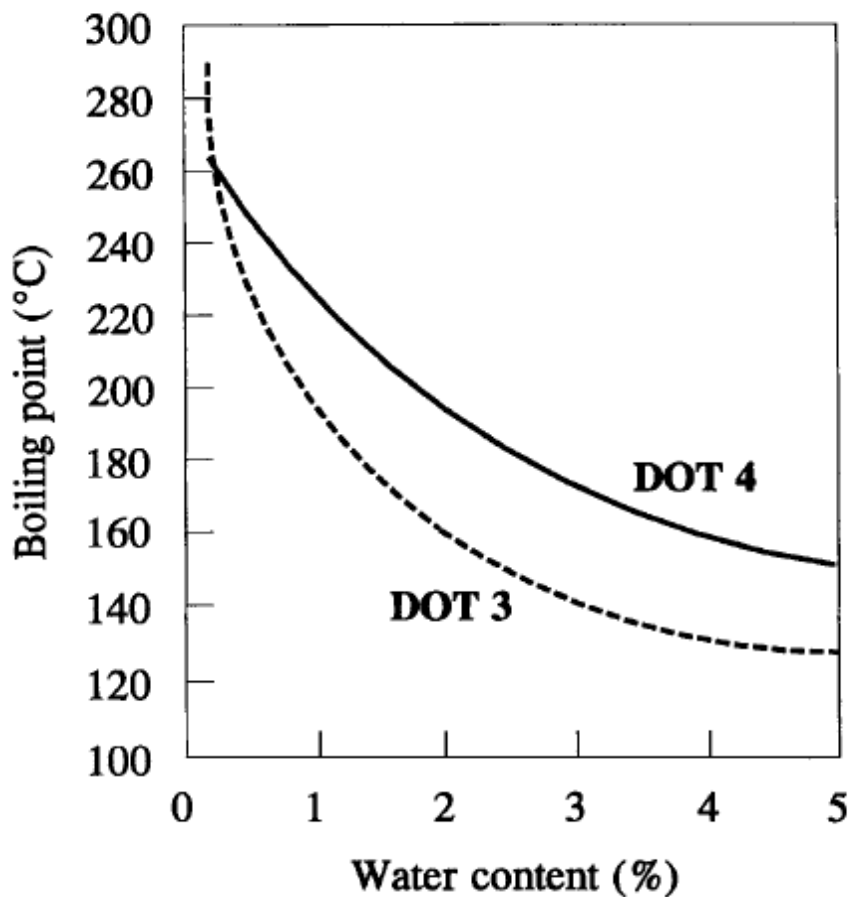
Από την εισαγωγή των συστημάτων υδραυλικών φρένων κατά τη δεκαετία του 1920, την ανάπτυξη των συνθετικών ελαστομερών και τη διαθεσιμότητα νέων χημικών ενδιάμεσων, η συνεχιζόμενη έρευνα έχει οδηγήσει σε βελτιωμένη ποιότητα υγρών φρένων προκειμένου να συμβαδίσει με τις εξελίξεις στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Η απαραίτητη λειτουργία ενός υδραυλικού συστήματος είναι να μετατρέπει την κινητική ενέργεια του κινούμενου οχήματος σε θερμότητα. Πολλή από αυτή τη θερμότητα διαχέεται στον περιβάλλοντα αέρα, όμως μια σημαντική ποσότητα της θερμικής ενέργειας αναπόφευκτα απορροφάται από το υγρό φρένου. Τα συστήματα φρένων των σύγχρονων γρήγορων αυτοκινήτων, των βαρέων εμπορικών οχημάτων κλπ, υποβάλλονται σε αυξανόμενα υψηλές θερμοκρασίες, και τα υγρά φρένων πρέπει για το λόγο αυτό να διαθέτουν επαρκή θερμική σταθερότητα και χαμηλή πίεση ατμού. Επιπλέον το ρευστό πρέπει να παρουσιάζει κατάλληλες ιδιότητες ροής σε όλο το φάσμα των αναμενόμενων θερμοκρασιών λειτουργίας, να λιπαίνουν, να προστατεύουν όλα τα μεταλλικά εξαρτήματα από τη διάβρωση και να είναι πλήρως συμβατά με τις σφραγίσεις και τα ελαστομερή.

Τα υγρά φρένων των αυτοκινήτων είναι διαμορφωμένα να ικανοποιούν τις απαιτήσεις σημαντικών διεθνών προτύπων. Τα πιο γνωστά είναι το πρότυπο SAE (Ένωση Μηχανικών Αυτοκινήτων) J1703f και το πρότυπο Federal Motor Vehicle No 116 (FMVSS116). Το τελευταίο πρότυπο Federal ταξινομεί τα υγρά φρένων σε τρεις κατηγορίες αυξανόμενης σοβαρότητας, σύμφωνα με το Τμήμα Μεταφορών DOT3, DOT4 και DOT5. Τα προεξέχοντα χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών αναφέρονται στον Πίνακα 16.1.

Πίνακας 16.1 Σύγκριση των απαραίτητων απαιτήσεων για τα υγρά φρένων DOT3, DOT 4 και DOT5

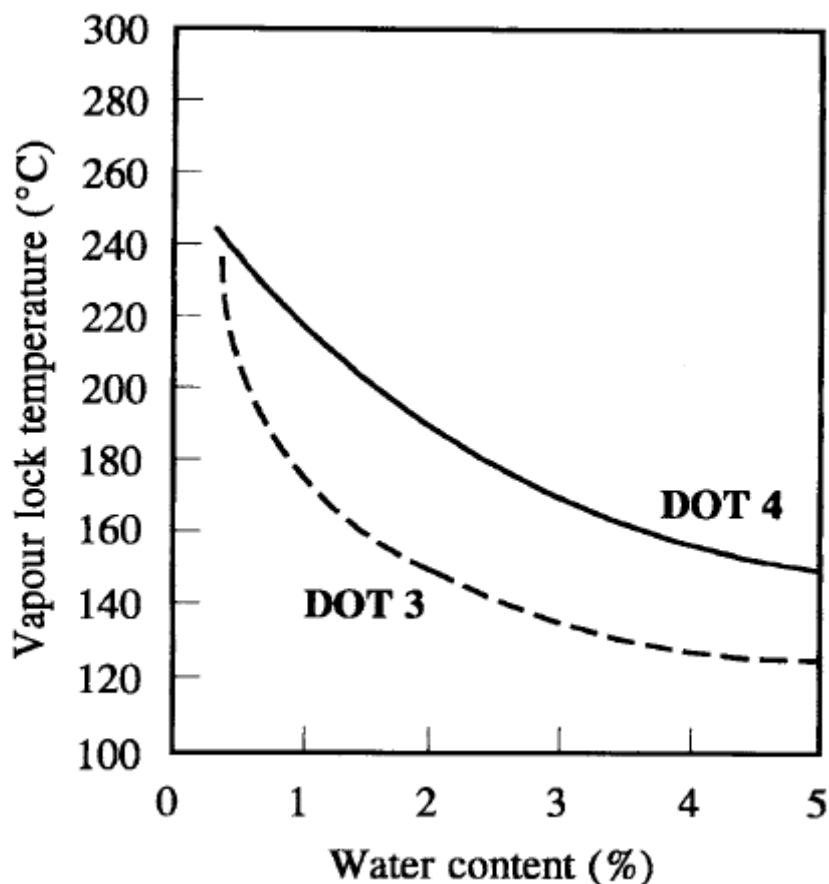
	DOT3	DOT4	DOT5
Κινηματικό ιξώδες (mm ² /s) στους - 40°C (ελάχιστο)	1500	1800	900
Ελάχιστο σημείο βρασμού ψυκτήρα ξηρής ισορροπίας (°C)	205	230	260
Ελάχιστο σημείο βρασμού ψυκτήρα υγρής ισορροπίας (°C)	140	155	180



Εικ. 16.1 Επίδραση της απορρόφησης νερού στο σημείο βρασμού των FMVSS 116 DOT3 και DOT4 υγρών φρένων (τυπικά).

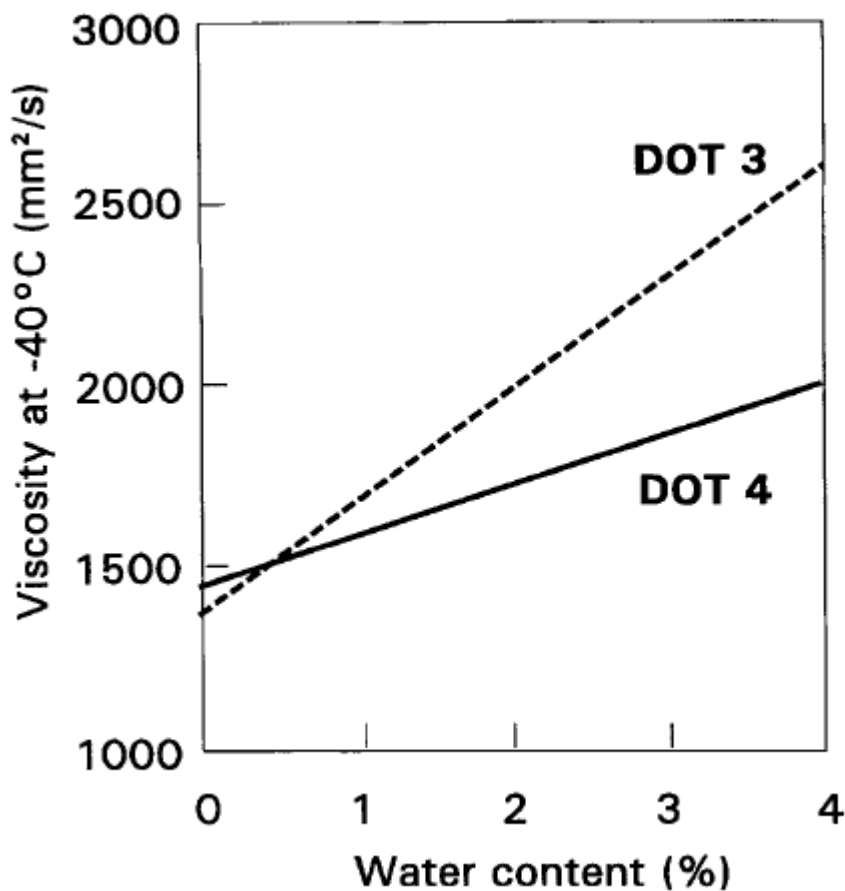
Εκτός από τις σκέψεις για τη ροή, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται κυρίως στην επίτευξη σταθερών υψηλών σημείων βρασμού, προκειμένου να αποφευχθεί μείωση της δύναμης πέδησης λόγω υπερβολικής πτητικότητας. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των αρχικών υγρών DOT3, που είχαν ως βάση πολυγλυκόλες και γλυκολαιθέρους, ήταν η εγγενής τους υδροσκοπικότητα και η επακόλουθη πτώση του σημείου βρασμού καθώς απορροφούσαν υγρασία (Εικ. 16.1). Σ' αυτά τα ρευστά μπορούν να συγκεντρωθούν τεράστιες ποσότητες υγρασίας. Υπό φυσιολογικές κλιματικές συνθήκες στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν καταγραφεί στοιχεία απορρόφησης γύρω στα 2% ανά έτος. Όπως είναι κατανοητό, η προοδευτική συγκέντρωση υγρασίας προκαλεί δραματικές αλλαγές στη συνολική επίδοση ενός υγρού φρένων:

- Αυξημένο ιξώδες σε χαμηλές θερμοκρασίες,
- Μειωμένη τιμή ατμόφραξης,
- Μειωμένες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες.



Εικ. 16.2 Επίδραση της απορρόφησης νερού στη θερμοκρασία ατμόφραξης των υγρών φρένων FMVSS 116 DOT3 και DOT4 (τυπικά).

Η δυσμενής συνέπεια της επιμόλυνσης με νερό περιορίζεται στα υγρά φρένων DOT4 με την ενσωμάτωση βορικών εστέρων στην τελική διαμόρφωση. Αυτά τα συστατικά αντιδρούν χημικά με την απορροφώμενη υγρασία και σχηματίζουν γλυκολιθέρες και με τον τρόπο αυτό καθυστερούν την έναρξη οποιασδήποτε τάσης ατμόφραξης ή αδικαιολόγητης αύξησης του ιξώδους (Εικ. 16.2 και 16.3).



Εικ. 16.3 Επίδραση της απορρόφησης νερού στο ιξώδες στους -40°C για ρευστά πέδησης FMVSS 116 DOT3 και DOT4 (τυπικά).

Ένα επιπλέον προσόν είναι η ενισχυμένη προστασία από τη διάβρωση που επιτυγχάνεται με τον βορικό εστέρα. Μέσω του βορικού εστέρα κατέστη επίσης δυνατό η τεχνολογία να συμμορφωθεί με τις βασικές απαιτήσεις του DOT5.

Ωστόσο, τα ρευστά DOT5 συνήθως έχουν ως βάση τους έλαια σιλικόνης (πολυσιλοξάνια) και πυριτικούς εστέρες.

Τα πολυσιλοξάνια διαθέτουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά ιξώδους – θερμοκρασίας, δεν είναι υδροσκοπικά και διατηρούν υψηλό σημείο βρασμού για αόριστο χρονικό διάστημα. Αυτά τα ρευστά με βάση τη σιλικόνη, όμως, δεν αναμιγνύονται ούτε με το νερό ούτε με τις άλλες κατηγορίες DOT. Παρόλο που η μη αναμειξιμότητα με το νερό εξασφαλίζει ότι το υψηλό σημείο βρασμού δεν θα μειωθεί, υπάρχει ανάγκη για άλλα εξαρτήματα που θα εξαλείψουν οποιονδήποτε κίνδυνο να καταψυχθεί μέσα στο σύστημα πέδησης συμπτωματική ελεύθερη υγρασία. Ούτε είναι τα ρευστά με βάση πολυσιλοξάνια πλήρως συμβατά με τα συνήθη ελαστομερή που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα πέδησης, απαιτώντας την προσθήκη κατάλληλων προσθέτων που διογκώνουν τις σφραγίσεις, ώστε να αντισταθμιστεί η συρρίκνωση των συνήθων υλικών σφράγισης.

Οι πυριτικοί εστέρες επίσης, διαθέτουν εξαιρετικές ιδιότητες ιξώδους – θερμοκρασίας και έχουν το πλεονέκτημα της καλής αναμειξιμότητας με τα τρέχοντα υγρά πέδησης με βάση γλυκολαιθέρους. Σε πολλές συμβατικές υδραυλικές εφαρμογές η εγγενής υδρολυτική αστάθεια των πυριτικών εστέρων έχει θεωρηθεί ως μειονέκτημα. Στα συστήματα πέδησης των αυτοκινήτων, όπου μια ορισμένη εισχώρηση υγρασίας είναι αναπόφευκτη, η ικανότητα αυτών των ρευστών να απορροφούν και να συνδυάζονται χημικώς με την υγρασία είναι ένα πολύτιμο χαρακτηριστικό. Αυτός ο μηχανισμός ομοιάζει με την ενέργεια προσθήκης βορικών εστέρων στα μέσα DOT4, και εμποδίζει την υποβάθμιση του εκ φύσεως επωφελούς σημείου βρασμού.

Τα πατενταρισμένα υγρά φρένων που συμμορφώνονται με το DOT5 ορίζονται ευρέως ως ρευστά σιλικόνης, όμως είναι μείγματα που εμπεριέχουν κατάλληλες συγκεντρώσεις άλλων συστατικών για να συμπληρώσουν και τροποποιήσουν τις ιδιότητες του βασικού ρευστού.

Τα βασικά ρευστά υδρογονανθράκων μοιάζουν με τις σιλικόνες στην έλλειψη υδροσκοπικότητας και γι αυτό το λόγο η επιδείνωση του σημείου βρασμού δεν αποτελεί πρόβλημα σ' αυτά τα μέσα. Τα υγρά υδρογονανθράκων συνήθως απαιτούν την προσθήκη βελτιωτικών του δείκτη ιξώδους για να προσεγγίσουν τους εξαιρετικούς δείκτες ιξώδους των σιλικόνων, αν και κάποια συνθετικά, όπως π.χ. οι πολυαλφαολεφίνες, διαθέτουν εκ φύσεως υψηλούς δείκτες και επίσης εντυπωσιακές ιδιότητες ροής σε χαμηλή θερμοκρασία. Οι

λιπαντικές ιδιότητες των υδρογονανθράκων είναι γενικά ανώτερες από των σιλικόνων, αλλά ούτε και αυτοί είναι πλήρως συμβατοί με ορισμένα ελαστομερή που χρησιμοποιούνται ευρέως στα υδραυλικά συστήματα των αυτοκινήτων, ήτοι το καουτσούκ αιθυλενίου – προπυλενίου (EPR) και στυρολίου – βουταδιενίου (SBR). Πέρα από το ζήτημα των σφραγίσεων, η κύρια ένσταση στα υγρά υδρογονανθράκων είναι η υδροφοβική φύση τους και ο κίνδυνος για πάγωμα της υγρασίας μέσα στο σύστημα πέδησης. Προκειμένου να μετριαστεί αυτός ο πιθανός κίνδυνος, είναι σύνηθες να ενσωματώνεται κάποιο είδος παράγοντα σάρωσης του νερού στην τελική διαμόρφωση, όπως στην περίπτωση των υγρών με βάση τη σιλικόνη. Η φυσική ικανότητα των υδρογονανθράκων να προστατεύουν τα μεταλλικά εξαρτήματα από τη διάβρωση είναι ένα σαφές πλεονέκτημα στα συστήματα πέδησης, όπου αναμένεται ορισμένη εισχώρηση υγρασίας, και από αυτή την άποψη οι υδρογονάνθρακες είναι ανώτεροι από τις σιλικόνες και τους γλυκολαιθέρες.

Παρά την προφανή καταλληλότητα των ρευστών υδρογονάνθρακα ως βασικά υλικά, ο φόβος της τυχαίας επιμόλυνσης από άλλα ορυκτά έλαια αποτελεί έναν σαφή περιορισμό στην ευρεία εφαρμογή τους. Ωστόσο, κατασκευαστές όπως η Citroen (από το 1967) και η Rolls-Royce χρησιμοποιούν επιτυχώς ρευστά με βάση υδρογονάνθρακες στα κεντρικά υδραυλικά τους συστήματα. Τα ρευστά υδρογονανθράκων είναι ακόμα καθορισμένα για ορισμένες στρατιωτικές εφαρμογές, αν και υπάρχει μια γενική τάση προς τα εξειδικευμένα μέσα για στρατιωτικά και αεροπορικά συστήματα.

Τα περισσότερα γεωργικά μηχανήματα, τρακτέρ κλπ, χρησιμοποιούν προϊόντα ορυκτών ελαίων στα συστήματα πέδησης, αν και ορισμένα συστήματα πέδησης έχουν χωριστά υδραυλικά κυκλώματα, ανεξάρτητα από τη μετάδοση του υγρού. Τα συστήματα πέδησης των περισσότερων τρακτέρ είναι, ωστόσο, ενσωματωμένα με το κύριο σύστημα μετάδοσης, επιβάλλοντας έτσι περαιτέρω ποιοτικούς περιορισμούς στη διαμόρφωση της μετάδοσης του υγρού.

Τα σύγχρονα τρακτέρ συνήθως είναι εξοπλισμένα με φρένα εμβυθισμένα σε λάδι («υγρά»), τα οποία παραπονούνται εντόνως με το χαρακτηριστικό «στρίγκλισμα» των υγρών φρένων, όταν χρησιμοποιούνται ακατάλληλα λάδια. Το στρίγκλισμα των υγρών φρένων είναι μια ηχητική εκδήλωση των συνθηκών stick-slip, που προέρχονται από έναν ακατάλληλο συνδυασμό συντελεστών κινητικής και στατικής τριβής για τις λιπασμένες επιφάνειες των δισκόφρενων τριβής.

Τα κατάλληλα υγρά είναι σχηματισμένα χρησιμοποιώντας προσεκτικά επιλεγμένους τροποποιητές τριβής (friction modifiers), οι οποίοι απορροφώνται από τις επιφάνειες τριβής, ελαχιστοποιώντας τη διαφορά ανάμεσα στις στατικές και κινητικές δυνάμεις τριβής, χωρίς να χαμηλώνουν απaráδεκτα τη ροπή που αναπτύσσεται από το φρένο. Η τροποποίηση της τριβής λειαίνει τη συμπλοκή των δίσκων τριβής ελαχιστοποιώντας το φαινόμενο stick-slip, διατηρώντας ταυτοχρόνως τα επίπεδα ροπής εντός των παραμέτρων του σχεδίου.

Η ανεπαρκής τροποποίηση της τριβής οδηγεί στο στρίγκλισμα και τη φθορά των δίσκων, ενώ η πολύ χαμηλή τριβή επιτρέπει την ολίσθηση και στίλβωση των επιφανειών ζεύξης λόγω της οξείδωσης από τη μετάδοση του λαδιού. Προκειμένου να ικανοποιηθεί αυτή η απαίτηση, και εκείνη των υγρών πολύδίσκων συμπλεκτών που εξυπηρετούν το αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, τα αντίστροφα κιβώτια ανεξάρτητης λήψης ισχύος και μεταφοράς ενέργειας, ο σχηματισμός λιπαντικού τύπου “universal tractor transmission oil” (UTTO), απαιτεί μια λεπτή ισορροπία προσθέτων ενάντια στη φθορά, απορρυπαντικών, τροποποιητών τριβής και άλλων προσθέτων.

Τα υγρά φρένα εισήχθησαν στην Ευρώπη μερικά χρόνια μετά την εμφάνισή τους στις Ηνωμένες Πολιτείες. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος τη δεκαετία του 1960, πραγματοποιήθηκε η έξυπνη ιδέα ενός πραγματικά παγκοσμίου λαδιού για γεωργικά μηχανήματα – ένα λάδι συνδυασμού κινητήρα / μετάδοσης – , το πρώτο Tractor Oil Universal (TOU). Αυτή η ευρωπαϊκή εξέλιξη δεν έλαβε υπόψη της αυστηρές απαιτήσεις τριβής των υγρών φρένων, οι οποίες ακόμα δεν είχαν εμφανισθεί στην Ευρώπη. Μετά το 1971, ο αριθμός των εμπυθισμένων συστημάτων πέδησης αυξήθηκε ραγδαία, μαζί με τον ανάλογο όγκο παραπόνων σχετικά με το σκούξιμο των υγρών φρένων. Μέσα σε όλο αυτό, υποκινήθηκαν εντατικά προγράμματα εξέλιξης προκειμένου να αναγνωριστούν πρόσθετα τροποποίησης τριβής με καλή θερμική και χημική σταθερότητα, κατάλληλα για χρήση σε λάδια υπερτροφοδοτούμενων πετρελαιοκινητήρων. Τα επακόλουθα προϊόντα, που ικανοποιούν τις αυστηρές τεχνικές απαιτήσεις των υπερτροφοδοτούμενων πετρελαιοκινητήρων, των μετατροπέων ροπής, των ταχυτήτων μετάδοσης και των εμπυθισμένων φρένων, ορίζονται ως «Super Tractor Oil Universal» (STOU). Αυτά τα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας πληρούν τις τεχνικές απαιτήσεις πολλών σημαντικών κατασκευαστών, παρόλο που ορισμένοι προμηθευτές γεωργικών μηχανημάτων ακόμα απαιτούν τη χρήση συγκεκριμένων λαδιών μετάδοσης κατά τη διάρκεια της περιόδου που ισχύει η εγγύηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17^ο: ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Κατά τα πρόσφατα έτη έχουμε αναπτύξει μια καλύτερη αντίληψη των πιθανών κινδύνων που σχετίζονται με την τεράστια ποικιλία χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο. Σήμερα, γνωρίζουμε ιδιαίτερος την ανάγκη να αναγνωρίζουμε τους ενδεχόμενους κινδύνους υγείας ή ασφάλειας που συνδέονται με τα βιομηχανικά και οικιακά προϊόντα, και να μαθαίνουμε τί προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται. Πολύ προσπάθεια καταβάλλεται για να εξασφαλιστούν ασφαλείς συνθήκες εργασίας και να καθιερωθεί ένα θετικό περιβάλλον. Αυτό δεν είναι μόνο ένα ζήτημα που άπτεται της λογικής και της ηθικής, αλλά επίσης θεσπίζεται αυστηρώς από τη νομοθεσία στις περισσότερες χώρες. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Δράση για Υγεία και Ασφάλεια στην Εργασία, θέτει ως υπεύθυνους τους προμηθευτές «για να εξασφαλίσουν στο μέτρο που είναι εφικτό, ότι η ουσία είναι ασφαλής και χωρίς κινδύνους για την υγεία όταν χρησιμοποιείται καταλλήλως» και να δίνουν πληροφορίες «σχετικά με οποιοσδήποτε συνθήκες απαραίτητες για να εξασφαλιστεί ότι θα είναι ασφαλής και χωρίς κινδύνους για την υγεία όταν χρησιμοποιείται καταλλήλως». Δυστυχώς είναι γεγονός ότι κανένα προϊόν δεν είναι απολύτως ασφαλές από όλες τις απόψεις, και θα πρέπει να δίνεται έμφαση στην αυστηρή τήρηση επαρκών μέτρων ασφαλείας.

Τα υδραυλικά ρευστά έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούνται σε κλειστά συστήματα. Για το λόγο αυτό είναι κατά τη συμπλήρωση, λόγω διαρροών, ή κατά τις εργασίες συντήρησης, που ανακύπτει η πιθανότητα φυσικής επαφής με το υδραυλικό μέσο.

Γενικά, τα υδραυλικά ρευστά αντιπροσωπεύουν έναν σχετικά ασήμαντο κίνδυνο για την υγεία σε κανονικές εφαρμογές, υπό την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται τα μέτρα

ασφαλείας σύμφωνα με το σχετικό Φύλλο Δεδομένων Ασφαλείας Υλικών κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης.

Κατά την ανάπτυξη νέων σχηματισμών, οι κατασκευαστές υδραυλικών ρευστών καταβάλλουν επίσης σημαντική προσπάθεια να εξασφαλίσουν ότι από άποψη επαγγελματικής υγείας το προϊόν είναι πλήρως αποδεκτό. Οι περισσότερες χώρες έχουν επίσημο νομοθετικό πλαίσιο που ορίζει τα αναγκαία κείμενα προειδοποίησης και σύμβολα για τους κινδύνους στις συσκευασίες των βιομηχανικών προϊόντων, περιλαμβανομένων και των υδραυλικών ρευστών. Σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μόνο σε λίγα υδραυλικά ρευστά θεωρείται ότι απαιτούνται ετικέτες με σύμβολα ότι ανήκουν στις ομάδες κινδύνου Χn («επικίνδυνα»), Χi («ερεθιστικά») κλπ.

Οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία συνοψίζονται παρακάτω.

17.1 Κατάποση

Ο κίνδυνος κατάποσης υδραυλικών ρευστών εμφανίζεται αρκετά απομακρυσμένος, αν και έχουν συμβεί ατυχήματα όταν μικρές ποσότητες ξαναγεμίζονται σε μπουκαλάκια μεταλλικού νερού και αποθηκεύονται απρόσεχτα. Οποιοδήποτε λάθος κανονικά θα γίνει αντιληπτό στην πρώτη μπουκιά! Όσον αφορά στα συμβατικά ορυκτά υδραυλικά έλαια, η κατάποση λίγων χιλιοστόλιτρων δεν θα προκαλούσε κάτι περισσότερο από προσωρινή δυσφορία, υπό την προϋπόθεση ότι το υγρό θα καταποθεί.

Η οξεία από στόματος τοξικότητα ενός τυπικού ορυκτού υδραυλικού ρευστού είναι συνήθως χαμηλή, ήτοι $LD_{50} > 5 \text{ ml/kg}$.

Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει κάποιος να προσπαθήσει να προκαλέσει εμετό μετά την κατάποση ενός υδραυλικού ρευστού. Ο εμετός εμπεριέχει τον κίνδυνο εισχώρησης του ρευστού στους πνεύμονες («εισρόφηση»), μια εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση που απαιτεί άμεση ιατρική φροντίδα.

Ορισμένα ρευστά με βάση το νερό, ιδιαιτέρως προϊόντα σε συμπυκνωμένη μορφή, μπορεί να είναι εξαιρετικά αλκαλικά (høy pH-verdi) και εξαιρετικά ερεθιστικά για το στόμα, το θώρακα και τον οισοφάγο. Όταν καταπίνονται τέτοια ρευστά ή άλλα με ετικέτα κινδύνου προϊόντα, θα πρέπει να αναζητείται άμεση ιατρική φροντίδα.

17.2 Επαφή με το δέρμα

Η πιο γνωστή μορφή έκθεσης σε υδραυλικά ρευστά είναι η επαφή με το δέρμα. Τα ορυκτά έλαια και η πλειοψηφία των συνθετικών ρευστών χαρακτηρίζονται από μια τάση να αποπλένουν τη φυσική λιπαρότητα από την επιδερμίδα, προκαλώντας ξηρότητα, ερεθισμό και έκζεμα. Τακτική και παρατεταμένη επαφή με το δέρμα μπορεί να οδηγήσει σε αλλεργικές αντιδράσεις, και σε μερικές μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ακόμα πιο σοβαρές παθήσεις, π.χ. καρκίνο του δέρματος.

Συνεπώς είναι άκρως επιθυμητό να αποφεύγεται η άσκοπη επαφή με το δέρμα με τη χρήση κατάλληλων προστατευτικών ρούχων και γαντιών από χημικώς ανθεκτικό υλικό, π.χ. PVC. Τυχαία επιμόλυνση του δέρματος από υδραυλικό ρευστό θα πρέπει να απομακρύνεται όσο το δυνατό συντομότερα χρησιμοποιώντας σαπούνι και ζεστό νερό. Διατίθενται επίσης ειδικές προστατευτικές κρέμες που βοηθούν στην προστασία του δέρματος από την επαφή με διάφορα είδη ρευστών.

17.3 Επαφή με τα μάτια

Αυτό μπορεί συχνά να είναι εξαιρετικά επώδυνο, αν και τα υδραυλικά ρευστά σπανίως οδηγούν σε μόνιμη βλάβη των ματιών εάν αμέσως δοθεί προσοχή. Η συνιστώμενη άμεση θεραπεία είναι το ξέπλυμα των ματιών με άφθονο νερό για τουλάχιστον 10 λεπτά. Τότε θα πρέπει να αναζητηθεί ιατρική φροντίδα εάν ο ερεθισμός επιμένει.

17.4 Εισπνοή

Αυτό σπάνια συμβαίνει σε μετρήσιμο βαθμό κατά την κανονική χρήση των υδραυλικών ρευστών, αλλά πιθανοί ατμοί μπορούν να ερεθίσουν τους βλεννογόνους υμένες στο θώρακα και τα αναπνευστικά όργανα. Μπορούν επίσης να προκαλέσουν ζαλάδα, πονοκεφάλους και ναυτία, πιθανώς ακόμα και απώλεια των αισθήσεων σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε απελευθέρωση τοξικών προϊόντων διάσπασης από ορισμένα προϊόντα, π.χ. υδρόθειο (H₂S) από τη θερμική διάσπαση των διθειοφωσφορικών προσθέτων.

17.5 Δελτίο δεδομένων ασφάλειας υλικών

Όλες οι εταιρείες πρέπει να συγκεντρώνουν ένα μητρώο προϊόντος, περιλαμβανομένου ενός Δελτίου Δεδομένων Ασφαλείας Υλικών (MSDS) για κάθε προϊόν που χρησιμοποιείται, αποθηκεύεται ή μεταφέρεται από την εταιρεία. Αυτή είναι τώρα μια επίσημη απαίτηση από την κρατική νομοθεσία στις περισσότερες βιομηχανοποιημένες χώρες. Αυτά τα δελτία δεδομένων πρέπει να παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που αφορούν τους

κινδύνους για την υγεία, τους χειρισμούς προφύλαξης, τις ετικέτες, τις πρώτες βοήθειες, τη διάθεση των αποβλήτων, κλπ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18^ο:ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

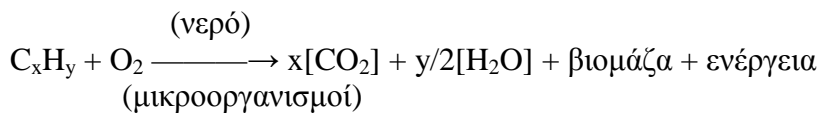
Τα τελευταία χρόνια έχουν χαρακτηριστεί από επαγρύπνηση απέναντι σε σοβαρές απειλές στην ανθρωπότητα που προκαλούνται από βιομηχανικές ενέργειες και συνδέονται με τη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το αυξανόμενο δημόσιο ενδιαφέρον για την προστασία της φύσης – και των εαυτών μας – έχει υλοποιηθεί, και τα υδραυλικά ρευστά περιλαμβάνονται φυσικά μεταξύ αρκετών προϊόντων εναντίον των οποίων κατευθύνεται το ενδιαφέρον. Τα υδραυλικά ρευστά πράγματι έχουν ειδικό ενδιαφέρον από αυτή την άποψη επειδή χρησιμοποιούνται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες σε μηχανήματα εκσκαφής, μπουλντόζες, κινητούς γερανούς και άλλους εξοπλισμούς για χρήση σε εξωτερικούς χώρους. Ο κίνδυνος διαρροών είναι πάντοτε παρών, και η ξαφνική ρήξη ενός εύκαμπτου υδραυλικού σωλήνα υπό πίεση μπορεί σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων να οδηγήσει σε σημαντική μόλυνση του περιβάλλοντος και των υπογείων υδάτων.

Τα ορυκτά έλαια αποτελούνται από σχετικά σταθερές ενώσεις υδρογονανθράκων, και διασπώνται πολύ αργά από τους μικροοργανισμούς στο περιβάλλον. Ενδεχόμενη μόλυνση από συμβατικά ορυκτά υδραυλικά έλαια μπορεί για το λόγο αυτό να διαταράξει την οικολογική ισορροπία, και του νερού και της γης για μακρές περιόδους. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε ένα αυξημένο ενδιαφέρον για τα βιοδιασπώμενα προϊόντα, και γενικότερα θεωρείται ότι ο όρος «βιοδιασπώμενος» είναι συνώνυμη με τον όρο «περιβαλλοντικά φιλικός». Ωστόσο, δεν είναι έτσι απαραίτητα, καθώς πολλές χημικές ενώσεις επίσης σχηματίζουν τοξικά βιοδιασπώμενα προϊόντα. Γι αυτό το λόγο δεν είναι σωστό να εξισώνεται η βιοδιασπασιμότητα με το περιβαλλοντικά αποδεκτό. Η μόλυνση δασών και δενδροστοιχιών με ένα από τα σύγχρονα πιο υποσχόμενα (βάσει των μέχρι τώρα γνώσεων) βιοδιασπώμενα ρευστά θα μπορούσε να οδηγήσει σε βραχυπρόθεσμα (ακριβή) επιβλαβή αποτελέσματα σε δέντρα και φυτά, αλλά σε λιγότερη μακροπρόθεσμα ζημιά από τα προϊόντα ορυκτών ελαίων.

18.1 Τι είναι βιοδιασπασιμότητα;

Μικροβιολογική διάσπαση είναι η διαδικασία σύμφωνα με την οποία μικροοργανισμοί, με (αερόβια) ή χωρίς (αναερόβια) τη βοήθεια οξυγόνου, διασπών οργανικό υλικό και αποσπών τροφή από τα προϊόντα αποσύνθεσης. Σε κάθε γραμμάριο γόνιμου εδάφους υπάρχουν περίπου 10^8 ζωντανά βακτήρια, με μέσο όρο μεγέθους 1-2 μm^3 ή για να το εκφράσουμε με πιο οικείους όρους, 100 – 200 kg μικροβίων ανά στρέμμα καλής καλλιεργήσιμης γης. Αυτοί οι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονται πολύ γρήγορα όταν υπάρχει τροφή και θερμότητα.

Στην αερόβια διαδικασία, η μικροβιολογική επίθεση είναι μια μορφή οξειδωσης, που οδηγεί σε μικρότερα μόρια υδατοδιαλυτών ουσιών, ικανών να χρησιμοποιηθούν στο μεταβολισμό των μικροοργανισμών. Όταν ολοκληρωθεί η αερόβια μικροβιολογική διάσπαση των υδρογονανθράκων, μια διαδικασία που απαιτεί ελευθέρωση ποσοτήτων οξυγόνου, τα τελικά προϊόντα είναι διοξείδιο του άνθρακα και νερό:



Στην εναλλακτική αναερόβια διαδικασία, η οποία κυριαρχεί βαθιά μέσα στο έδαφος όπου είναι περιορισμένη η διάθεση οξυγόνου, σχηματίζονται άλλα προϊόντα οργανικής αποσύνθεσης στη θέση του διοξειδίου του άνθρακα, π.χ. μεθάνιο. Και οι δύο διαδικασίες σχηματίζουν μέρος του επονομαζόμενου «κύκλου άνθρακα» που επιστρέφει τις ενώσεις άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Η πραγματική κινητική των μικροβιολογικών διαδικασιών εξαρτάται από έναν αριθμό παραμέτρων, που περιλαμβάνουν την ένταση του φωτός, τη θερμοκρασία, την παρουσία θρεπτικών αλάτων, τη διαθεσιμότητα οξυγόνου και τον τύπο του μικροοργανισμού.

Ωστόσο, η περιβαλλοντική πλευρά είναι πολύπλοκη από το γεγονός ότι τα υδραυλικά ρευστά συνήθως περιέχουν άλλα συστατικά, κυρίως πρόσθετα, τα οποία βιοδιασπώνται πολύ αργά. Για το λόγο αυτό δεν φαίνεται να είναι λόγοι για την υποβολή ερωτημάτων τα πλεονεκτήματα ενός ευκόλως βιοδιασπώμενου βασικού ελαίου, εάν τα πρόσθετα παραμένουν ως ένα συγκεντρωμένο ίζημα στο περιβάλλον. Μια συγκέντρωση προσθέτου θα εμφανιζόταν

να αντιπροσωπεύει μια ελαφρώς διαφορετική τάξη περιβαλλοντικού κινδύνου στην πραγματική αραιωμένη μορφή του.

18.2 Καθορισμός της βιοδιασπασιμότητας

Έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία μεθόδων δοκιμής, που μετρά για παράδειγμα:

- την ποσότητα καταλοίπων της αυθεντικής ουσίας,
- την αύξηση της βιομάζας (αριθμός οργανισμών),
- την κατανάλωση οξυγόνου,
- το σχηματισμό CO₂.

Η πιο γνώριμη μέθοδος είναι η CEC-L-33T-82 (εκδοθείσα από το Συντονιστικό Ευρωπαϊκό Συμβούλιο), η οποία αναπτύχθηκε αρχικά για να ερευνηθεί τη βιοδιασπασιμότητα των λιπαντικών ελαίων για τους δίχρονους εξωλέμβιους κινητήρες στο νερό. Το δείγμα του λαδιού και οι μικροοργανισμοί αναμειγνύονται σε μια δοκιμαστική φιάλη, και μετά αποθηκεύονται στο σκοτάδι στους 25⁰C. Οι ποσότητες του λαδιού δοκιμής που απομένουν μετά από 7 και 21 ημέρες μετρώνται. Το λάδι θεωρείται ότι είναι επαρκώς βιοδιασπώμενο εάν $\geq 80\%$ του οργανικού υλικού δοκιμής διασπαστεί εντός 21 ημερών.

Άλλη μια επωφελής μέθοδος, που καταγράφει την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που σχηματίζεται κατά την περίοδο της δοκιμής, είναι η «Τροποποιημένη μέθοδος Sturm. Εδώ ο σχηματισμός CO₂ καταγράφεται ως ένα ποσοστό της θεωρητικής τιμής για την πλήρη διάσπαση, που εκφράζει έτσι την κλασματική αποσύνθεση, υποθέτοντας ότι η μικροβιολογική επίθεση οδεύει στην ολοκλήρωση.

Μια πλήρως αξιόπιστη εκτίμηση της μικροβιολογικής διάσπασης και της επίδρασής της στο περιβάλλον μπορεί μόνο να επιτευχθεί με συμπληρωματικά τεστ της ανωτέρω φύσης με μια λεπτομερή εξέταση όλων των ενδιάμεσων προϊόντων αποσύνθεσης, ένα δύσκολο (και ακριβό!) έργο.

18.3 Βιοδιασπώμενα υδραυλικά μέσα

Τρία κύρια είδη βιοδιασπώμενων ρευστών είναι διαθέσιμα επί του παρόντος, που βασίζονται σε:

- φυτικά έλαια,
- πολυαλκυλενογλυκόλες,

- οργανικούς εστέρες.

Τα προϊόντα που σχηματίζονται με κραμβέλαιο είναι σήμερα πιο ευρέως διαδεδομένα, κυρίως λόγω του σχετικά μέτριου κόστους τους συγκριτικά με τα συνθετικά εναλλακτικά.

Τα κραμβέλαια περιέχουν 30 – 40% φυτικό λάδι. Το κραμβέλαιο παράγεται από πίεση που ακολουθείται από εκζύλιση διαλύτη με νάφθα. Το κραμβέλαιο αποτελείται κυρίως από τριγλυκερίδια των C₁₈ έως C₂₂ μονοακόρεστων λιπαρών οξέων. Η σύνθεση διαφέρει κάπως ανάλογα με την περιοχή προέλευσης, και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των προϊόντων μπορεί να τροποποιούνται από διάφορες διεργασίες διύλισης, π.χ. υδρογόνωση.

Το ραφινρισμένο κραμβέλαιο προσφέρει μια ποσότητα εγγενών πλεονεκτημάτων, ιδιαίτερος έναν εξαιρετικά υψηλό δείκτη ιξώδους (>200), εξαιρετικές λιπαντικές ιδιότητες, και καλή βιοδιασπασιμότητα. Η σχετικά φτωχή οξειδωτική σταθερότητα και μια τάση να υδρολύεται όταν επιμολύνεται με νερό είναι οι κύριοι παράγοντες που περιορίζουν την πιο ευρεία εφαρμογή των ρευστών από κραμβέλαιο. Η ανώτατη συνιστώμενη θερμοκρασία λειτουργίας για προϊόντα από κραμβέλαιο είναι οι 70⁰C, και αυτή είναι πολύ χαμηλή για τα περισσότερα από τα πιο σημαντικά δασοκομικά μηχανήματα σήμερα. Σε μέτριες θερμοκρασίες ωστόσο, αυτό το είδος υδραυλικού μέσου έχει εμφανίσει εξαιρετικά ικανοποιητικές ιδιότητες, και η απεριόριστη αναμειξιμοτητά του με τα ορυκτά έλαια, εξασφαλίζει τη χωρίς προβλήματα εφαρμογή σε συστήματα που προηγουμένως λειτουργούσαν με συμβατικά ορυκτά υδραυλικά έλαια.

Πίνακας 18.1 Σύγκριση διαφόρων βιοδιασπώμενων υδραυλικών ρευστών και ορυκτών ελαίων ISO HV

	Ορυκτό έλαιο	Κραμβέλαιο	Πολυγλυκόλη	Εστέρας
ISO VG	68	32	32	46
Δείκτης ιξώδους	145	210	200	180
Πυκνότητα στους 15 ⁰ C	0,88	0,92	1,03	0,92
Σημείο ροής (⁰ C)	- 30	- 35	- 39	- 48
Λιπαντικές ιδιότητες	+	++	+	+
Τιμή FZG	11	12	12	10
Οξειδωτική σταθερότητα	++	+	++	++
Υδρολυτική σταθερότητα	++	-	+	+
Διατμητική σταθερότητα	+	++	++	++

Διαβρωτική προστασία	++	+	+	+
Διαλυτότητα στο νερό	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι
Αναμειξιμότητα με ορυκτά έλαια	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Συμβατότητα ελαστομερούς	++	+	+/-	+/-
Εύρος θερμοκρασίας (°C)	-10/+90	-25/+70	-25/+100	-30/+100
Βιοδιασπασιμότητα (CEC-L-33-T-82) (%)	≈20	≈98	≈90	≈85
Κατηγορία επικινδυνότητας για το νερό	2	0	0	0
Κόστος, συγκριτικά με τα ορυκτά έλαια	1	2-3	3-4	6

Οι πολυαλκυλενογλυκόλες επίσης διαθέτουν καλές λιπαντικές ιδιότητες, υψηλό δείκτη ιξώδους και – σε αντίθεση με τα προϊόντα φυτικών ελαίων – εξαιρετική οξειδωτική και υδρολυτική σταθερότητα. Οι υδατοδιαλυτές πολυγλυκόλες (π.χ. πολυαιθυλενογλυκόλες) επίσης βιοδιασπώνται ραγδαία από μικροοργανισμούς, και συνεπώς αυτό το είδος πολυγλυκόλης χρησιμοποιείται σε βιοδιασπώμενα ρευστά/

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των πολυαλκυλενογλυκόλων είναι η περιορισμένη τους διαλυτότητα σε ορυκτά έλαια ή κραμβέλαια, το οποίο απαιτεί μια πιο περίπλοκη διαδικασία μετατροπής για συστήματα που προηγουμένως λειτουργούσαν με αυτά τα ρευστά. Επιπλέον, η εγγενής υγροσκοπικότητα των πολυαλκυλενογλυκόλων αναστέλλει κάπως την ικανότητά τους να παράγουν υψηλό βαθμό προστασίας από τη διάβρωση.

Οι συνθετικοί εστέρες διαφόρων ειδών είναι κατεξοχήν ικανοποιητικά βιοδιασπώμενα βασικά ρευστά για υδραυλικά μέσα. Ορισμένοι εστέρες διαθέτουν υψηλούς δείκτες ιξώδους, εξαιρετική θερμική και οξειδωτική σταθερότητα, ελκυστική ρευστότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες μαζί με έναν αριθμό άλλων επιθυμητών χαρακτηριστικών. Με την κατάλληλη επιλογή ενός συγκεκριμένου εστέρα, μπορεί να επιτευχθεί ένας θετικός συνδυασμός φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, π.χ. ικανοποιητική υδρολυτική σταθερότητα και συμβατότητα με τα ελαστομερή (μια αδυναμία με ορισμένους εστέρες). Το σχετικά υψηλό κόστος των εστέρων τείνει ωστόσο να περιορίσει την ευρύτερη εφαρμογή αυτών των ρευστών.

Ο Πίνακας 18.1 συγκρίνει τις ιδιότητες διαφόρων τυπικών βιοδιασπώμενων ρευστών με εκείνες ενός συμβατικού ορυκτού υδραυλικού ελαίου, ISO HV.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΑΣ, ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ, ΠΑΝ. ΠΑΤΡΑΣ, 2000.
2. Performance Testing of Hydraulic Fluids, Institute of Petroleum seminar, London, 2008.
3. Van der Wulp, J.J. Hydrauliek, Spruyt, Van Mantgem & De Does bv, Leiden, Netherlands, 2002.
4. Asle, N.Y., Handbook of Lubrication-Theory and Practice of Tribology, CRC Press Inc., Florida, 2009.
5. Ν.Δ. ΝΑΝΟΥΣΗΣ, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ Ι, ΕΚΔ. ΙΩΝ, 2003
6. Ν.Δ. ΝΑΝΟΥΣΗΣ, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΙΙ, ΕΚΔ. ΙΩΝ, 2003
7. Hydraulic-Pneumatic Symposium proceedings, Oslo. HP-Foreningen, Oslo, 2001.
8. Proceedings, Conference on Synthetic Lubricants, Sopron. Hungarian Hydrocarbon Institute, Szdzhalmobatta, 2007.
9. Onsaryen, E., Reliability-Maintenance, . Lecture notes, Norway's Technical University, Trondheim, 2003.
10. Hatton, D.R, Some Practical Aspects of Hydraulic Fluids, Technical paper, Shell International, London, 2008.
11. Jackson, T.L., Selection of Materials and Fluids for Use in Hydraulic Systems, M.O.D.D.Mar.E. joint symposium, London, 2003.
12. Institute of Petroleum, London, Modern Petroleum Technology, John Wiley & Sons, 2004.

13. <http://www.haave.no>
14. Randal V. Giles, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΠΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ, (Schaum's Outline of FLUID MECHANICS AND HYDRAULICS).
15. <http://www.machinerylubrication.com/Read/277/hydraulic-systems-fluid>
16. http://www.quintolubric.com/products/brochures_videos/H_P_select_hyd_fluids.pdf
17. https://www.stle.org/assets/document/tlt_Best_Prac_11-08.pdf
18. <http://www.hydraulicfacts.com/Hydraulics-101/ABC-Hydraulic-Fluid-Selection.html>
19. <http://www.shell.com>
20. http://www.sauerdanfoss.com/stellent/groups/publications/documents/product_literature
21. <http://www.constructionequipment.com/hydraulic-fluid-basics-formulation-selection-maintenance>
22. <http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicFluids/Article/False/6449/TechZone-HydraulicFluids>
23. http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brsm/en/products_mobile_hydraulics/8_fluid_information/a_downloads/re90221_2012-05.pdf