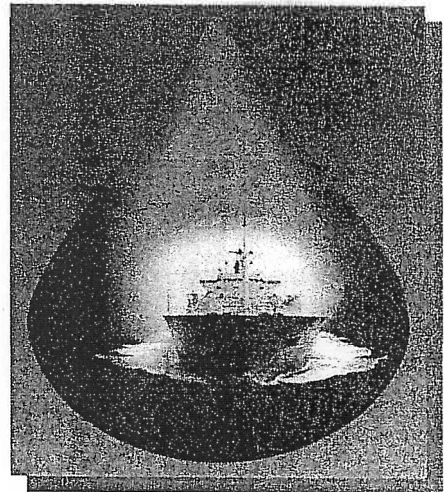
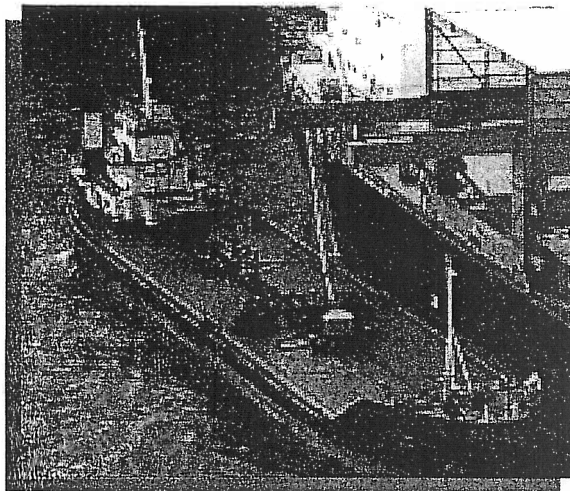


ΥΕΝ/ΚΕΣΕΝ
Δ/ΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ & ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ



ΜΗΝΑ ΝΕΡΣΙΣΓΙΑΝ
Δρ. ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΜΠ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΚΕΣΕΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2004

Πρόλογος

Οι σημειώσεις αυτές καλύπτουν τη διδακτέα ύλη των Καυσίμων & Λιπαντικών, όπως αυτή αναφέρεται στο αναλυτικό πρόγραμμα του ΥΕΝ για το ΚΕΣΕΝ Μηχανικών.

Σκοπός των σημειώσεων αυτών είναι να μελετηθούν τα τεχνικά και τα τεχνολογικά δεδομένα, που αποτελούν την προϋπόθεση για την κατανόηση της σχετικής θεωρίας.

Για την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου στο Κεφ. 4 έχουν συμπεριληφθεί αντιπροσωπευτικές λυμένες ασκήσεις και προβλήματα. Η επιλογή και η παρουσίαση των ασκήσεων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχεται η δυνατότητα συστηματικής μελέτης της θεωρίας και των σχετικών πινάκων.

Οι σημειώσεις αυτές, εκτός από τις επιμορφωτικές ανάγκες του ΚΕΣΕΝ μπορούν να αποτελέσουν και βοήθημα για το μηχανικό του Ε.Ν. στην επαγγελματική του σταδιοδρομία.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στον μηχανικό Ε.Ν. κ. Ν. Παναγόπουλο για τις συμβουλές και υποδείξεις του.

Θεωρώ καθήκον μου να τονίσω ότι δέχομαι κάθε καλόπιστη υπόδειξη, ή και κριτική, σχετικά με την εργασία αυτή.

Αθήνα 2004

Μηνάς Νερσισιγιάν

Περιεχόμενα

Πρόλογος	
Κεφ. 1 Καύσιμα	
1-1 Εισαγωγή.....	1
1-2 Στερεά Καύσιμα.....	
1-3 Υγρά Καύσιμα.....	1
Α. Σύσταση Αργού Πετρελαίου.....	1
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ.....	1
ΘΕΙΟ.....	1
ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	2
ΟΞΥΓΟΝΟ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟ.....	7
Β. Κατηγορίες Αργού Πετρελαίου.....	7
Γ. Ιδιότητες Αργού Πετρελαίου.....	8
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ	8
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	8
1-4 Αέρια Καύσιμα.....	9
Κεφ. 2 Διαχωρισμός Αργού Πετρελαίου	10
2-1 Εισαγωγή.....	12
2-2 Κατάταξη Δωλιστηριακών Διεργασιών	
2-3 Φυσικές Διεργασίες Διαχωρισμού.....	12
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ.....	12
ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΥΠΟ ΚΕΝΟ.....	13
2-4 Διεργασίες Χημικής Μετατροπής.....	13
ΠΥΡΟΛΥΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	15
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΟΡΙΩΝ.....	17
2-5 Διεργασίες Επεξεργασίας.....	17
ΓΛΥΚΑΝΣΗ	21
ΥΔΡΟΓΟΝΟΑΠΟΘΕΙΩΣΗ.....	22
2-6 Διεργασίες Ανάμιξης	22
	22
Κεφ. 3 Προϊόντα Αργού	
Πετρελαίου	23
3-1 Εισαγωγή.....	
3-2 Αέρια Καύσιμα Πετρελαίου.....	23
	23

3-3 Βενζίνη.....	24
ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΚΤΥΠΗΜΑ ΣΤΟ BENZINOKINHTHPA.....	24
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΚΤΑΝΙΟΥ.....	26
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ BENZINHΣ.....	27
3-4 Κεροζίνη.....	32
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΗΡΟΖΙΝΗΣ.....	33
3-5 Πετρέλαιο Diesel.....	34
ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΚΤΥΠΗΜΑ ΣΤΟ ΝΤΗΖΕΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	35
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΤΑΝΙΟΥ.....	38
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ DIESEL.....	39
ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ.....	48
3-6 Μαζούτ.....	49
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΖΟΥΤ.....	50
Κεφ. 4 Χαρακτηριστικά Ποιότητας των Καυσίμων.....	57
4-1 Εισαγωγή.....	57
4-2 Θερμογόνος Δύναμη.....	57
4-3 Πυκνότητα.....	59
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ.....	64
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ.....	70
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ.....	73
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΚΕΝΟ-ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ.....	76
4-5 Σημείο Ανάφλεξης.....	79
4-6 Σημείο Ροής.....	79
4-7 Αριθμός Οκτανίου.....	79
4-8 Αριθμός Κετανίου.....	80
4-9 Περιεκτικότητα σε Νερό.....	80
4-10 Περιεκτικότητα σε Θείο.....	81
4-11 Τέφρα.....	81
4-12 Εξανθράκωμα.....	81
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	82
Κεφ. 5 Καύσιμα Ναυτιλίας.....	83
5-1 Εισαγωγή.....	83
5-2 Κατηγορίες Καυσίμων Ναυτιλίας.....	83
5-3 Ποιοτική Κατάταξη Καυσίμων Ναυτιλίας.....	85
5-4 Καύσιμα Ναυτιλίας κατά CIMAC.....	89

Κεφ. 6 Βασικά Χαρακτηριστικά Ποιότητας των Καυσίμων	
Ναυτιλίας.....	91
6-1 Εισαγωγή.....	91
6-2 Πυκνότητα.....	91
6-3 Ιξώδες.....	93
6-4 Σημείο Ανάφλεξης.....	96
6-5 Σημείο Ροής.....	97
6-6 Εξανθράκωμα.....	97
6-7 Τέφρα.....	98
6-8 Περιεκτικότητα σε Νερό.....	99
6-9 Περιεκτικότητα σε Θείο.....	101
6-10 Περιεκτικότητα σε Βανάδιο και Νάτριο.....	102
6-11 Περιεκτικότητα σε Αλουμίνιο και Πυρίτιο.....	105
6-12 Σταθερότητα και Συμβατότητα.....	106
6-13 Ποιότητα Ανάφλεξης.....	109
6-14 Θερμογόνος Δύναμη.....	112
6-15 Αδιάλυτα Υπολείμματα.....	113
Κεφ. 7 Καύση.....	114
7-1 Εισαγωγή.....	114
7-2 Εξισώσεις Καύσης.....	114
7-3 Βαθμός Περίσσειας Αέρα - Συντελεστής Περίσσειας.....	118
7-4 Θερμοκρασία Φλόγας.....	119
7-5 Αναλογία Αέρα προς Καύσιμο (AFR).....	119
7-6 Υπολογισμός της AFR.....	119
7-7 Έλεγχος της Καύσης με Ανάλυση των Καυσαερίων.....	121
7-8 Προσδιορισμός της Περίσσειας του Αέρα από το CO ₂	122
7-9 Προσδιορισμός της Περίσσειας του Αέρα από το O ₂	124
7-10 Προσδιορισμός της Περίσσειας του Αέρα σε Ατελή Καύση.....	125
7-11 Απώλειες Ενέργειας σε Σύστημα Καύσης.....	125
7-12 Αριστοποίηση της Περίσσειας του Αέρα.....	126
Κεφ. 8 Παραλαβή και Χειρισμός του Καυσίμου.....	130
8-1 Εισαγωγή.....	130
8-2 Παραγγελία και Παραλαβή του Καυσίμου.....	130
8-3 Δειγματοληψία.....	132

8-4	Δίκτυο Καυσίμου.....	135
8-5	Μηχανήματα και Συσκευές που Εξυπηρετούν το Δίκτυο Καυσίμου....	136
	ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ.....	136
	ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ.....	138
	ΦΙΛΤΡΑ.....	139
	ΟΜΟΙΟΓΕΝΝΟΠΟΙΗΤΗΣ.....	140
8-6	Καθαρισμός των Δεξαμενών Καυσίμων.....	141
Κεφ. 9 Λίπανση – Προέλευση Λιπαντικών.....		142
9-1	Εισαγωγή.....	142
9-2	Είδη Λιπαντικών.....	144
9-3	Ορυκτέλαια.....	146
	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ.....	146
9-4	Συνθετικά Λιπαντικά.....	148
9-5	Λιπαντικά Λίπη (Γράσσα).....	149
	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	151
	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	152
	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	152
	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	153
	ΕΙΔΗ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	153
	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	154
9-6	Συνθήκες και Μηχανισμοί Λίπανσης.....	155
9-7	Παράγοντες που Επιδρούν στη Λίπανση.....	160
Κεφ. 10 Ιδιότητες και Ποιοτικός Έλεγχος των Λιπαντικών... ..		162
10-1	Εισαγωγή.....	161
10-2	Ορυκτέλαια.....	161
	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ.....	161
	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ.....	173
10-3	Λιπαντικά Λίπη (Γράσσα).....	175
	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΡΑΣΣΩΝ.....	175
	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΛΙΠΩΝ.....	178
10-4	Συνθετικά Λιπαντικά.....	179
	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ.....	179
10-5	Ποιοτικός Έλεγχος των Λιπαντικών.....	181
	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	182
10-6	Μικροβιακή Μόλυνση Λιπαντικών.....	184

Κεφ. 11	Κατάταξη Λιπαντικών.....	186
11-1	Εισαγωγή.....	186
11-2	Κατάταξη Ορυκτελαίων.....	186
	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ ΜΕΚ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	187
	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ ΜΕΚ ΜΑ ΒΑΣΗ ΤΟ ΙΞΩΔΕΣ.....	190
11-3	Λιπαντικά Λίπη (Γράσσα).....	193
	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΓΡΑΣΣΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	194
	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΓΡΑΣΣΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	194
Κεφ. 12	Λίπανση των ΜΕΚ – Χειρισμός Λιπαντικών.....	196
12-1	Εισαγωγή.....	196
12-2	Εμβολοφόρες ΜΕΚ.....	196
	ΛΙΠΑΝΣΗ ΒΕΝΖΙΝΟΜΗΧΑΝΩΝ, ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ, ΜΕΣΑΙΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	196
	ΛΙΠΑΝΣΗ ΑΡΓΟΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	198
12-3	Χαρακτηριστικά των Λιπαντικών ΜΕΚ.....	199
	ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΒΕΝΖΙΝΟΜΗΧΑΝΩΝ, ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΑΙΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	199
	ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΑΡΓΟΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	200
12-4	Επιλογή και Συμβατότητα Λιπαντικών.....	201
12-5	Αποθήκευση και Χειρισμός Λιπαντικών.....	202
12-6	Συντήρηση και Καθαρισμός των Λιπαντικών.....	203
12-7	Αντικατάσταση των Λιπαντικών.....	204
12-8	Καθαρισμός του Συστήματος Λίπανσης.....	204
	Βιβλιογραφία.....	205

Κεφάλαιο Πρώτο

Καύσιμα

1-1 Εισαγωγή

Με τον όρο καύσιμα εννοούμε τις ουσίες εκείνες που με την καύση τους αποσκοπούμε στην αποδέσμευση και μόνο ενέργειας. Με κριτήριο τη φυσική τους κατάσταση σε συνήθεις συνθήκες, τα καύσιμα ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια.

1-2 Στερεά Καύσιμα

Στα στερεά καύσιμα περιλαμβάνονται οι διάφορες μορφές ορυκτών ανθράκων ή γαιανθράκων, όπως λιθάνθρακες, ανθρακίτες, τύρφη. Στα στερεά καύσιμα κατατάσσεται επίσης και η καύσιμη (φυτικής προέλευσης) βιομάζα, όπως τα ξύλα, γεωργικά και δασικά παραπροϊόντα κ.λ.π. Ειδικής μορφής στερεά καύσιμα είναι τα προϊόντα φρύξης, όπως κάρβουνα και κωκ.

Τα κύρια συστατικά των γαιανθράκων είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο, μικρές ποσότητες θείου και αζώτου, το νερό και η τέφρα. Ως τέφρα χαρακτηρίζονται οι άκαυστες ανόργανες προσμίξεις των γαιανθράκων. Βασικά συστατικά της τέφρας είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) και το τριοξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3).

1-3 Υγρά Καύσιμα

Ο όρος υγρά καύσιμα περιλαμβάνει τα καύσιμα που βρίσκονται σε υγρή κατάσταση σε συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Εξαίρεση αποτελούν τα υγραέρια, που βρίσκονται υγροποιημένα υπό την επίδραση πίεσης. Τα υγρά καύσιμα στην συντριπτική πλειοψηφία τους προέρχονται από το αργό πετρέλαιο (crude oil).

A. Σύσταση Αργού Πετρελαίου

Το αργό πετρέλαιο είναι φυσικό προϊόν, που δημιουργήθηκε από την αποσύνθεση και διάσπαση οργανικών ουσιών και το οποίο είναι συσσωρευμένο σε πορώδη πετρώματα, σε βάθος που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέχρι αρκετές χιλιάδες μέτρα. Όλοι οι τύποι του αργού πετρελαίου είναι πολυσύνθετα μίγματα μεγάλου αριθμού υδρογονανθράκων (χημικές ενώσεις άνθρακα και υδρογόνου) που περιέχουν από 1 μέχρι και περισσότερα από 80 άτομα άνθρακα στο μόριο τους. Επίσης περιέχουν και ενώσεις οξυγόνου, θείου, αζώτου και

ελάχιστες ποσότητες μεταλλικών ενώσεων και νερού, η αναλογία των οποίων εξαρτάται από τον τόπο προέλευσης του. Στα αέρια που εκλύονται από τις πετρελαιοπηγές και βρίσκονται διαλυμένα μέσα στο αργό πετρέλαιο περιλαμβάνονται το άζωτο, το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο και το ήλιο. Όσο αφορά τις μεταλλικές ενώσεις δεν είναι πλήρως γνωστό με ποία μορφή βρίσκονται μέσα στο πετρέλαιο. Οι κυριότερες πάντως μορφές είναι των διαλυμένων αλάτων σε θαλασσινό νερό, τα οποία έχουν σχηματίσει γαλακτώματα με πετρέλαιο, των αλάτων οργανικών οξέων, ή των σύμπλοκων οργανομεταλλικών ενώσεων. Η διακύμανση της περιεκτικότητας του αργού πετρελαίου στα στοιχεία από τα οποία αποτελείται φαίνεται στον Πίνακα 1-1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1

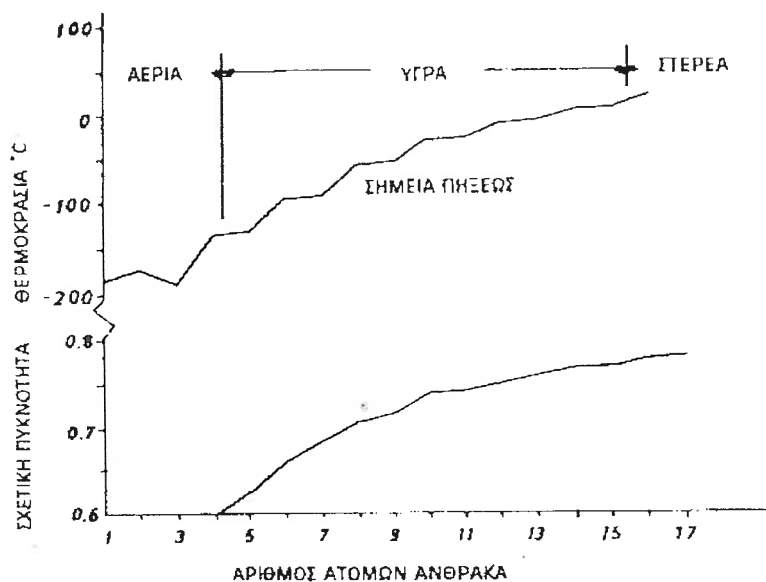
Στοιχειακή Ανάλυση Αργών Πετρελαίων

Στοιχεία	Περιεκτικότητα (% β/β)
Άνθρακας	83,90 – 86,80
Υδρογόνο	11,40 – 14,00
Θείο	0,06 – 8,00
Άζωτο	0,11 – 1,70
Οξυγόνο	0,50
Μέταλλα (Fe, V, Ni, κ.λ.π.)	0,03

ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

Από την Οργανική Χημεία γνωρίζουμε ότι ο άνθρακας μπορεί να σχηματίσει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς και ότι με το υδρογόνο μπορούν να συνθέσουν πολλούς μοριακούς συνδυασμούς. Επίσης γνωρίζουμε ότι ο άνθρακας έχει τη δυνατότητα να ενώνεται σε μεγάλες αλυσίδες με όλα τα είδη των διακλαδώσεων, σε κυκλικές ενώσεις καθώς και σε συνδυασμούς αλυσίδων και κυκλικών ενώσεων. Έτσι τα μόρια των υδρογονανθράκων του πετρελαίου ποικίλλουν κατά την δομή, κατά το μέγεθος και κατά τον βαθμό κορεσμού τους, και κυμαίνονται από τον απλούστερο υδρογονάνθρακα με ένα άτομο άνθρακα μέχρι πολύπλοκα μόρια με 40-80 ή και περισσότερα άτομα άνθρακα. Από το μέγεθος του μορίου εξαρτάται το σημείο ζέσης, το σημείο πήξης και η πυκνότητα. Ένα από τα πιο απλά προϊόντα που σχηματίζεται από άνθρακα και υδρογόνο είναι το μεθάνιο (CH_4), το οποίο είναι σε αέρια φάση και βρίσκεται, συνήθως σε μεγάλες ποσότητες, σε πηγές αργού πετρελαίου με σημείο ζέσης $\Sigma.Z = -161^\circ\text{C}$. Μετά το μεθάνιο έχουμε σε αέρια φάση το αιθάνιο (C_2H_6) με $\Sigma.Z = -89^\circ\text{C}$, το προπάνιο (C_3H_8) με $\Sigma.Z = -42^\circ\text{C}$ και το βουτάνιο (C_4H_{10}) με $\Sigma.Z = -0,5^\circ\text{C}$. Το επόμενο είναι ένα πολύ πτητικό υγρό, το πεντάνιο (C_5H_{10})

με $\Sigma.Z = 36$ °C. Είναι φανερό ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων του άνθρακα στο μόριο των υδρογονανθράκων τόσο αυξάνεται το σημείο ζέσης. Αυξάνοντας τους άνθρακες πάνω από οκτώ οι συνδυασμοί των ενώσεων των υδρογονανθράκων που συναντώνται στο αργό πετρέλαιο πολλαπλασιάζονται. Αν το μόριο έχει πάνω από 15-16 άνθρακες τα προϊόντα που σχηματίζονται



Σχ. 1-1 Μεταβολή της Πυκνότητας και του Σημείου Πήξης σε Σχέση με τον Αριθμό των Ατόμων Άνθρακα στο Μόριο των Υδρογονανθράκων

είναι σε στερεά μορφή και βρίσκονται διαλυμένα μέσα στο αργό. Μετά την διύλιση αυτά τα πολύπλοκα μεγαλομοριακά προϊόντα του αργού, εμφανίζονται ως *παραφινικά κεριά ή ασφαλτικά συστατικά*.

Στο Σχ.1-1 φαίνεται η μεταβολή της πυκνότητας και του σημείου πήξης σε σχέση με τον αριθμό ατόμων άνθρακα στο μόριο των υδρογονανθράκων. Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων του άνθρακα στο μόριο των υδρογονανθράκων αυξάνεται τόσο η πυκνότητα όσο και το σημείο πήξης.

Οι σπουδαιότερες σειρές των υδρογονανθράκων που συναντώνται στο αργό πετρέλαιο υπό μορφή ενώσεων ή μιγμάτων είναι οι παραφίνες, οι ναφθένες, και οι αρωματικές ενώσεις.

- **Παραφίνες**

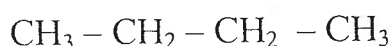
Είναι ενώσεις που αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο, διακρίνονται ανάλογα με το βαθμό κορεσμού του μορίου τους, σε *κορεσμένους* και *ακόρεστους*, και ανάλογα με τη δομή του μορίου τους, σε *παραφίνες με ευθεία άλυσσο* και σε *παραφίνες με διακλαδούμενη άλυσσο*.

Όσοι από τους υδρογονάνθρακες έχουν το γενικό τύπο C_nH_{2n+2} (όπου το n ακέραιος αριθμός με τις τιμές $n = 1, 2, 3, 4$) αποτελούν την ομόλογη σειρά των κορεσμένων ή παραφινικών υδρογονανθράκων ή αλκαλίων. Δεν έχουν κανένα διπλό ή τριπλό δεσμό μεταξύ των ατόμων του άνθρακα και αυξάνοντας τον αριθμό των ατόμων του άνθρακα στο μόριο:

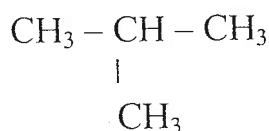
- Επιτυγχάνεται υψηλότερη πυκνότητα
- Μειώνεται η πτητικότητα και αυξάνεται το σημείο ζέσης για μόρια σε υγρή φάση
- Αυξάνεται το σημείο (θερμοκρασία) τήξης για στερεά μόρια

Οι παραφίνες με ευθεία αλυσίδα έχουν όλα τα άτομα άνθρακα σε σειρά. Η ονομασία τους βασίζεται στον αριθμό ατόμων του άνθρακα που περιέχει το μόριο τους και στην κατάληξη *-ανιο* (πεντάνιο, οκτάνιο, εικοσάνιο κ.λ.π.), εκτός από τους τέσσερις πρώτους υδρογονάνθρακες της σειράς που έχουν ιδιαίτερα ονόματα: μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο.

Στις παραφίνες με διακλαδούμενη αλυσίδα (λέγονται επίσης ισοπαραφίνες) τα άτομα του άνθρακα που συγκρατούν το μόριο τους δεν βρίσκονται στη σειρά αλλά διακλαδίζονται. Η ονομασία τους βασίζεται στον αριθμό ατόμων του άνθρακα που περιέχουν και στο πρόθεμα *-ισο*. Οι παραφίνες με διακλαδούμενη αλυσίδα είναι *ισομερείς ενώσεις*. Ισομέρεια είναι το φαινόμενο κατά το οποίο στον ίδιο μοριακό τύπο, δηλαδή στον τύπο που δείχνει το σύνολο των ατόμων που αποτελούν το μόριο ενός υδρογονάνθρακα, αντιστοιχούν δύο ή περισσότερες ενώσεις που διαφέρουν στον τρόπο σύνδεσης των ατόμων του άνθρακα ή στη θέση της χαρακτηριστικής ομάδας ή του διπλού ή τριπλού δεσμού π.χ. ο τύπος του κανονικού βουτανίου είναι:



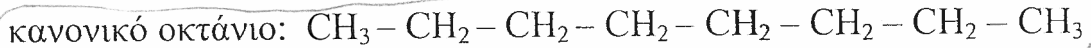
και του ισοβουτανίου είναι:



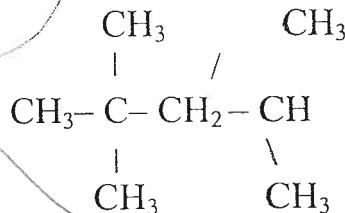
Η ισομέρεια έχει σπουδαία σημασία για την τεχνολογία του πετρελαίου, γιατί μεταξύ δύο ισομερών υδρογονανθράκων, που είναι συστατικά ενός προϊόντος πετρελαίου, μπορεί να υπάρχουν σοβαρές διαφορές στις ιδιότητες τους. Οι υδρογονάνθρακες της κατηγορίας αυτής έχουν ιδιαίτερη σημασία ως συστατικά της βενζίνης γιατί χαρακτηρίζονται από μεγάλη αντικροτική ικανότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση των δύο ισομερών

υδρογονάνθρακων του κανονικού οκτανίου C_8H_{18} και του ισο-οκτανίου που έχουν αντίθετη συμπεριφορά ως προς την αντικροτική τους ικανότητα.

Σε σειρά



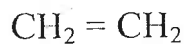
ισο-οκτάνιο:



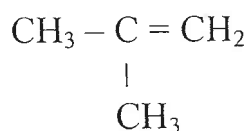
Οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες
τα άτομα του(ς) είναι σε
σειρά

Στους ακόρεστους υδρογονάνθρακες ανήκουν οι ολεφίνες ή αλκένια με το γενικό τύπο C_nH_{2n} ($n \geq 2$) και ένα τουλάχιστο διπλό δεσμό μεταξύ των ατόμων του άνθρακα, και οι ασετυλίνες ή αλκίνια με το γενικό τύπο C_nH_{2n-2} ($n \geq 2$) και ένα τουλάχιστο τριπλό δεσμό μεταξύ των ατόμων του άνθρακα.

Οι ολεφίνες ονομάζονται όπως και οι παραφίνες, με τον αριθμό ατόμων άνθρακα και την κατάληξη *-ενιο*. Αν τα άτομα άνθρακα είναι σε διακλάδωση προτάσσεται και εδώ το *-ισο* όπως και στις παραφίνες π.χ. ο τύπος του αιθυλενίου είναι:



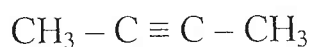
και του ισοβουτυλενίου:



Οι ασετυλίνες ονομάζονται όπως και οι παραφίνες, με τον αριθμό ατόμων άνθρακα και την κατάληξη *-ινιο* π.χ. ο τύπος του αιθινίου είναι:



και του βουτινίου:



Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες με τους χαρακτηριστικούς δεσμούς $-C-C-$

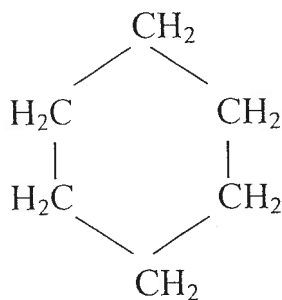
μένουν σταθεροί κατά την αποθήκευση, έχουν μεγάλη, σχετικά περιεκτικότητα σε υδρογόνο και επομένως μεγάλη θερμαντική αξία. Από την άποψη των χημικών αντιδράσεων οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι χημικά σταθεροί και για αυτό λέγονται παραφινικοί, από τα λατινικά *parum affinis* (φτωχή συγγένεια), αλλά είναι λιγότερο θερμικά σταθεροί, αναφλέγονται εύκολα και έτσι αποτελούν κατάλληλο συστατικό για τα καύσιμα των πετρελαιομηχανών.

Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες έχουν άμεση επίδραση στις ιδιότητες και φυσικά στην ποιότητα του προϊόντος, του οποίου αποτελούν συστατικά. Τα φυσικά πετρέλαια σπάνια περιέχουν ακόρεστους υδρογονάνθρακες αλλά η παρουσία τους στα προϊόντα οφείλεται σε διυλιστηριακές διεργασίες (απόσταξη, πυρόλυση).

Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες κυρίως παρουσιάζουν αστάθεια του μορίου τους (οξειδωση) και για αυτό είναι συνήθως ανεπιθύμητοι και απομακρύνονται κατά τα διάφορα στάδια εξευγενισμού. Ένας τρόπος για την αντιμετώπιση τους είναι η υδρογόνωση προς παραφίνες ή τα αντιοξειδωτικά μέσα.

• Ναφθένες ή Κυκλοπαραφίνες

Είναι υδρογονάνθρακες των οποίων τα άτομα άνθρακα ενώνονται κυκλικά μεταξύ τους. Έχουν τον γενικό τύπο C_nH_{2n} ($n \geq 3$) και ονομάζονται από τον αριθμό ατόμων άνθρακα που περιέχουν και με το πρόθεμα *κυκλο-* και την κατάληξη *-ανιο* π.χ. ο τύπος του κυκλοεξανίου είναι:



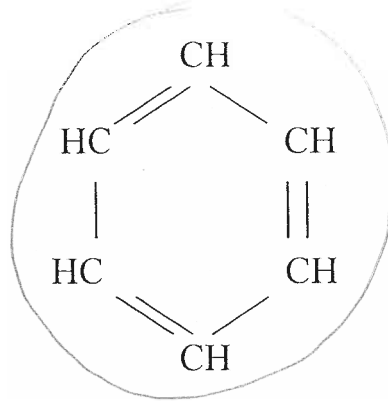
Οι ναφθενικοί υδρογονάνθρακες έχουν λιγότερα άτομα υδρογόνου. Αυξάνοντας το λόγο άνθρακα/υδρογόνου και επειδή τα άτομα του άνθρακα είναι πιο βαριά από τα άτομα του υδρογόνου η πυκνότητα του μορίου αυξάνει. Τα σημεία ζέσης των ναφθενικών υδρογονανθράκων είναι ελαφρά υψηλότερα από εκείνα των παραφινικών και οι πιο γνωστοί από τους υδρογονάνθρακες αυτούς, με 5,6 και 7 άτομα άνθρακα αποστάζουν στην περιοχή των 50-120 °C. Έχουν δηλαδή σημεία ζέσης στην περιοχή, στην οποία αποστάζει το μίγμα που στην τεχνολογία πετρελαίου λέγεται *νάφθα* (για το λόγο αυτό λέγονται ναφθενικοί υδρογονάνθρακες).

Οι ναφθενικοί υδρογονάνθρακες είναι χημικά λιγότερο σταθεροί από τους παραφινικούς αλλά είναι περισσότερο θερμικά σταθεροί.

• Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες

Ως αρωματικοί υδρογονάνθρακες ορίζονται εκείνοι από τους κυκλικούς που περιέχουν στο μόριο τους ένα τουλάχιστο εξαμελή δακτύλιο ατόμων άνθρακα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με σύστημα εναλλασσόμενων διπλών και απλών δεσμών.

Η τάξη αυτή των υδρογονανθράκων περιλαμβάνει ως πρωταρχική ουσία το βενζόλιο C_6H_6 , που έχει τον παρακάτω τύπο:



Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες με κυκλικούς σχηματισμούς έχουν λιγότερα άτομα υδρογόνου και για το λόγο αυτό η πυκνότητά τους είναι μεγαλύτερη από τους ναφθενικούς και παραφινικούς υδρογονάνθρακες.

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι θερμικά σταθεροί, δεν αναφλέγονται εύκολα και έτσι δεν αποτελούν κατάλληλο συστατικό για τα καύσιμα των μηχανών diesel. Ως συστατικά της βενζίνης έχουν πολύ καλή αντικροτική ικανότητα, δηλαδή μεγάλο αριθμό οκτανίου αλλά προκαλούν έντονη ρύπανση.

ΘΕΙΟ

Η περιεκτικότητα σε θείο είναι μια σημαντική ιδιότητα τόσο του αργού πετρελαίου, όσο και των προϊόντων του. Και αυτό διότι η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο έχει άμεση σχέση με τη ρύπανση του περιβάλλοντος και με τη διάβρωση και τη φθορά των νηξελοκινητήρων. Το αργό πετρέλαιο δεν περιέχει θείο σε ελεύθερη μορφή αλλά υπό μορφή χημικών ενώσεων (θείο χημικά ενωμένο με τους υδρογονάνθρακες) π.χ. οι мерκαπτάνες.

Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε θείο ενός αργού πετρελαίου, τόσο χαμηλότερη είναι η τιμή του. Απομακρύνεται κατά τις διάφορες φάσεις επεξεργασίας σε βαθμό που ποικίλλει ανάλογα με το τελικό προϊόν.

ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Είναι άλατα ή άλλες ενώσεις διαφόρων μετάλλων, όπως νατρίου, σιδήρου, βαναδίου κ.λ.π. που περιέχονται στο πετρελαιοφόρο κοίτασμα και επιδρούν

στην τέφρα των καυσίμων. Τα μέταλλα αυτά προκαλούν φθορά σε ορισμένα εξαρτήματα της μηχανής και ανεβάζουν το κόστος συντήρησης.

ΟΞΥΓΟΝΟ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟ

Περιέχονται σε ελάχιστη αναλογία και η παρουσία τους εξηγείται από την οργανική προέλευση του πετρελαίου.

B. Κατηγορίες Αργού Πετρελαίου

Η κατάταξη του αργού πετρελαίου σε κατηγορίες γίνεται με βάση την περιεκτικότητα σε παραφίνη και άσφαλτο. Με τον όρο παραφίνη, εννοούνται οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους με κρυσταλλική υφή, και με χρώμα παραπλήσιο προς το λευκό. Με τον όρο άσφαλτο εννοούνται μη κρυσταλλικές στερεές ή ημιστερεές ενώσεις με χρώμα μαύρο ή καστανόμαυρο, που αποτελούνται κύρια από πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και οξειδωμένους υδρογονάνθρακες.

Οι κατηγορίες του αργού πετρελαίου είναι:

α. Πετρέλαια παραφινικής βάσης. Τα πετρέλαια αυτά χαρακτηρίζονται από μικρή πυκνότητα, περιέχουν παραφίνη και ελάχιστη ή καθόλου άσφαλτο. Αποτελούνται κύρια από παραφινικούς υδρογονάνθρακες με μικρή αναλογία ναφθενικών και ασήμαντη αρωματικών υδρογονανθράκων. Αποδίδουν μεγάλο ποσοστό λιπαντικών και είναι κατάλληλα για πετρελαιομηχανές επειδή αναφλέγονται εύκολα.

β. Πετρέλαια ασφαλτικής βάσης ή ναφθενικά. Τα πετρέλαια αυτά χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα, περιέχουν άσφαλτο και ελάχιστη ή καθόλου παραφίνη. Αποτελούνται κύρια από ναφθενικούς υδρογονάνθρακες, αρκετούς αρωματικούς και λίγους παραφινικούς. Αποδίδουν μικρό ποσοστό λιπαντικών και είναι κατάλληλα για βενζινομηχανές.

γ. Πετρέλαια μικτής βάσης. Έχουν ενδιάμεσες ιδιότητες και περιέχουν άσφαλτο και παραφίνη. Σε ποσοστό 90% περίπου, τα πετρέλαια είναι μικτής βάσης. Υπάρχουν και σπάνιες περιπτώσεις στις οποίες τα πετρέλαια δεν περιέχουν ούτε άσφαλτο ούτε παραφίνη, αλλά αφήνουν υπόλειμμα που αποτελείται από ρητινούχες ουσίες.

Γ. Ιδιότητες Αργού Πετρελαίου

Το αργό πετρέλαιο είναι ελαιώδες υγρό αδιάλυτο στο νερό με ιδιάζουσα οσμή, και το χρώμα του κυμαίνεται από ανοικτό αχυρόχρωμο μέχρι εντελώς μαύρο.

Το χρώμα βρίσκεται με οπτική εκτίμηση και εξαρτάται από το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχει το αργό πετρέλαιο καθώς και από την παρουσία αζωτούχων και θειούχων ενώσεων. Τα περισσότερα είδη του αργού πετρελαίου έχουν χρώμα σχεδόν μαύρο.

Η πυκνότητα του αργού πετρελαίου μετριέται σε χαμηλή θερμοκρασία (για να αποφευχθεί η εξάτμιση των ελαφρών υδρογονανθράκων) και ανάγεται στην πρότυπη θερμοκρασία των 15 °C. Η πυκνότητα του αργού πετρελαίου κυμαίνεται από 780 μέχρι 1000 kg/m³. Μεγάλη περιεκτικότητα σε βαρείς υδρογονάνθρακες, ναφθενικούς ή αρωματικούς, σημαίνει πετρέλαιο υψηλής πυκνότητας ενώ μεγάλη περιεκτικότητα σε ελαφρούς υδρογονάνθρακες σημαίνει πετρέλαιο χαμηλής πυκνότητας.

Η τάση ατμών ενός αργού πετρελαίου εξαρτάται από την περιεκτικότητα του πετρελαίου σε ελαφρούς υδρογονάνθρακες και μας ενδιαφέρει για λόγους ασφαλείας κατά την αποθήκευση και διακίνηση του. Για λόγους ασφαλείας, όλοι οι τύποι αργού πετρελαίου κατατάσσονται στην κατηγορία των πιο εύφλεκτων υγρών, μαζί με τις βενζίνες.

Το αργό πετρέλαιο ανάλογα με την κατηγορία του μπορεί να έχει από πολύ χαμηλό ιξώδες μέχρι πολύ υψηλό. Επίσης όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε παραφίνη, τόσο υψηλότερο είναι το σημείο ροής του.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Η απόσταξη αποτελεί τη βασική διεργασία με την οποία γίνεται ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε προϊόντα (βλ.Κεφ.2). Η χημική σύνθεση των υδρογονανθράκων του αργού πετρελαίου επηρεάζει και ευθύνεται για τα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων της απόσταξης (π.χ. βενζίνη, diesel, μαζούτ) ενώ καθορίζει και τον τελικό τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνει η επεξεργασία του αργού πετρελαίου.

Οι παραφίνες αποτελούν την κατηγορία υδρογονανθράκων με τα περισσότερα πλεονεκτήματα, αφού καίγονται χωρίς καπνό και έχουν μεγάλη θερμογόνο δύναμη. Μειονεκτούν στο σημείο ότι παγώνουν εύκολα, εμφανίζοντας υψηλό σημείο πήξης.

Τα ναφθένια παρουσιάζουν τα ίδια πλεονεκτήματα με τις παραφίνες με ελαφρά χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη, αλλά και σημαντικά χαμηλότερα σημεία πήξης.

Οι ολεφίνες είναι ανεπιθύμητες επειδή έχουν χαμηλή θερμική σταθερότητα και παρουσιάζουν τάση πολυμερισμού και συμπύκνωσης, αλλάζοντας τις ιδιότητες του καυσίμου.

Τα αρωματικά είναι ανεπιθύμητα επειδή έχουν υψηλή τάση για σχηματισμό εξανθρακωμάτων και καίγονται με έμφαση καπνού. Επίσης από τους

αρωματικούς υδρογονάνθρακες του καυσίμου παρουσιάζονται προβλήματα φθοράς των ελαστικών παρεμβυσμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται το πώς μεταβάλλονται οι κυριότερες ιδιότητες των καυσίμων από την χημική σύνθεση των υδρογονανθράκων:

<u>Παραφίνες:</u>	Υψηλός αριθμός κετανίου Βελτιώνουν την ποιότητα ανάφλεξης Χαμηλή πυκνότητα Υψηλή ειδική ενέργεια Λίγη τάση για μαύρη κάπνα Υψηλό σημείο ροής Προκαλούν διατάραξη της σταθερότητας του καυσίμου
Ισοπαραφίνες:	Ενδιάμεσος αριθμός κετανίου Αρνητική επίδραση στην ανάφλεξη Χαμηλό σημείο ροής Άλλες ιδιότητες, ίδιες με τις παραφίνες
Ναφθένες:	Χαμηλός αριθμός κετανίου Κάπως υψηλότερη πυκνότητα Κάπως υψηλή ειδική ενέργεια Χαμηλό σημείο ροής
<u>Αρωματικοί:</u>	Χαμηλός αριθμός κετανίου Υψηλή πυκνότητα Βελτιώνουν την σταθερότητα Υψηλή κάπνα Χαμηλό σημείο ροής
Ολεφίνες:	Παρόμοιες με τις ισοπαραφίνες Λίγο περισσότερη κάπνα

1-4 Αέρια Καύσιμα

Τα αέρια καύσιμα αποτελούν την πιο καθαρότερη και πιο εύχρηστη πηγή ενέργειας από όλα τα συμβατικά καύσιμα. Η χρήση τους είναι ευρεία και

κυρίως χρησιμοποιούνται για οικιακή χρήση (θέρμανση, μαγείρεμα, παροχή ζεστού νερού) αλλά και ως εναλλακτικά καύσιμα των ΜΕΚ.

Τα αέρια καύσιμα αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες με 1-4 άτομα άνθρακα, CO₂, O₂, N₂ κ.λ.π. Ανάλογα με τη προσέλευσή τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- *Φυσικά Αέρια*. Τα αέρια αυτά όπως προκύπτει και από το όνομά τους προέρχονται από κοιτάσματα που βρίσκονται στο έδαφος και διακρίνονται σε:
 - α. Ξηρά (Dry Gas)
 - β. Συμπυκνώματα (Condensates)
 - γ. Συμπαράγόμενα με το πετρέλαιο (Associated Gas)
 - δ. Υγραέριο (LPG-Liquefied Petroleum Gases)

- *Συνθετικά Αέρια*. Τα αέρια αυτά παρασκευάζονται από στερεά ή υγρά καύσιμα με αεριοποίηση τους. Διακρίνονται σε:
 - α. Αέριο Σύνθεσης (Synthesis Gas)
 - β. Φωταέριο - Αέριο Πόλης (Town Gas)
 - γ. Συνθετικό Φυσικό Αέριο (Synthetic Natural Gas)

Κεφάλαιο Δεύτερο

Διαχωρισμός Αργού Πετρελαίου

2-1 Εισαγωγή

Το αργό πετρέλαιο παρά το γεγονός ότι είναι καύσιμο, χρησιμοποιείται αφού υποβληθεί σε διύλιση. Με τον όρο διύλιση εννοούνται:

- Ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε προϊόντα με φυσικές διεργασίες διαχωρισμού (διαχωρισμός υδρογονανθράκων)
- Η παρασκευή νέων προϊόντων με διεργασίες χημικής μετατροπής (μετατροπή υδρογονανθράκων)
- Ο εξευγενισμός των τελικών προϊόντων με τις τελικές κατεργασίες
- Η διαμόρφωση του τελικού προϊόντος που μπορεί να απαιτεί και άλλες διεργασίες όπως ανάμιξη, γαλακτωματοποίηση, κ.λ.π

Ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε προϊόντα, που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα, ως λιπαντικά και ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία, βασίζεται στην απόσταξη του πετρελαίου σε κλάσματα συγκεκριμένων θερμοκρασιακών περιοχών. Η σύσταση των προϊόντων εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθαν. Μια ένδειξη της σύστασης των προϊόντων, ανάλογα με τον τύπο του αργού πετρελαίου φαίνεται στον Πίνακα 2-1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1

Σύσταση Προϊόντων Πετρελαίου

Κλάσμα	Αργό Παραφινικής Βάσης			Αργό Ασφαλτικής Βάσης		
	Παραφίνες	Ναφθένες	Αρωματικά	Παραφίνες	Ναφθένες	Αρωματικά
Νάφθα	65	30	5	35	55	10
Κηροζίνη	60	30	10	25	50	25
Gasoil	35	50	15	15	45	40

2-2 Κατάταξη Διωλιστηριακών Διεργασιών

Οι διωλιστηριακές διεργασίες κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Φυσικές Διεργασίες Διαχωρισμού
- Διεργασίες Χημικής Μετατροπής

- Διεργασίες Επεξεργασίας
- Διεργασίες Ανάμιξης

2-3 Φυσικές Διεργασίες Διαχωρισμού

Οι φυσικές διεργασίες διαχωρισμού αποτελούν τις απλούστερες διεργασίες που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε προϊόντα. Με τις φυσικές διεργασίες διαχωρισμού δεν μεταβάλλεται το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχονται στο πετρέλαιο, αλλά απλά κλασματώνονται σε ομάδες με παραπλήσιο σημείο ζέσης. Οι σπουδαιότερες διεργασίες στην κατηγορία αυτή είναι η ατμοσφαιρική απόσταξη και η απόσταξη υπό κενό.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

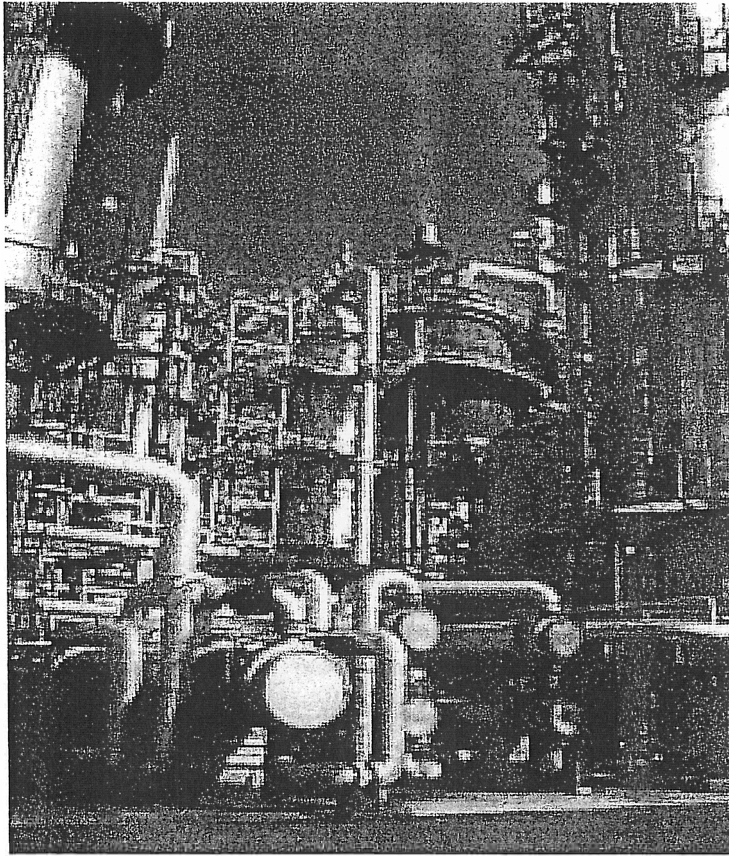
Η πρώτη και βασική κατεργασία, που γίνεται στα διυλιστήρια του πετρελαίου είναι η ατμοσφαιρική απόσταξη ή κλασματική απόσταξη. Με την ατμοσφαιρική απόσταξη χωρίζονται τα κλάσματα του πετρελαίου ανάλογα με το σημείο ζέσης τους. Ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου με την ατμοσφαιρική απόσταξη στηρίζεται στην αρχή, σύμφωνα με την οποία η αέρια φάση έχει μεγαλύτερη αναλογία σε πτητικά συστατικά από την υγρή φάση.

Το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται στους 350 °C και στη συνέχεια εισάγεται, με το μεγαλύτερο μέρος του σε μορφή ατμών, στη στήλη της κλασματικής απόσταξης, λίγο κάτω από το μέσο της. Το σημείο αυτό διαχωρίζει την στήλη σε δύο τμήματα. Το πάνω μέρος αποτελεί το τμήμα διύλισης και το κάτω μέρος το τμήμα απογύμνωσης. Μέσα στη στήλη (ο υψηλός πύργος στις εγκαταστάσεις των διυλιστηρίων) υπάρχουν οριζόντιοι δίσκοι. Οι ατμοί του πετρελαίου όπως ανεβαίνουν μέσα στη στήλη ψύχονται και ένα μέρος τους υγροποιείται, ανάλογα με το σημείο ζέσης του προϊόντος, στους χαμηλούς ή υψηλούς δίσκους μέχρι αυτοί να υπερχειλίσουν. Σε κάθε δίσκο τα πτητικά συστατικά μεταφέρονται από το υγρό προς τους ατμούς και τα λιγότερα πτητικά από τους ατμούς προς το υγρό. Η αέρια φάση (ο ατμός) όπως ανέρχεται θα συναντήσει σε ανώτερο δίσκο υγρό με μεγαλύτερη αναλογία σε πτητικά συστατικά από εκείνο του προηγούμενου δίσκου. Στον ανώτερο δίσκο θα έχουμε υγροποίηση των βαρύτερων συστατικών, ενώ η λανθάνουσα θερμότητα από την υγροποίηση προκαλεί εξάτμιση των πιο πτητικών συστατικών, δηλαδή μεγαλύτερη αύξηση της αναλογίας του ατμού σε πτητικά συστατικά. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι σε κάθε δίσκο οι ατμοί εμπλουτίζονται σε πτητικά συστατικά ενώ το υγρό σε λιγότερα πτητικά συστατικά.

Στην απομάκρυνση των πτητικών συστατικών από τα βαρύτερα βοηθάει και ο υπέρθερμος ατμός που εισάγεται στο κάτω μέρος της στήλης. Με αυτό τον τρόπο αυξάνει η καθαρότητα του προϊόντος και τα πιο πτητικά συστατικά

συγκεντρώνονται στο πάνω μέρος της στήλης.

Τα πιο πτητικά συστατικά, δηλαδή τα αέρια ή νάφθα εξέρχονται από την κορυφή της αποστακτικής στήλης. Το προϊόν της κορυφής ψύχεται σε συμπυκνωτές. Μαζί με τους βαρύτερους υδρογονάνθρακες του προϊόντος κορυφής συμπυκνώνεται και ο υδρατμός που χρησιμοποιείται για την απογύμνωση του υπολείμματος (το νερό αυτό απομακρύνεται από το δοχείο συλλογής του προϊόντος κορυφής). Μέρος του συμπυκνώματος (νάφθα) εισάγεται ξανά στην κορυφή της αποστακτικής στήλης ως αναρροή για να εξασφαλίσει την συνεχή ροή του υγρού από την κορυφή προς τον πυθμένα. Τα υπόλοιπα αποστάγματα παίρνονται ως πλευρικά κλάσματα από την ατμοσφαιρική στήλη.



Μερική Άποψη Δωλιστηρίου Πετρελαίου

Η βάση της αποστακτικής στήλης διατηρείται στην επιθυμητή θερμοκρασία με αναθέρμανση μέρος του υπολείμματος το οποίο εισάγεται ξανά στην αποστακτική στήλη. Η απαραίτητη ροή ατμών από τον πυθμένα προς την κορυφή της αποστακτικής στήλης εξασφαλίζεται με την εισαγωγή ατμού στον

πυθμένα της στήλης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας της αποστακτικής στήλης γίνεται με την αναθέρμανση του πυθμένα και με την αναρροή. Επίσης επειδή το αργό πετρέλαιο περιέχει και μικρή ποσότητα θαλασσινού νερού πριν την απόσταξη γίνεται η αφαλάτωση του αργού πετρελαίου.

Για να βελτιωθεί η κλασμάτωση του αργού πετρελαίου σε προϊόντα, κάθε πλευρικό κλάσμα υφίσταται και άλλη κλασμάτωση σε μικρότερη αποστακτική στήλη, που ονομάζεται απογυμνωτής. Σε αυτές τις μικρές στήλες, που είναι παράπλευρες προς την κεντρική στήλη, γίνεται η "απογύμνωση", δηλαδή η λήψη κλασμάτων απαλλαγμένων από ελαφρά συστατικά, που επιστρέφουν στην μεγάλη στήλη (βλ.Σχ.2-1).

Τα πρωτογενή (καθαρά) τελικά προϊόντα της ατμοσφαιρικής απόσταξης που κυκλοφορούν στην Ελληνική αγορά είναι:

- Υγραέρια (LPG)
- Βενζίνη
- Καύσιμα Αεριοθουμένων
- Φωτιστικό Πετρέλαιο
- Πετρέλαιο Diesel
- Μαζούτ Νο. 1 (Ελαφρύ), Νο. 3 (Βαρύ)

Τα υπολείμματα που απομένουν από την ατμοσφαιρική απόσταξη στην συνέχεια, για να αυξηθεί η παραγωγή των αποσταγμάτων, οδηγούνται στην απόσταξη υπό κενό, (vacuum pipe still). Επίσης χρησιμοποιούνται και για την τροφοδοσία των μονάδων πυρόλυσης (cracking).

ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΥΠΟ ΚΕΝΟ

Η απόσταξη υπό κενό χρησιμοποιείται για την επεξεργασία βαρέων προϊόντων με υψηλά σημεία ζέσης (πάνω από 370 °C) υπό ατμοσφαιρική πίεση, που στις θερμοκρασίες αυτές πυρολύονται πριν επιτευχθεί η εξάτμιση και ο διαχωρισμός τους. Υπό κενό μειώνεται το σημείο ζέσης των συστατικών και έτσι είναι δυνατός ο διαχωρισμός τους σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Τα προϊόντα αυτής της διεργασίας, που δεν είναι πρωτογενή (straight run), είναι τα λεγόμενα gasoil κενού (vacuum gasoil) και ένα πολύ βαρύ υπόλειμμα (βλ.Σχ.2-1). Τα vacuum gasoil χρησιμοποιούνται είτε για παραγωγή λιπαντικών είτε ως τροφοδοτική ύλη της καταλυτικής πυρόλυσης. Το υπόλειμμα επειδή είναι πολύ βαρύ, οδηγείται συνήθως σε μονάδες ιξωδόλυσης, ή αναμιγνύεται με ελαφρύτερα συστατικά για να πουληθεί ως μαζούτ.

Η πίεση στην απόσταξη υπό κενό, κυμαίνεται από τα 40 mm Hg όταν ενδιαφέρει η παραγωγή προϊόντων για τροφοδοσία μονάδων πυρόλυσης, μέχρι τα 120 mm Hg, όταν ενδιαφέρει η παρασκευή λιπαντικών. Οι αντίστοιχες

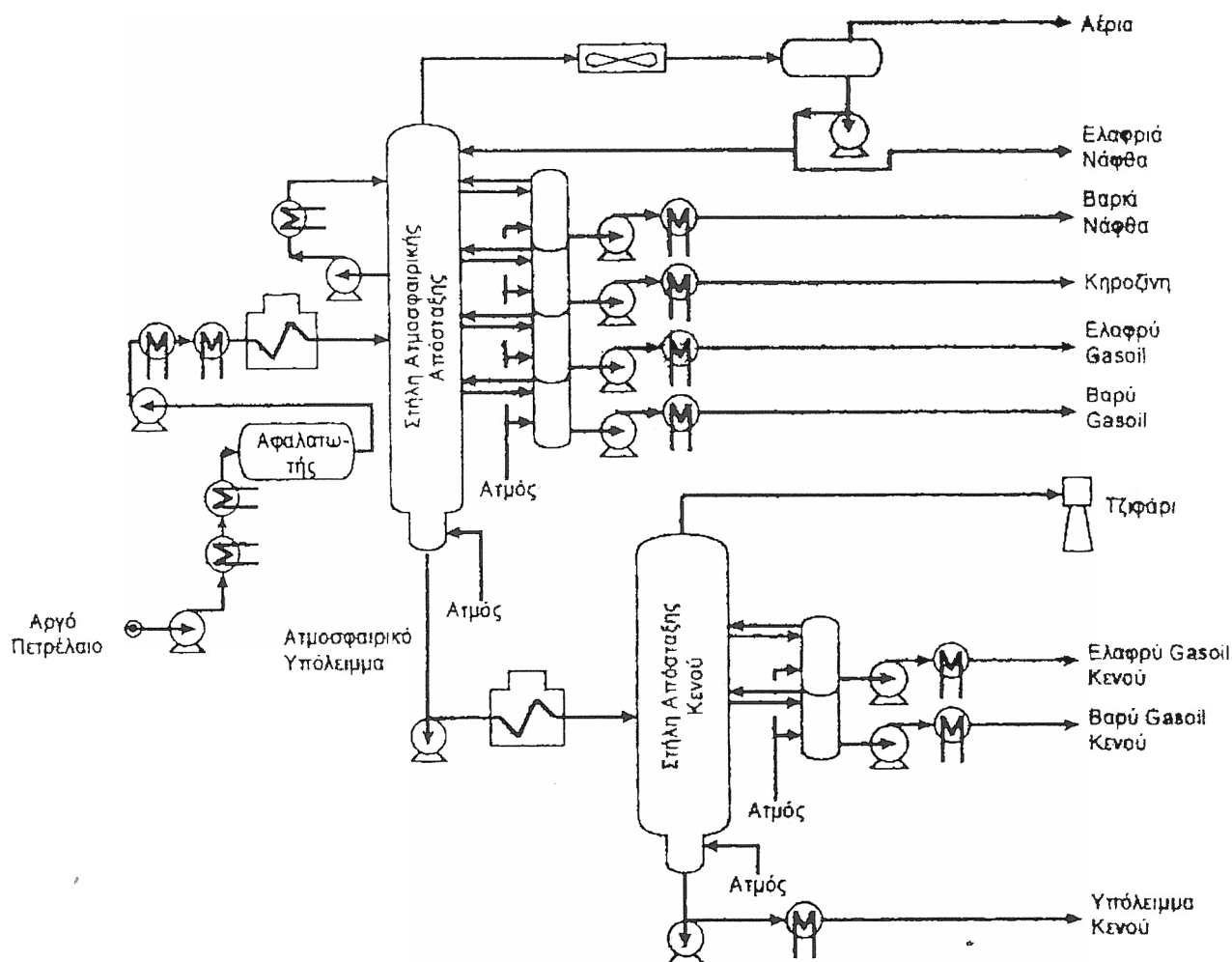
θερμοκρασίες είναι 450 °C και 400 °C. Η απόσταξη υπό κενό, όπως και η κλασματική απόσταξη, υποβοηθάτε από την εισαγωγή ατμού.

Στον Πίνακα 2-2 δίδονται τα σπουδαιότερα προϊόντα που προκύπτουν από το διαχωρισμό του αργού πετρελαίου και στο Σχ.2-1 φαίνεται ένα διάγραμμα μίας μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου σε συνδυασμό με μία μονάδα απόσταξης υπό κενό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2

Θερμοκρασιακές Περιοχές Κλασμάτων Αργού Πετρελαίου

Προϊόν	Περιοχή Ζέσης (°C)	Χρήσεις
Ελαφρά Αέρια CH ₄ , C ₂ H ₆	-162, - 42	Καύσιμο διυλιστηρίου, πετροχημικά
Προπάνιο	-32	Υγραέρια, πετροχημικά
Βουτάνιο	-12 - 0	Υγραέρια, πετροχημικά, βενζίνη
Ελαφριά Νάφθα	25 - 130	Βενζίνη, διαλύτες
Βαριά Νάφθα	80 - 200	Βενζίνη, διαλύτες καύσιμα αεροπορίας
Κηροζίνη	150 - 275	Καύσιμα αεροπορίας, διαλύτες
Ελαφρύ Gasoil	200 - 320	Diesel κίνησης, πετρέλαιο θέρμανσης
Βαρύ Gasoil	260 - 400	Diesel κίνησης, πετρέλαιο θέρμανσης
Gasoil Κενού	400 - 600	Τροφοδοσία μονάδων πυρόλυσης, λιπαντικά
Ατμοσφαιρικό Υπόλειμμα	400	Μαζούτ (fuel oil), τροφοδοσία απόσταξης υπό κενό, πυρόλυσης
Υπόλειμμα Κενού	600	Μαζούτ, άσφαλτος



Σχ. 2-1 Διάγραμμα Μονάδας Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Απόσταξης Υπό Κενό

2-4 Διεργασίες Χημικής Μετατροπής

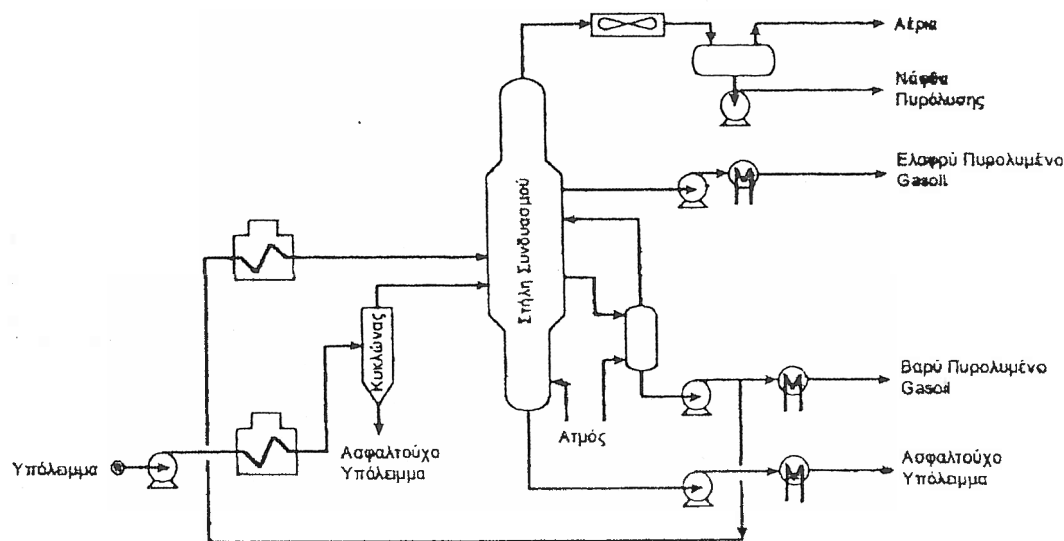
Μετά την διύλιση γίνονται ορισμένες διεργασίες με τις οποίες επιδιώκονται η βελτίωση των προϊόντων της αρχικής απόσταξης και η μετατροπή των αρχικών προϊόντων σε άλλα, με αλλαγή των μορίων του καυσίμου που κατεργάζονται, ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς. Οι σπουδαιότερες κατεργασίες στην κατηγορία αυτή είναι:

ΠΥΡΟΛΥΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ.

Οι πυρολυτικές διεργασίες, με τις οποίες επιτυγχάνεται μείωση της ανθρακικής αλυσίδας, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις θερμικές και στις καταλυτικές.

• Θερμική Πυρόλυση

Η *θερμική πυρόλυση (thermal cracking)* αποτελεί την πρώτη διεργασία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της απόδοσης του αργού πετρελαίου σε λευκά προϊόντα. Με τη θερμική πυρόλυση, το υπόλειμμα της απόσταξης θερμαίνεται στους 450-500 °C, κάτω από υψηλή σχετικά πίεση (15 atm). Κατά τη θέρμανση αυτή τα μεγάλα μόρια των υδρογονανθράκων γίνονται ασταθή και επέρχεται η διάσπαση των μεγαλομορίων του υπολείμματος σε μικρότερα μόρια, που έχουν σημεία ζέσης στην περιοχή της βενζίνης και του diesel. Τα προϊόντα της πυρόλυσης είναι αέρια, νάφθα, ελαφρύ και βαρύ gasoil και ένα βαρύ

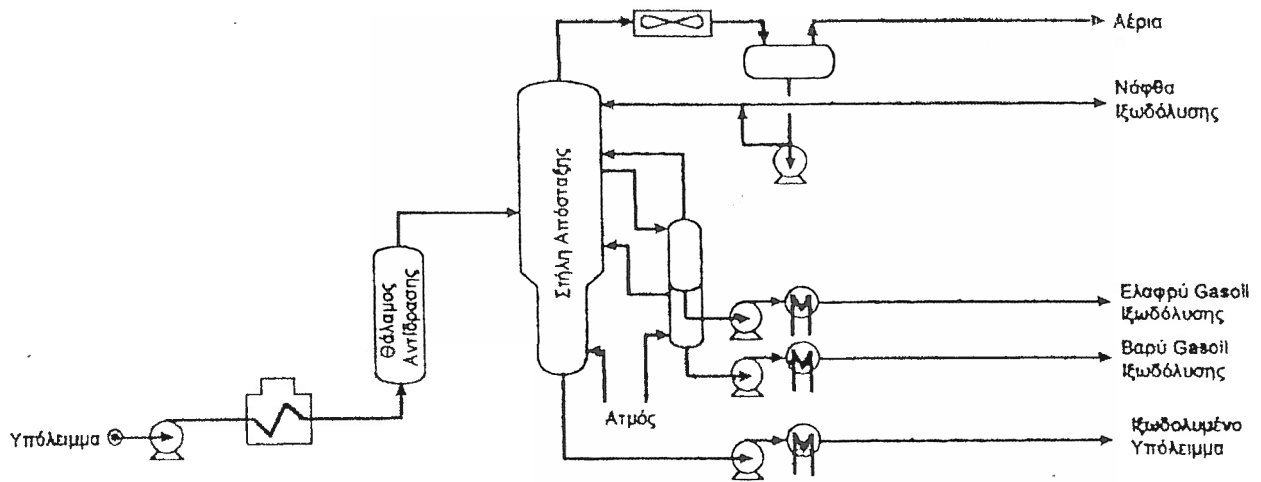


Σχ. 2-2 Τυπικό Διάγραμμα Θερμικής Πυρόλυσης

ασφαλτούχο υπόλειμμα (βλ.Σχ.2-2). Το βαρύ gasoil θερμαίνεται και επανατροφοδοτείται στη στήλη κλασμάτωσης. Τα προϊόντα της θερμικής πυρόλυσης θεωρούνται χαμηλής ποιότητας διότι περιέχουν σε υψηλή περιεκτικότητα ολεφίνες οι οποίες είναι ασταθείς με συνέπεια να αλλοιώνουν την ποιότητα του καυσίμου.

- Ιξωδόλυση

Η *ιξωδόλυση (Vis Breaking)* είναι μια διεργασία θερμικής πυρόλυσης η οποία γίνεται για να μειώσει το ιξώδες των βαρέων υπολειμμάτων είτε της ατμοσφαιρικής απόσταξης είτε της απόσταξης υπό κενό. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται η ποσότητα των μέσων αποσταγμάτων που πρέπει να αναμιχθούν με τα βαρέα υπολείμματα για την παραγωγή καυσίμων (μαζούτ κ.λ.π.) που να πληρούν τις προδιαγραφές της αγοράς.



Σχ. 2-3 Τυπικό Διάγραμμα Ιξωδόλυσης

Οι συνθήκες λειτουργίας είναι θερμοκρασίες γύρω στους 500 °C και πίεση περίπου 20 atm. Τα προϊόντα της ιξωδόλυσης είναι αέρια, νάφθα, ελαφρύ και βαρύ gasoil και ένα βαρύ υπόλειμμα (βλ. Σχ. 2-3). Τα ελαφρά προϊόντα της ιξωδόλυσης είναι χαμηλής ποιότητας εξαιτίας της ύπαρξης των ολεφινών.

- Εξανθράκωση

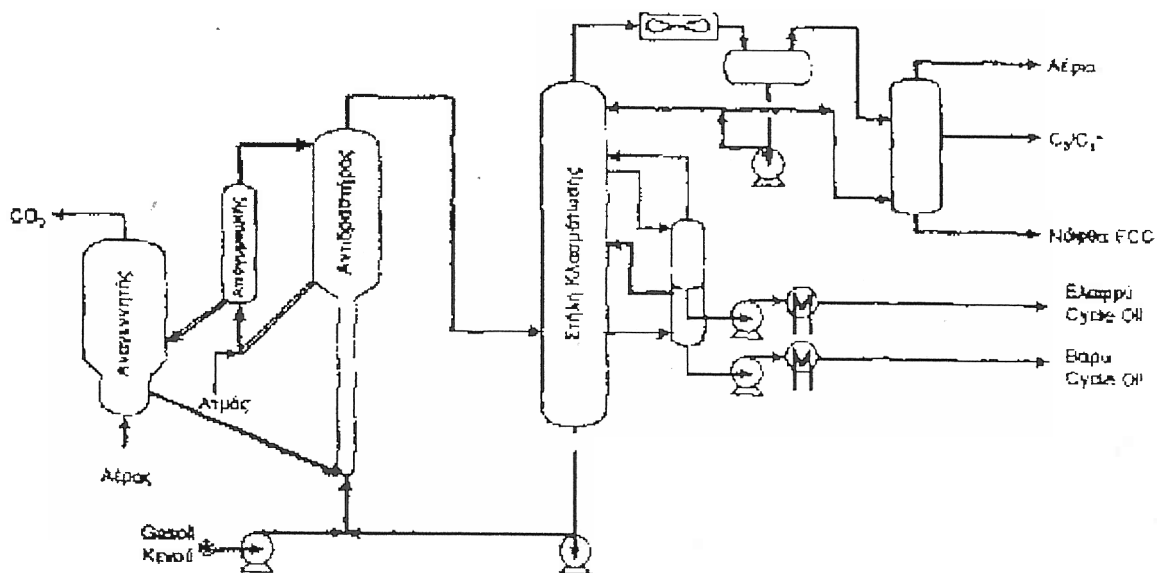
Η εξανθράκωση είναι επίσης μια διεργασία θερμικής πυρόλυσης που μετατρέπει τα υπολείμματα της απόσταξης σε λευκά προϊόντα και κωκ. Η θερμοκρασία της εξανθράκωσης είναι 500 °C περίπου και η πίεση από 1 μέχρι 7 atm. Η παραγωγή σε προϊόντα κυμαίνεται ανάλογα με το είδος της τροφοδοσίας και είναι 7-10 % αέρια, 9-20 % νάφθα, 42-51 % gasoil (ελαφρύ και βαρύ) και 25-40 % κώκ. Τα ελαφρά προϊόντα εξανθράκωσης ως προϊόντα θερμικής πυρόλυσης είναι χαμηλής ποιότητας διότι περιέχουν ολεφίνες.

• Καταλυτική Πυρόλυση

Η καταλυτική πυρόλυση διαφέρει από την θερμική διότι στον θάλαμο της αντίδρασης τοποθετούνται καταλύτες και η αντίδραση επιτυγχάνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες με καλύτερη απόδοση. Η χρήση καταλύτη δεν επιτρέπει την τροφοδοσία υπολείμματος που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων που τον απενεργοποιούν. Έτσι ως τροφοδοσία χρησιμοποιείται είτε gasoil κενού είτε gasoil ατμοσφαιρικής απόσταξης.

Ο καταλύτης της αντίδρασης αποτελείται από μίγμα αργιλοπυριτικών ενώσεων (Al_2O_3 και SiO_2) ενεργοποιημένο με οξύ. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι $500\text{ }^\circ\text{C}$, ενώ η πίεση 2 με 3 atm. Από την καταλυτική πυρόλυση τα προϊόντα που προκύπτουν είναι αέρια, νάφθα, ελαφρύ και βαρύ cycle oil (βλ. Σχ.2-4).

Τα προϊόντα της καταλυτικής πυρόλυσης είναι πιο σταθερά καθώς η ύπαρξη καταλύτη δεν ευνοεί τον σχηματισμό των ολεφινών. Το ελαφρύ cycle oil που παράγεται κατά την καταλυτική πυρόλυση έχει σημεία ζέσης παραπλήσια με του diesel. Η χρήση του όμως ως diesel είναι προβληματική γιατί έχει υψηλή περιεκτικότητα σε αρωματικά και πολύ χαμηλό αριθμό κετανίου. Για αυτό και είναι προτιμότερο το ελαφρύ cycle oil να χρησιμοποιείται μαζί με το βαρύ cycle oil για την παρασκευή μαζούτ.



Σχ. 2-4 Τυπικό Διάγραμμα Καταλυτικής Πυρόλυσης

• Υδρονοπυρόλυση

Η υδρογονοπυρόλυση είναι επίσης μια καταλυτική πυρόλυση αλλά χρειάζεται και υδρογόνο για να πραγματοποιηθεί καθώς περιλαμβάνει και αντιδράσεις υδρογόνωσης (αύξηση του υδρογόνου). Με την υδρογονοπυρόλυση μετατρέπονται τα βαριά αρωματικά προϊόντα σε ελαφρύτερα κορεσμένα. Η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ $400\text{-}450\text{ }^\circ\text{C}$ και η πίεση από 70 μέχρι 200 atm. Επίσης η παρουσία καταλύτη και υδρογόνου μετατρέπει τις ολεφίνες σε παραφίνες και έτσι συμβάλλει στην σταθερότητα των προϊόντων.

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΟΡΙΩΝ

Κατά τον συνδυασμό μορίων δύο ή περισσότερα μόρια συνδυάζονται και σχηματίζουν μεγαλύτερα. Με αυτόν τον τρόπο τα αέρια μπορούν να μετατραπούν σε υγρά και να προστεθούν στη βενζίνη και στα άλλα υγρά καύσιμα. Στην κατηγορία αυτή οι κυριότερες διεργασίες είναι:

- **Αλκυλίωση**

Η *αλκυλίωση* είναι καταλυτική διεργασία χημικής μετατροπής, το αντίθετο της πυρόλυσης, που παράγει προϊόν υψηλού αριθμού οκτανίου από ισοβουτάνιο και ελαφρές ολεφίνες. Οι ολεφίνες προέρχονται από μονάδες καταλυτικής πυρόλυσης και είναι συνήθως μίγματα προπενίων και βουτενίων. Με τη μέθοδο αυτή μετατρέπονται οι ολεφίνες, που έχουν έντονη τάση προς πολυμερισμό, σε υψηλής αντικροτικότητας συστατικά. Χρησιμοποιούνται υψηλές πιέσεις γύρω στις 200 atm ενώ η θερμοκρασία είναι χαμηλή και κυμαίνεται μεταξύ 5-50 °C.

- **Πολυμερισμός**

Ο *πολυμερισμός*, με τον οποίο επιτυγχάνεται αύξηση της ανθρακικής αλυσίδας, αποτελεί διεργασία κατά την οποία παράγεται βενζίνη από ελαφρές αέριες ολεφίνες.

- **Ισομερείωση**

Η *ισομερείωση* είναι μια καταλυτική διεργασία που μετατρέπει τις παραφίνες με ευθεία άλυσσο σε υψηλότερου αριθμού οκτανίου διακλαδισμένες παραφίνες. Η τροφοδοσία των μονάδων ισομερισμού είναι κανονικό βουτάνιο, κανονικό πεντάνιο, κανονικό εξάνιο από τα οποία παράγονται ισοπαραφίνες. Με τη διεργασία αυτή παράγεται προϊόν υψηλής αντικροτικής ικανότητας που δεν περιέχει καθόλου αρωματικές ενώσεις. Χρησιμοποιούνται πιέσεις γύρω στις 20 atm ενώ η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 180- 400 °C.

- **Αναμόρφωση**

Τα βαριά συστατικά της νάφθας που παράγονται με ατμοσφαιρική απόσταξη έχουν συνήθως χαμηλό αριθμό οκτανίου, γιατί περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό παραφινικές ενώσεις. Η *αναμόρφωση* είναι μια καταλυτική διεργασία που μετατρέπει τις παραφίνες και τα ναφθένια σε αρωματικά (προϊόντα υψηλού αριθμού οκτανίου). Για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις κυκλοποίησης και αφυδρογόνωσης οι πιέσεις πρέπει να είναι της τάξης των 10-20 atm και η

θερμοκρασία περίπου 500 °C. Εκτός από αναμόρφωμα υψηλού αριθμού οκτανίου παράγεται υδρογόνο και υγραέρια. Επειδή τα ελαφρά συστατικά της νάφθας (30-120 °C) αναμορφώνονται δύσκολα, η νάφθα κλασμάτωναται σε ελαφριά και βαριά και αναμορφώνεται μόνο η βαριά.

2-5 Διεργασίες Επεξεργασίας

Οι διεργασίες επεξεργασίας έχουν στόχο τον εξευγενισμό των τελικών προϊόντων. Οι σπουδαιότερες διεργασίες στην κατηγορία αυτή είναι:

ΓΛΥΚΑΝΣΗ

Οι διεργασίες γλύκανσης ανήκουν στις κατεργασίες που έχουν σκοπό τον εξευγενισμό του τελικού προϊόντος. Η διεργασίες γλύκανσης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των θειούχων ενώσεων (μερκαπτάνες) που περιέχονται στο αργό πετρέλαιο και στα προϊόντα του. Οι μερκαπτάνες που βρίσκονται στα ελαφριά προϊόντα (βενζίνη και κηροζίνη) είναι ανεπιθύμητες επειδή είναι δύσοσμες και διαβρωτικές.

ΥΔΡΟΓΟΝΟΑΠΟΘΕΙΩΣΗ

Επειδή οι περισσότεροι τύποι αργού πετρελαίου δίνουν gasoil με περιεκτικότητα σε θείο μεγαλύτερη από αυτή που θέτουν οι προδιαγραφές, κρίνεται σκόπιμο η υδρογονοαποθείωση τους. Ταυτόχρονα με την αποθείωση γίνεται και απαζώτωση, που βελτιώνει το χρώμα και την οσμή του καυσίμου.

2-6 Διεργασίες Ανάμιξης

Πρόκειται για διεργασίες ανάμιξης των διαφόρων προϊόντων, μεταξύ τους και με βελτιωτικά για να προκύψουν τα τελικά προϊόντα.

Η ανάμιξη των καυσίμων δεν είναι απλή διεργασία καθώς οι περισσότερες από τις βασικές ιδιότητες των καυσίμων δεν ακολουθούν γραμμικές σχέσεις ανάμιξης. Η πολυπλοκότητα της ανάμιξης αυξάνει με την ύπαρξη μονάδων μετατροπής και με την επεξεργασία πολλών τύπων αργού πετρελαίου. Θα πρέπει να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ των συστατικών που αναμιγνύονται και να παρασκευαστεί ένα προϊόν που θα έχει σταθερές ιδιότητες (βλ.Κεφ.6).

Οι περιορισμοί που υπάρχουν για την σύσταση των τελικών μιγμάτων είναι οι προδιαγραφές της αγοράς, η τιμή και ο όγκος των προϊόντων που απαιτούνται, η ποσότητα και η ποιότητα των προϊόντων ανάμιξης. Ο προγραμματισμός της ανάμιξης γίνεται ακόμα πιο σύνθετος αν ληφθεί υπόψη και η δυνατότητα χρήσης κάποιων συστατικών σε δύο ή περισσότερα τελικά προϊόντα.

Κεφάλαιο Τρίτο

Προϊόντα Αργού Πετρελαίου

3-1 Εισαγωγή

Τα προϊόντα του αργού πετρελαίου από την ατμοσφαιρική απόσταξη είναι: 1% υγραέρια, 17% νάφθα, 38% ενδιάμεσα αποστάγματα και 44% υπολείμματα. Δηλαδή η αναλογία της ατμοσφαιρικής απόσταξης είναι περίπου 60% αποστάγματα (καθαρά προϊόντα) και 40% υπολείμματα (μαύρα προϊόντα). Βέβαια το ποσοστό των αποσταγμάτων και των υπολειμμάτων εξαρτάται από τον τύπο του αργού πετρελαίου που χρησιμοποιείται και από τον εξοπλισμό του διυλιστηρίου.

Τα προϊόντα της επιπλέον επεξεργασίας των υπολειμμάτων της ατμοσφαιρικής απόσταξης είναι: 2% υγραέρια, 45% νάφθα, 38% ενδιάμεσα αποστάγματα και 15% υπολείμματα.

Στις επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε ξεχωριστά κάθε ένα από τα κύρια προϊόντα της ατμοσφαιρικής απόσταξης, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη *Βενζίνη*, στο *Πετρέλαιο Diesel* και στο *Μαζούτ*.

3-2 Αέρια Καύσιμα Πετρελαίου

Είναι τα πρώτα κλάσματα του αργού πετρελαίου και αποτελούνται κύρια από υδρογονάνθρακες με 1–4 άτομα άνθρακα.

Οι πρώτοι υδρογονάνθρακες με 1 ή 2 άτομα άνθρακα είναι το μεθάνιο και το αιθάνιο που χρησιμοποιούνται συνήθως ως καύσιμα του διυλιστηρίου. Οι υδρογονάνθρακες με 3 ή 4 άτομα άνθρακα (προπάνιο, βουτάνιο) αποτελούν τα υγραέρια που είναι γνωστά ως LPG (Liquefied Petroleum Gases).

Τα υγραέρια είναι κυρίως μίγματα προπανίου και βουτανίου αλλά μπορεί να περιέχουν προπένιο, βουτένιο, βουταδιένιο, ισοβουτάνιο και ισοβουτένιο. Περιέχουν επίσης θείο (μέγιστο 200 mg/kg), ίχνη αιθανίου, αιθυλενίου και βαρύτερων υδρογονανθράκων.

Σε συνηθισμένη θερμοκρασία είναι αέρια εύκολα όμως υγροποιούνται με μικρή πίεση. Η τάση ατμών των υγραερίων έχει μέγιστη τιμή 1550 kPa στους 40 °C και 250 kPa στους 10 °C. Το σημείο ζέσης τους είναι κάτω από τους 0 °C και η πυκνότητά τους, σε υγρή κατάσταση, κυμαίνεται από 0,60 μέχρι 0,70 kg/l.

Τα υγραέρια χρησιμοποιούνται:

- Για βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές
- Ως καύσιμο βενζινομηχανών (ελάχιστη τιμή RON=89)
- Για εργασίες κοπής και συγκόλλησης μετάλλων

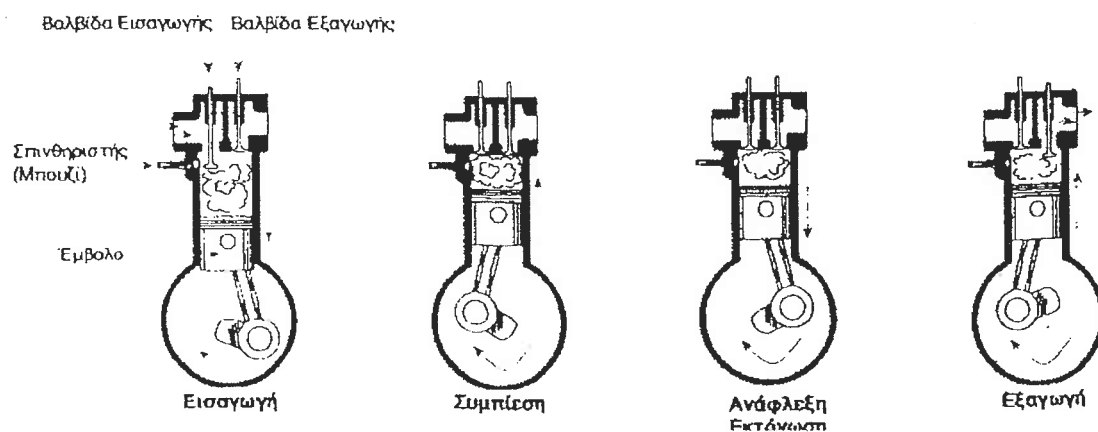
3-3 Βενζίνη

Η βενζίνη, με όρια απόσταξης στην περιοχή 30-210 °C, παράγεται από ανάμιξη προϊόντων που προέρχονται από διάφορες διεργασίες. Είναι μίγμα πτητικότερων και ελαφρότερων υδρογονανθράκων με 4-12 άτομα άνθρακα. Τα συστατικά που αναμιγνύονται για την παρασκευή των βενζινών προέρχονται από μονάδες μετατροπής και σε μικρό ποσοστό από ατμοσφαιρική απόσταξη.

Η βενζίνη είναι το μόνο καύσιμο που εξαερώνεται, πριν εισαχθεί στην μηχανή και αυτό διότι έχει μεγάλη πτητικότητα.

ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΚΤΥΠΗΜΑ ΣΤΟ BENZINOKINHTHRA

Ο κινητήρας ανάφλεξης με σπινθηριστή (βενζινοκινητήρας) είναι κινητήρας που λειτουργεί με ομογενές αναφλέξιμο μίγμα αέρα-καυσίμου. Το ομογενές μίγμα επειδή επιτυγχάνεται όταν το καύσιμο βρίσκεται στην αέρια φάση, η εξαέρωση της βενζίνης πρέπει να αρχίσει πριν την ανάφλεξη.



Σχ. 3-1 Λειτουργία Τετράχρονου Βενζινοκινητήρα

Στον βενζινοκινητήρα από τη στιγμή που εισέρχεται το μίγμα αέρα-καυσίμου στο θάλαμο καύσης συμπιέζεται και όταν το έμβολο πλησιάζει στο Άνω Νεκρό Σημείο αναφλέγεται, από τον σπινθήρα που δημιουργείται στο μπουζί (σπινθηριστής). Η φλόγα αναπτύσσεται στον θάλαμο καύσης με περίπου σταθερό ρυθμό και σταθερή αύξηση της πίεσης. Μπροστά από το μέτωπο της φλόγας, το υπολειπόμενο άκαυστο μίγμα συμπιέζεται και ταυτόχρονα αυξάνονται η θερμοκρασία και η πυκνότητά του. Όταν η ανύψωση της θερμοκρασίας είναι τέτοια ώστε να προκαλέσει την αυτανάφλεξη των συστατικών του άκαυστου μίγματος πριν να φθάσει η φλόγα σε αυτό, προκαλείται απότομη αύξηση της πίεσης που γίνεται

αντιληπτή ως μεταλλικό κτύπημα διαφορετικής έντασης. Επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι η υπερθέρμανση και η απώλεια ισχύος.

Κτύπημα μπορεί να εμφανιστεί σε κάθε κινητήρα ανάλογα με την ποιότητα του καυσίμου ενώ ουσιαστικά επηρεάζουν το φαινόμενο ο σχεδιασμός και οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Ειδικότερα οι παράγοντες που επηρεάζουν το κτύπημα είναι:

- *Θερμοκρασία:* Αύξηση της θερμοκρασίας του άκαυστου μίγματος αυξάνει την πιθανότητα κτυπήματος σε βενζινοκινητήρες. Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προκληθεί με:
 - Αύξηση της σχέσης συμπίεσης (μεγαλύτερη σχέση συμπίεσης συνεπάγεται αύξηση της απόδοσης του κινητήρα. Όμως η αύξηση της σχέσης συμπίεσης δημιουργεί απαιτήσεις για καύσιμο μεγαλύτερης αντικροτικότητας)
 - Αύξηση της θερμοκρασίας του εισαγόμενου αέρα
 - Αύξηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού
 - Αύξηση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου και των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης
 - Προπορεία του σπινθήρα
- *Πυκνότητα:* Αύξηση της πυκνότητας του άκαυστου μίγματος αυξάνει την πιθανότητα κτυπήματος.
- *Χρόνος:* Αύξηση του χρόνου παραμονής του άκαυστου μίγματος σε συνθήκες αυτανάφλεξης αυξάνουν την πιθανότητα κτυπήματος. Η αύξηση του χρόνου παραμονής μπορεί να συμβεί με:
 - Αύξηση της απόστασης που διανύει η φλόγα
 - Μείωση της τύρβης του μίγματος που συνεπάγεται μείωση της ταχύτητας της φλόγας
 - Μείωση της ταχύτητας του κινητήρα (που μειώνει την τύρβη και αυξάνει τον διαθέσιμο χρόνο για προφλογικές αντιδράσεις)
- *Σύσταση καυσίμου μίγματος:* Όταν η σχέση συμπίεσης και τα χαρακτηριστικά του κινητήρα είναι δεδομένα, η πιθανότητα κτυπήματος μειώνεται με:
 - Αύξηση της αντικροτικότητας του καυσίμου
 - Πλούσια (σχέση αέρα-καυσίμου χαμηλότερη από 7:1) ή πτωχά μίγματα (σχέση αέρα-καυσίμου υψηλότερη από 20:1)
 - Αύξηση της υγρασίας του αέρα

ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΚΤΑΝΙΟΥ

Ο αριθμός οκτανίου χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντικροτικότητας της βενζίνης, δηλαδή, την τάση της να αντέχει σε συμπίεση και να καίγεται ομαλά στον κύλινδρο του βενζινοκινητήρα χωρίς να προκαλεί "χτύπημα". Στηρίζεται σε μια αυθαίρετη κλίμακα μέτρησης από 0 μέχρι 100.

Η τιμή αριθμού οκτανίου 0 χαρακτηρίζει το κανονικό επτάνιο (κ - C_7H_{16}) το οποίο είναι παραφινικός υδρογονάνθρακας και εμφανίζει μεγάλη τάση για κτύπημα σε βενζινοκινητήρες.

Η τιμή αριθμού οκτανίου 100 χαρακτηρίζει το ισο-οκτάνιο του οποίου η τάση για κτύπημα είναι μικρή.

Ο έλεγχος της αντικροτικότητας του καυσίμου γίνεται με τη βοήθεια πρότυπου μονοκύλινδρου κινητήρα και με βάση τα κτυπήματα που δίνει η βενζίνη, σε σύγκριση με τα μίγματα των δύο υδρογονανθράκων, κ - C_7H_{16} και ισο-οκτανίου, που χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης.

Ο αριθμός οκτανίου μίας βενζίνης είναι το επί τοις εκατό κατά όγκο ποσοστό του ισο-οκτανίου σε μίγμα του κανονικού επτανίου/ισο-οκτανίου το οποίο παρουσιάζει την ίδια αντικροτικότητα, στον πρότυπο κινητήρα, με τη βενζίνη, που εξετάζεται. Έτσι όταν λέμε ότι μια βενζίνη είναι 90 οκτανίων, εννοούμε ότι βενζίνη αυτή παρουσιάζει στον πρότυπο βενζινοκινητήρα την ίδια συμπεριφορά, ως προς το κτύπημα, με μίγμα αποτελούμενο κατά 10% β/ο από κανονικό επτάνιο και κατά 90% β/ο από ισοοκτάνιο. Διευκρινίζεται ότι η βενζίνη αυτή θα μπορούσε να μην έχει ως συστατικά καθόλου ισοοκτάνιο ή κανονικό επτάνιο, αλλά άλλους υδρογονάνθρακες με αντίστοιχη προς αυτούς αντικροτικότητα.

Για την βελτίωση της αντικροτικότητας προστίθενται στην βενζίνη αντικροτικές ενώσεις. Μέχρι πρόσφατα είχαν χρησιμοποιηθεί ο τετρααιθυλιούχος μόλυβδος (TEL) και ο τετραμεθυλιούχος μόλυβδος (TML), των οποίων η χρήση έχει απαγορευθεί για περιβαλλοντικούς λόγους. Η δράση τους όπως και όλων των οργανομεταλλικών αντικροτικών προσθέτων, συνίσταται στην αποδόμηση τους στην κατάλληλη θερμοκρασία κατά την καύση και στον σχηματισμό νέφους δραστικών σωματιδίων μεταλλικών οξειδίων που εμποδίζουν τις παράπλευρες αντιδράσεις που οδηγούν στο κτύπημα.

Στην αμόλυβδη βενζίνη μερικά μη μεταλλικά συστατικά έχουν αποδειχθεί αρκετά αποτελεσματικά και χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα για να αντικαταστήσουν τις ενώσεις του μολύβδου. Πρόκειται για οξυγονούχα συστατικά όπως οι αλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη, ισοπροπανόλη, βουτανόλη) και οι αιθέρες (μεθυλοβουτυλαιθέρας, αιθυλοβουτυλεθέρας) και μίγματα τους.

Επίσης η αμόλυβδη βενζίνη έχει κατάλληλο μεταλλικό πρόσθετο που περιέχει κάλιο. Ο λόγος της χρήσης αυτού του πρόσθετου είναι η προστασία

των εδρών των βαλβίδων, οι οποίες στο παρελθόν λιπαίνονταν από το μόλυβδο (η δεύτερη σημασία της χρήσης του μολύβδου). Ακόμη οι κινητήρες των οχημάτων που χρησιμοποιούν αμόλυβδη βενζίνη είναι κατασκευασμένα από ειδικά κράματα που δεν εμφανίζουν σημαντικά προβλήματα φθοράς στις έδρες των βαλβίδων.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ

Οι κυριότερες ιδιότητες της βενζίνης είναι:

- Αντικροτικότητα-Αριθμός Οκτανίου
- Πτητικότητα
- Πυκνότητα
- Σύσταση
- Περιεκτικότητα σε Θείο
- Κομμιάδης Ουσίες
- Περιεκτικότητα σε Νερό
- Σταθερότητα στην Οξείδωση
- Αγωγιμότητα
- Διαβρωτικότητα

• Αντικροτικότητα-Αριθμός Οκτανίου

Η *αντικροτικότητα* αποτελεί τη βασικότερη ιδιότητα των βενζινών. Η αντικροτικότητα εξαρτάται από το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχονται στα καύσιμα. Η κατάταξη της αντικροτικότητας των υδρογονανθράκων, σε γενικές γραμμές, είναι η παρακάτω:

αρωματικοί>ισοπαραφινικοί>ναφθениκοί>ολεφινικοί>κανονικοί παραφινικοί

Από την παραπάνω σειρά κατάταξης προκύπτει ότι η επιμήκυνση της ανθρακικής αλυσίδας αυξάνει την τάση για κτύπημα (μείωση της κρίσιμης σχέσης συμπίεσης) και ότι οι διακλαδώσεις στην ανθρακική αλυσίδα μειώνουν την τάση αυτή.

Ο *αριθμός οκτανίου* χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντικροτικότητας της βενζίνης, δηλαδή, την τάση της να αντέχει σε συμπίεση και να καίγεται ομαλά στον κύλινδρο του βενζινοκινητήρα χωρίς να προκαλεί χτύπημα.

Η αύξηση του αριθμού οκτανίου μιας βενζίνης γίνεται με ειδική επεξεργασία στα διυλιστήρια πετρελαίου, η οποία ονομάζεται αναμόρφωση της βενζίνης. Με την αναμόρφωση επιτυγχάνεται η μετατροπή των περιεχομένων στη βενζίνη υδρογονανθράκων σε υδρογονάνθρακες μεγαλύτερου αριθμού

οκτανίου π.χ., του κυκλοεξανίου σε βενζόλιο (αρωματοποίηση), του κανονικού οκτανίου σε ισοοκτάνιο (ισομερείωση) κ.λ.π.

Επίσης ένας άλλος τρόπος βελτίωσης της αντικροτικότητας, όπως έχει αναφερθεί, είναι η προσθήκη αντικροτικών ενώσεων.

Για να μπορέσουν να προκύψουν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα αναφορικά με την αντικροτικότητα των βενζινών, ο αριθμός οκτανίου μετριέται με δύο διαφορετικούς μεθόδους (Research και Motor).

Η μέθοδος Research (RON) είναι ενδεικτική για τη συμπεριφορά της βενζίνης σε κανονικές συνθήκες και η Motor (MON) σε μεγάλες ταχύτητες. Συνήθως η τιμή του MON είναι μεγαλύτερη του RON. Ο μέσος όρος $(RON+MON)/2$ ονομάζεται δείκτης αντικροτικότητας (Antiknock Index) και είναι μια ένδειξη της συμπεριφοράς του καυσίμου όταν χρησιμοποιείται στους πολυκύλινδρους κινητήρες των αυτοκινήτων. Η διαφορά RON-MON ονομάζεται ευαισθησία (sensitivity) του καυσίμου και αντιπροσωπεύει την ευαισθησία της αντικροτικής ικανότητας του καυσίμου στις μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα.

Στην μέθοδο Research και στη μέθοδο Motor η αντικροτικότητα του καυσίμου συγκρίνεται με την αντίστοιχη των μιγμάτων ισοοκτανίου και κανονικού επτανίου γνωστής αναλογίας. Το κτύπημα που δίνει το καύσιμο που εξετάζεται "παγιδεύεται" μεταξύ των κτυπημάτων από τα δύο πρότυπα που δεν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 2 αριθμούς οκτανίου. Ο αριθμός οκτανίου του αγνώστου υπολογίζεται με παρεμβολή και αναφέρεται με ακρίβεια 0,1. Η αμόλυβδη βενζίνη έχει ελάχιστη τιμή RON 95 και MON 85.

• Πτητικότητα

Η πτητικότητα δηλαδή η τάση του καυσίμου να εξατμιστεί, είναι η ιδιότητα του καυσίμου που επηρεάζει την ικανότητα του να εξατμιστεί και να σχηματίσει αναφλέξιμο μίγμα όταν αναμιχθεί με τον αέρα.

Η πτητικότητα έχει ιδιαίτερη σημασία για τη βενζίνη γιατί είναι το μόνο καύσιμο που εισέρχεται στη μηχανή αφού προηγουμένως εξαερωθεί και αναμιχθεί με τον αέρα στον εξαερωτήρα (καρμπυρατέρ). Στον κύλινδρο της μηχανής ατμοποιείται και όση βενζίνη εισήλθε υπό μορφή λεπτότατων σταγονιδίων. Πρέπει λοιπόν η βενζίνη να έχει τέτοια πτητικότητα, ώστε να εξασφαλίζει την τροφοδότηση της μηχανής με μίγμα ατμών βενζίνης και αέρα στη κατάλληλη αναλογία και πάντοτε μέσα στα όρια της αναφλεξιμότητας. Χαμηλή πτητικότητα έχει ως αποτέλεσμα μείωση της ισχύος, γιατί το μίγμα είναι φτωχό σε βενζίνη, που δύσκολα εξατμίζεται. Επίσης προκαλεί δυσχέρεια στη εκκίνηση, κακή προθέρμανση, μειωμένη επιτάχυνση, κακή διανομή του καυσίμου στους κυλίνδρους και ρύπανση του λαδιού με καύσιμο.

Αλλά και η υψηλή πτητικότητα της βενζίνης είναι ανεπιθύμητη γιατί έχει δυσάρεστες συνέπειες για τη λειτουργία της μηχανής, σημαντικότερες από τις οποίες είναι οι μεγάλες απώλειες εξαιτίας εξαέρωσης και ο κίνδυνος απόφραξης (μπούκωμα).

Η πτητικότητα σχετίζεται άμεσα με την πυκνότητα επειδή μικρή πυκνότητα σημαίνει μεγάλη πτητικότητα.

Για τον προσδιορισμό της πτητικότητας των βενζινών χρησιμοποιείται η *καμπύλη απόσταξης και η τάση ατμών*.

Η καμπύλη απόσταξης προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-86 όπου αποστάζουν 100 cm^3 δείγματος κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θέρμανσης. Για την κατασκευή της καμπύλης απόσταξης καταγράφονται οι θερμοκρασίες στις οποίες αποστάζουν συγκεκριμένα ποσοστά του καυσίμου. Οι θερμοκρασίες ανάκτησης του 10%, 30%-65% και 85% χρησιμοποιούνται ως πιο ρεαλιστικές ενδείξεις για την πτητικότητα της βενζίνης. Για την αμόλυβδη βενζίνη οι αντίστοιχες θερμοκρασίες είναι 70, 100 και 180°C .

Η τάση ατμών ενός καυσίμου, σε μία θερμοκρασία ορίζεται ως η πίεση που ασκείται από τους ατμούς του καυσίμου, που βρίσκονται σε ισορροπία με το υγρό καύσιμο, στην επιφάνεια του υγρού. Η τάση ατμών δείχνει, για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία, την ευκολία ή δυσκολία με την οποία εξατμίζεται ένα καύσιμο. Μεγάλη τάση ατμών σημαίνει ότι σχετικά εύκολα γίνεται η εξάτμιση και αντίστροφα.

Επειδή η βενζίνη είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων και όχι μια απλή ένωση η τάση ατμών της επηρεάζεται από την σύσταση της. Η τάση ατμών για τις βενζίνες προσδιορίζεται κατά Reid (ASTM D-323) και στην αμόλυβδη βενζίνη κυμαίνεται από 65 kPa (01.04 - 31.10) μέχρι 80 kPa (01.11 - 31.03). Η τάση ατμών επιδιώκεται να είναι υψηλότερη το χειμώνα (ευκολότερη εκκίνηση σε χαμηλές θερμοκρασίες) και χαμηλότερη το καλοκαίρι (αποφυγή προβλημάτων απόφραξης).

• Πυκνότητα

Η *πυκνότητα* ενός καυσίμου δίνει το λόγο της μάζας ενός συγκεκριμένου όγκου καυσίμου προς τον όγκο αυτό. Το σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα με καύσιμο λειτουργεί σε ογκομετρική βάση, επομένως η πυκνότητα επηρεάζει την ποσότητα του καυσίμου που εισέρχεται κάθε φορά στο θάλαμο καύσης, επειδή η καύση γίνεται σε μαζική βάση.

Η πυκνότητα μπορεί μερικές φορές να εκφραστεί ως σχετική πυκνότητα, που είναι ο λόγος της πυκνότητας του προϊόντος προς την πυκνότητα ίσου όγκου νερού στην ίδια θερμοκρασία (συνήθως 60°F ή $15,6^\circ \text{C}$) ή σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API (American Petroleum Institute).

Η σχέση της κλίμακας API ($^\circ$) με την σχετική πυκνότητα είναι:

$$\text{API}(\text{°}) = \frac{141,5}{\text{SG}_{60^{\circ}\text{F}}} - 131,5$$

όπου, $\text{SG}_{60^{\circ}\text{F}}$ η σχετική πυκνότητα 60°/60 °F.

Η μέτρηση της πυκνότητας της βενζίνης γίνεται με τη χρήση πυκνομέτρου σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1298. Η πυκνότητα της αμόλυβδης βενζίνης κυμαίνεται στην περιοχή 730-790 kg/m³ και αναφέρεται πάντα στους 15 °C.

Η πυκνότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία και από το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχει η βενζίνη. Αναφερόμενη σε μόρια με τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα, η πυκνότητα των διαφόρων τύπων υδρογονανθράκων μεταβάλλεται με τον ακόλουθο τρόπο:

παραφίνες < ολεφίνες < ναφθένια < αρωματικά

• Σύσταση

Η σύσταση των βενζινών αναφέρεται κυρίως σε συστατικά η περιεκτικότητα των οποίων πρέπει να βρίσκεται κάτω από συγκεκριμένα όρια, είτε για περιβαλλοντικούς, είτε για άλλους λόγους.

Το βενζόλιο είναι ένα συστατικό του οποίου η περιεκτικότητα πρέπει να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της έντονης τοξικότητάς του. Οι προδιαγραφές αναφέρουν συνήθως μέγιστη περιεκτικότητα σε βενζόλιο 3% ή 5% β/ο με στόχο τον πλήρη αποκλεισμό του από τις βενζίνες εάν είναι δυνατόν.

Η περιεκτικότητα στις κατηγορίες υδρογονανθράκων είναι σημαντική γιατί έμμεσα μπορεί να εκτιμηθεί η τάση της βενζίνης για σχηματισμό κομμιωδών ουσιών και αποθέσεων. Η μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σύστασης των βενζινών είναι οι ASTM D-1319 και ASTM D-3606.

• Περιεκτικότητα σε Θείο

Η περιεκτικότητα σε θείο της αμόλυβδης βενζίνης είναι πολύ χαμηλή (100 ppm) με στόχο να μειωθεί περισσότερο (50 ppm από το 2005). Ο προσδιορισμός του θείου γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-381.

Το θείο βρίσκεται στη βενζίνη με τη μορφήθειούχων ενώσεων (μερκαπτάνες, σουλφίδια) και η παρουσία του είναι ανεπιθύμητη:

- Για περιβαλλοντικούς λόγους (εξαιτίας της ρύπανσης που προκαλείται από την μετατροπή του θείου σε SO₂)

- Επειδή συμβάλλει στο σχηματισμό αποθέσεων στο θάλαμο καύσης
- Επειδή μειώνει τη δραστικότητα των καταλυτικών μετατροπέων των αυτοκινήτων
- Επειδή έχει βλαβερή επίδραση στην μηχανή, εξαιτίας της μετατροπής του σε SO₂ και στη συνέχεια σε θειικό οξύ που είναι έντονα διαβρωτικό

• Κομμώδης Ουσίες

Οι κομμώδεις ουσίες είναι ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους που περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο και θείο. Παράγονται από οξείδωση και τον πολυμερισμό των ολεφινών και διολεφινών και είναι συνήθως αδιάλυτες στο καύσιμο.

Οι κομμώδεις ουσίες δίνουν μια ένδειξη της τάσης για σχηματισμό αποθέσεων στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα και στις βαλβίδες. Προσδιορίζονται με τη μέθοδο ASTM D-381 και τα υπάρχοντα κομμώδη για την αμόλυβδη βενζίνη πρέπει να έχουν μέγιστη τιμή 4 (g/100cm³).

Οι κομμώδεις ουσίες δημιουργούνται κατά την παραμονή της βενζίνης στις δεξαμενές ή σε δοχεία και είναι επικίνδυνες γιατί μπορεί να προκαλέσουν αποθέσεις στο σύστημα τροφοδοσίας με συνέπεια την απόφραξη των σωληνίσκων τροφοδοσίας της βενζίνης στον εξαερωτήρα και γενικά του συστήματος εισαγωγής του καυσίμου.

• Περιεκτικότητα σε Νερό

Η παρουσία ελεύθερου νερού στη βενζίνη είναι ανεπιθύμητη επειδή προκαλεί προβλήματα κατά την καύση και δημιουργεί διαβρώσεις και φθορές στο σύστημα τροφοδοσίας. Επίσης είναι δυνατόν να προκαλέσει και προβλήματα σχηματισμού πάγου στη δικλείδα του εξαερωτή σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Η διαλυτότητα του νερού στη βενζίνη μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε αρωματικά, και αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η περιεκτικότητα της βενζίνης σε νερό προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-1744.

• Σταθερότητα στην Οξείδωση

Η σταθερότητα στην οξείδωση είναι ένα χαρακτηριστικό ενός καυσίμου που δείχνει την τάση του για αντίσταση σε θερμική διάσπαση προς σχηματισμό ανεπιθύμητων προϊόντων, όταν υπόκειται στην επίδραση υψηλής θερμοκρασίας.

Η σταθερότητα στην οξείδωση μιας βενζίνης εξαρτάται άμεσα από την σύσταση της. Οι ολεφινικές ενώσεις, που προέρχονται από τις διεργασίες πυρόλυσης παρουσιάζουν πολύ μικρότερη σταθερότητα σε σύγκριση με τις

παραφινικές και τις αρωματικές ενώσεις. Ειδικά οι διεργασίες θερμικής πυρόλυσης παράγουν ακόμη διολεφίνες, οι οποίες οξειδώνονται γρήγορα και δίνουν κομμωδείς ουσίες.

Η σταθερότητα στην οξείδωση των βενζινών μετριέται με τη μέθοδο ASTM D-525. Για την αμόλυβδη βενζίνη ο ελάχιστος χρόνος επώασης είναι 360 min, που αντιστοιχεί σε σταθερότητα σε συνθήκες αποθήκευσης πάνω από έξι μήνες.

- **Αγωγιμότητα**

Η *αγωγιμότητα* είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα των καυσίμων γιατί δείχνει την τάση τους για φόρτιση από στατικό ηλεκτρισμό κατά την άντληση του καυσίμου.

Ένα καύσιμο με υψηλή αγωγιμότητα μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης σπινθήρα εξαιτίας ηλεκτρικής εκκένωσης, που μπορεί να οδηγήσει σε ανάφλεξη του καυσίμου. Η αγωγιμότητα μετριέται σε pico-Siemens/m (pS/m) και προσδιορίζεται με τις μεθόδους ASTM D-3114 και ASTM D-4308.

- **Διαβρωτικότητα**

Η *διάβρωση* αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα όχι μόνο εξαιτίας της φθοράς του εξοπλισμού, αλλά επειδή τα μέταλλα που αποσπώνται μπορεί να δράσουν ως καταλύτες αντιδράσεων οξείδωσης συστατικών του καυσίμου και σχηματισμού αποθέσεων. Επιπρόσθετα τα προϊόντα της διάβρωσης προκαλούν φραγή σε φίλτρα και διαφράγματα και αυξάνουν τη φθορά των εξαρτημάτων. Η διάβρωση είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε νερό, σε οξυγονούχα συστατικά, σε θειούχες ενώσεις καθώς και σε αντιδιαβρωτικά πρόσθετα.

Η διαβρωτικότητα των βενζινών μετριέται με τη μέθοδο διάβρωσης χάλκινου ελάσματος. Ειδικότερα βρίσκεται ο βαθμός αμάρωσης του χάλκινου ελάσματος μετά από σύγκριση με την πρότυπη κλίμακα της ASTM, αφού έχει προηγηθεί η εμφάνιση του ελάσματος μέσα σε ποσότητα δείγματος κάτω από τις προκαθορισμένες συνθήκες της μεθόδου ASTM D-130. Για την βενζίνη η ένδειξη διαβρωτικότητας είναι ASTM No.1.

3-4 Κηροζίνη

Η κηροζίνη ατμοσφαιρικής απόσταξης αποτελεί το βασικό συστατικό για την παρασκευή των καυσίμων αεροπορίας αφού προηγουμένως έχει υποστεί διεργασία "γλύκανσης" για την απομάκρυνση των μερκαπτανών (θειούχες ενώσεις). Οι υδρογονάνθρακες που την αποτελούν έχουν 1-14 άνθρακα

ανά μόριο.

Το βασικό καύσιμο της πολιτικής αεροπορίας το Jet-A1 αποτελείται από "γλυκανθείσα" κηροζίνη στην οποία έχουν προστεθεί κατάλληλα πρόσθετα.

Το Jet-B είναι μίγμα κηροζίνης με βαριά νάφθα.

Από τα καύσιμα της πολεμικής αεροπορίας, τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα είναι το JP-8, που είναι αντίστοιχο των καυσίμων της πολιτικής αεροπορίας, ενώ το ελαφρύτερο JP-4 παρασκευάζεται με ανάμιξη κηροζίνης με βαριά νάφθα, ώστε να παραχθεί καύσιμο της επιθυμητής πτητικότητας.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΗΡΟΖΙΝΗΣ

Οι κυριότερες ιδιότητες της κηροζίνης είναι:

- Πυκνότητα
- Ιξώδες
- Σημείο Πήξης

• Πυκνότητα

Η πυκνότητα αποτελεί, όπως έχει προαναφερθεί, τη σχέση μεταξύ της μάζας και της μονάδας όγκου του καυσίμου. Η πυκνότητα της κηροζίνης σχετίζεται με την ακτίνα δράσης του αεριωθούμενου αεροπλάνου γιατί για ορισμένο όγκο της δεξαμενής η μάζα του καυσίμου είναι μικρότερη για μικρότερη πυκνότητα. Επίσης στην περίπτωση των αεροπορικών καυσίμων ιδιαίτερη σημασία έχει και ο συντελεστής θερμικής διαστολής του όγκου.

Η πυκνότητα μετρείται σε κάποια θερμοκρασία σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1298 (όπου το πυκνόμετρο βυθίζεται μέσα στο καύσιμο, και η πυκνότητα διαβάζεται στο σημείο που η κλίμακα τέμνει την επιφάνεια του υγρού) και ανάγεται στη θερμοκρασία των 15 °C. Η πυκνότητα της κηροζίνης κυμαίνεται από 750 kg/m³ μέχρι 840 kg/m³.

Η πυκνότητα μπορεί μερικές φορές να εκφραστεί ως σχετική πυκνότητα ή σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API (American Petroleum Institute). Η σχέση της κλίμακας API (°) με την σχετική πυκνότητα είναι:

$$API(^{\circ}) = \frac{141,5}{SG_{60^{\circ}F}} - 131,5$$

όπου, SG_{60°F} η σχετική πυκνότητα 60°/60 °F.

Η πυκνότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία και αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Επίσης εξαρτάται από είδος των υδρογονανθράκων του καυσίμου. Καύσιμο με υψηλή πυκνότητα σημαίνει ότι περιέχει σε μεγάλη αναλογία αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

- **Ιξώδες**

Το ιξώδες ενός ρευστού δείχνει την αντίσταση του στη ροή. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη ροή. Μπορεί να εκφραστεί ως απόλυτο ιξώδες, ή ως κινηματικό ιξώδες.

Το ιξώδες μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία. Με μείωση της θερμοκρασίας αυξάνει το ιξώδες του καυσίμου. Οι προδιαγραφές θέτουν μέγιστα όρια ιξώδους στην κηροζίνη σε χαμηλές θερμοκρασίες ώστε να εξασφαλίσουν την αντλησιμότητα και τη ρευστότητα του καυσίμου στις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στα ύψη στα οποία πετούν τα αεροσκάφη.

Ο προσδιορισμός του κινηματικού ιξώδους γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-445.

- **Σημείο Πήξης**

Το σημείο πήξης (*freezing point*) είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος αναφορικά με τη ρευστότητα του καυσίμου σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Ως σημείο πήξης ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία εξαφανίζονται οι τελευταίοι κρύσταλλοι καυσίμου όταν αυτό θερμαίνεται, αφού έχει ψυχθεί μέχρι να εμφανιστεί ικανοποιητικός αριθμός κρυστάλλων. Το σημείο πήξης προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-2386.

Το σημείο πήξης της κηροζίνης δεν πρέπει να είναι υψηλό, για να εξασφαλίζεται η άντληση του καυσίμου και όταν ακόμη το αεροπλάνο συναντήσει χαμηλές θερμοκρασίες.

3-5 Πετρέλαιο Diesel

Το πετρέλαιο diesel, ή πετρέλαιο εσωτερικής καύσης, είναι το καύσιμο που χρησιμοποιείται στους κινητήρες εσωτερικής καύσης που η ανάφλεξη προκαλείται από τη συμπίεση του καυσίμου.

Τα καύσιμα diesel αποτελούν το τελευταίο κλάσμα του φυσικού πετρελαίου με όρια απόσταξης γενικά στην περιοχή 150-380 °C. Είναι σύνθετα μίγματα υδρογονανθράκων με 14-20 άτομα άνθρακα που περιέχουν παραφινικούς, αρωματικούς και σε μικρές συγκεντρώσεις ολεφινικούς υδρογονάνθρακες. Περιέχουν επίσης και ενώσεις άλλων ατόμων, κύρια του θείου και του αζώτου. Οι ιδιότητες τους εξαρτώνται από την περιεκτικότητα σε κάθε κατηγορία υδρογονανθράκων, καθώς και από το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας.

Τα καύσιμα diesel σε ένα σύγχρονο διυλιστήριο παρασκευάζονται από την ανάμιξη των διαθέσιμων gasoil. Χρησιμοποιούνται διάφορα ρεύματα του διυλιστηρίου, προερχόμενα κύρια από τις μονάδες ατμοσφαιρικής

απόσταξης, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν, σε συνθετα διυλιστήρια, και συστατικά από άλλες μονάδες για αύξηση της παραγωγής του diesel. Τα διάφορα συστατικά αναμιγνύονται έτσι ώστε το τελικό diesel να ικανοποιεί τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές προέρχονται από τα χαρακτηριστικά των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του diesel, και τις απαιτήσεις των κατασκευαστών κινητήρων με στόχο την βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας.

Ο μόνος τρόπος για εξισορρόπηση της παραγωγής των διυλιστηρίων με τη ζήτηση είναι χρήση διεργασιών μετατροπής των ενδιάμεσων προϊόντων και υπολειμμάτων. Τα περισσότερα διυλιστήρια διαθέτουν μονάδα απόσταξης υπό κενό, και τουλάχιστον μία μονάδα μετατροπής (πυρόλυσης, ιξωδόλυσης, υδρογονοπυρόλυσης κ.λ.π.) για την αύξηση της απόδοσης σε "λευκά" προϊόντα με τη χρησιμοποίηση των ανεπιθύμητων βαρέων κλασμάτων.

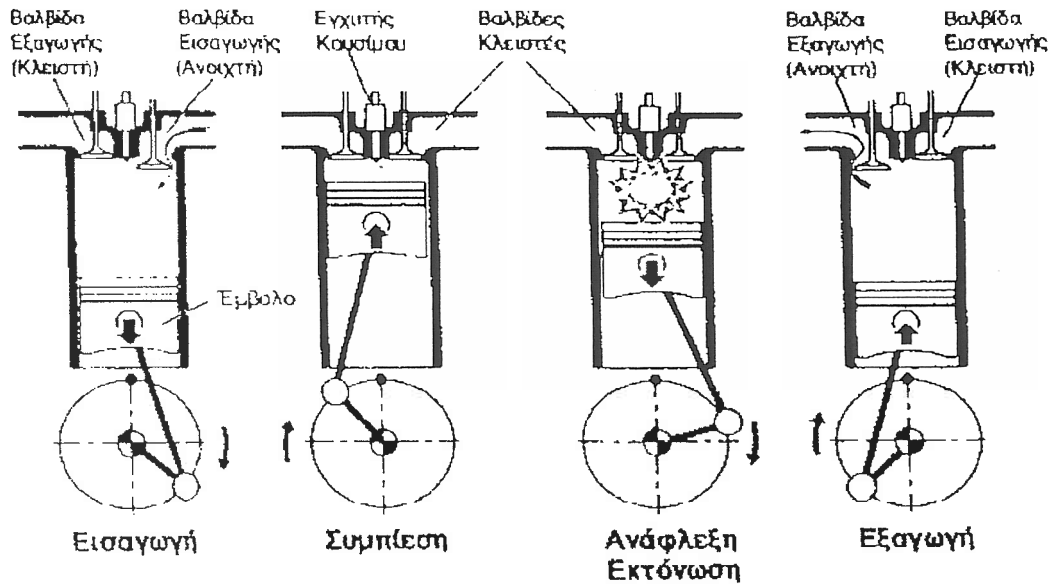
Το πετρέλαιο diesel αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούσαν οι μηχανές diesel, τόσο στην ξηρά όσο και στην θάλασσα, εξαιτίας του χαμηλού ιξώδους, που επέτρεπε καλό διασκορπισμό, και του υψηλού βαθμού καθαρότητας που εξασφάλιζε καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα. Σήμερα χρησιμοποιείται ως καύσιμο μηχανών diesel όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που αποκλείουν τη χρήση βαρύτερων καυσίμων όπως οι ταχύστροφες μηχανές μικρής σχετικά ισχύος. Σε όλες τις άλλες κατηγορίες μηχανών diesel μεγάλης ισχύος και κυρίως στις ναυτικές, χρησιμοποιούνται βαρύτερα καύσιμα με βάση το μαζούτ όπως θα δούμε αναλυτικά στο Κεφ.5.

Στην ελληνική αγορά υπάρχουν δύο τύποι diesel, το diesel κίνησης και το πετρέλαιο θέρμανσης. Το diesel κίνησης έχει σημαντικά αυστηρότερες προδιαγραφές από το πετρέλαιο θέρμανσης, ιδιαίτερα στην πυκνότητα και στον αριθμό κετανίου. Επίσης το diesel κίνησης έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο από το πετρέλαιο θέρμανσης. Ακόμη οι σημερινές τάσεις περιλαμβάνουν ευρύτερη χρήση προσθέτων στο diesel κίνησης όπως βελτιωτικά ροής και βελτιωτικά αριθμού κετανίου. Επιπρόσθετα μπορεί να γίνει επιπλέον επεξεργασία των προϊόντων ώστε να παρασκευαστούν καύσιμα υψηλών απαιτήσεων. Ήδη στην Ευρώπη οι πιο γνωστές εταιρίες πετρελαίου διαφημίζουν την πώληση diesel υψηλής ποιότητας (premium diesel).

ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΚΤΥΠΗΜΑ ΣΤΟ ΝΤΗΖΕΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στους ντηζελοκινητήρες το καύσιμο μίγμα δημιουργείται με έγχυση του καυσίμου σε λεπτή διασπορά και ανάμιξη του με στροβιλιζόμενο αέρα, που έχει ήδη εισαχθεί υπό πίεση, στον θάλαμο καύσης. Η υψηλή θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα προκαλεί αυτανάφλεξη του καυσίμου όταν εισάγεται προς το τέλος της συμπίεσης. Οι υψηλές θερμοκρασίες του αέρα επιτυγχάνονται με μεγάλες σχέσεις συμπίεσης (15:1 μέχρι 23:1).

Η καύση στους νηζελοκινητήρες πραγματοποιείται σε στάδια που περιλαμβάνουν φυσικές και χημικές διεργασίες. Οι φυσικές διεργασίες περιλαμβάνουν το στροβιλισμό και τη δημιουργία του μίγματος αέρα-καυσίμου καθώς και τη δημιουργία της πίεσης και της θερμοκρασίας, που απαιτούνται για να γίνουν οι χημικές αντιδράσεις. Οι χημικές διεργασίες ξεκινούν με την αυτανάφλεξη του καυσίμου και προχωρούν στην πλήρη καύση του καυσίμου που απελευθερώνει τη θερμική του ενέργεια.

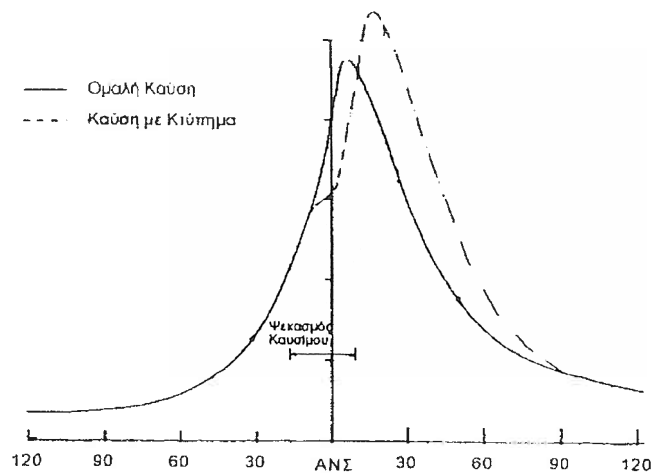


Σχ. 3-2 Λειτουργία Τετράχρονου Νηζελοκινητήρα

Η πρώτη φάση ξεκινά με την έγχυση των πρώτων σταγονιδίων του καυσίμου, περίπου 15° πριν το πιστόνι να φθάσει το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ). Στη φάση της συμπίεσης ο αέρας του θαλάμου καύσης θερμαίνεται πάνω από τους 500°C , που είναι αρκετή για να προκαλέσει στιγμιαία αυτανάφλεξη του καυσίμου που εισέρχεται. Όμως η αυτανάφλεξη δεν γίνεται άμεσα. Ένας μικρός χρόνος, γνωστός ως καθυστέρηση ανάφλεξης, απαιτείται για τη διάσπαση των σταγονιδίων του καυσίμου σε ακόμη μικρότερα ώστε να σχηματιστεί το μίγμα με τον αέρα και να ξεκινήσουν οι προφλογικές αντιδράσεις.

Η τυπική υστέρηση ανάφλεξης που χαρακτηρίζει την καύση στους κινητήρες diesel είναι $0,001$ sec. Στην πράξη ο χρόνος αυτός επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του αέρα, το μέγεθος των σταγονιδίων του καυσίμου, την ομοιογένεια του μίγματος αέρα-καυσίμου και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου.

Στην διάρκεια της πρώτης φάσης, η πίεση στον κύλινδρο ακολουθεί την γραμμή της συμπίεσης (βλ.Σχ.3-3). Στην συνέχεια ακολουθεί η φάση της καύσης που συνοδεύεται από απότομη αύξηση της πίεσης καθώς η φλόγα



Σχ. 3-3 Μεταβολή της Πίεσης σε Ντηζελοκινητήρα για ομαλή Καύση και Καύση με Κτύπημα

διαδίδεται στο μίγμα αέρα-καυσίμου που είχε ήδη σχηματιστεί. Ο ρυθμός και η συνολική αύξηση της πίεσης εξαρτάται από την ποσότητα του καυσίμου στον θάλαμο, η οποία επηρεάζεται από την διάρκεια της υστέρησης ανάφλεξης και την ποσότητα του καυσίμου που εγχύεται κατά την υστέρηση αυτή.

Στην τρίτη και τελευταία φάση η καύση ελέγχεται από το ρυθμό έγχυσης του καυσίμου και την ανάμιξη. Η καύση διαρκεί μέχρι να καταναλωθεί το καύσιμο, η πίεση στον κύλινδρο αυξάνει πιο ομαλά και στη συνέχεια μειώνεται καθώς το πιστόνι κατέρχεται. Η συνεχής γραμμή στο Σχ.3-3 δείχνει την μεταβολή της πίεσης όταν χρησιμοποιείται καύσιμο με καλά χαρακτηριστικά ανάφλεξης.

Στο Σχ.3-3 η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την μεταβολή της πίεσης όταν χρησιμοποιείται καύσιμο χαμηλότερης ποιότητας. Η περίοδος υστέρησης ανάφλεξης στην περίπτωση αυτή αυξάνεται εφόσον απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για να αυτανάφλεγεί το καύσιμο. Αποτέλεσμα αυτής της καθυστέρησης είναι η συγκέντρωση μεγάλου ποσού καυσίμου και η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα εξαιτίας της συνέχισης της συμπίεσης μέχρι το ANΣ. Όταν τελικά γίνει η αυτανάφλεξη ο ρυθμός αύξησης αλλά πιθανόν, και η τελική τιμή της πίεσης είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα την δημιουργία κραδασμών και δονήσεων (κτυπήματα) και την εκπομπή θορύβου.

Τα πιο ευδιάκριτα αποτελέσματα της χρήσης καυσίμων κακής ποιότητας ανάφλεξης είναι: μεγαλύτερος χρόνος εκκίνησης, αυξημένες εκπομπές λευκού καπνού σε χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλότερος θόρυβος εξαιτίας "κτυπήματος" και μείωση στην απόδοση και στην ισχύ της μηχανής. Επίσης παρατηρείται αύξηση στις εκπομπές αερίων ρύπων. Η υψηλή πίεση που παρατηρείται οδηγεί σε διαφυγή μέρους των καυσαερίων από τα ελατήρια

του εμβόλου και αύξηση της φθοράς.

Επίσης κατά την αυτανάφλεξη του καυσίμου προβλήματα μπορούν να παρουσιαστούν στην διάρκεια της εκκίνησης, όταν ο κινητήρας είναι ψυχρός οπότε η συμπίεση αρχίζει σημαντικά μετά το κάτω νεκρό σημείο και η τελική πίεση δεν είναι επαρκής ώστε να ανεβάσει στον επιθυμητό βαθμό τη θερμοκρασία του αέρα για να προκληθεί η αυτανάφλεξη. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί μερικώς με τη χρήση πτητικού καυσίμου κατά την εκκίνηση. Συνήθως χρησιμοποιείται ηλεκτρικό σύστημα για τη θέρμανση του καυσίμου πριν αυτό φθάσει στα ακροφύσια ψεκασμού, κάτι που βοηθά στην καλύτερη εξάτμιση του.

Ακόμη κατά τον σχηματισμό του μίγματος αέρα-καυσίμου είναι δυνατόν σε κάποιες περιοχές να παρουσιάζεται ένα "υπερπλούσιο" μίγμα. Αυτό το πλούσιο μίγμα μη έχοντας επαρκή ποσότητα οξυγόνου για να καεί, καίγεται ατελώς, δημιουργώντας προϊόντα μερικής οξειδωσης, δηλαδή μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστους ή μερικά οξειδωμένους υδρογονάνθρακες, όπως καρβονυλικές ενώσεις και αιθάλη. Η σχέση αέρα-καυσίμου στην οποία εμφανίζεται υψηλή εκπομπή αιθάλης είναι το μέτρο του καλού στροβιλισμού του αέρα στο θάλαμο καύσης. Ο σχεδιασμός ενός ντιζελοκινητήρα που δεν θα εκπέμπει αιθάλη είναι αδύνατος, επειδή η καύση θα παράγει πάντα αιθάλη, εξαιτίας ύπαρξης περιοχών με ανομοιογένεια.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΤΑΝΙΟΥ

Η ετοιμότητα ενός καυσίμου να αναφλεγεί όταν ψεκάζεται σένα κινητήρα diesel, φαίνεται από τον αριθμό κετανίου. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξη.

Ο αριθμός κετανίου είναι ανάλογος με τον αριθμό οκτανίου. Ο έλεγχος της ποιότητας καύσης του πετρελαίου diesel γίνεται με τη βοήθεια πρότυπου κινητήρα δοκιμών, με ευρύτερα αποδεκτό τον Κινητήρα Μέτρησης Κετανίου CFR (Cetane Engine, ASTM D-613).

Ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου ορίζεται με σύγκριση της ποιότητας ανάφλεξης, κάτω από πρότυπες συνθήκες λειτουργίας, με δύο γνωστά καύσιμα αναφοράς γνωστού αριθμού κετανίου. Τα καύσιμα αναφοράς ετοιμάζονται με ανάμιξη κανονικού δεκαεξανίου (κετανίου), στο οποίο ο αριθμός κετανίου είναι 100 επειδή έχει καλή ποιότητα καύσης, με επταμεθυλο-εννεάνιο, στο οποίο ο αριθμός κετανίου είναι 15. Αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί α-μεθυλο-εννεάνιο, στο οποίο ο αριθμός κετανίου είναι 0, αλλά από το 1964 αντικαταστάθηκε από το επτα-μεθυλο-εννεάνιο εξαιτίας της δυσκολίας ανάφλεξης που παρουσίαζε στον πρότυπο κινητήρα.

Όταν ένα καύσιμο που δοκιμάζεται έχει την ίδια ποιότητα ανάφλεξης, στον πρότυπο κινητήρα, με μίγμα ορισμένης σύστασης των δύο καυσίμων αναφοράς, ο αριθμός κετανίου ορίζεται από την εξίσωση:

ΕΓΓΥ, ότι έχουμε 2 καύσιμα
 → (Ακαλό) 100 βοήθεια
 (80) (20) - sec = ποσός χρώος
 (70) (30) καλό (60) (40) (30) (70)

π.χ. 100 οκτανία

δηλ. ότι το δοκίμαμα

σε diesel μηχανή

και ο χρόνος καθυστέρησης της αυτανάφλεξης

ήταν ίδιος με αυτός που στο

δοκιμαστικό μου ήταν άριστο

Αριθμός Κετανίου = (% κ-δεκαεξάνιο) + 0,15 (% επτα-μεθυλο-εννεάνιο)

Ο προσδιορισμός του αριθμού κετανίου, που έχει ως βάση το χρόνο, έναυσης γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Στην πιο πάνω μηχανή ελέγχου γίνεται χρήση του καυσίμου, του οποίου ζητείται ο προσδιορισμός του αριθμού κετανίου και από το σύστημα χρονομέτρησης της βραδυπορίας έναυσης καταγράφεται ο χρόνος, ο οποίος περνάει από την έγχυση του καυσίμου στη μηχανή μέχρι της έναυσης του. Μετά από αυτό χρησιμοποιείται το καύσιμο μίγμα από κ-δεκαεξάνιο και επτα-μεθυλο-εννεάνιο σε διάφορες αναλογίες, μέχρι να επιτευχθεί ο ίδιος χρόνος βραδυπορίας έναυσης με εκείνο που παρουσίασε το καύσιμο που δοκιμάζεται. Στην πράξη, η σχέση συμπίεσης του κινητήρα μεταβάλλεται για να δώσει την ίδια περίοδο καθυστέρησης ανάφλεξης του καυσίμου που δοκιμάζεται και των δύο καυσίμων αναφοράς, υψηλότερης και χαμηλότερης ποιότητας ανάφλεξης από το καύσιμο δοκιμής, τα οποία διαφέρουν λιγότερο από 5 μονάδες αριθμού κετανίου. Ο αριθμός κετανίου αγνώστων καυσίμων υπολογίζεται με παρεμβολή μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης σχέσης συμπίεσης.

Εκτός από τη μέθοδο της ASTM υπάρχει και η γερμανική μέθοδος DIN-51773 που πραγματοποιείται σε κινητήρα BASF κάτω από σταθερή σχέση συμπίεσης και σταθερή καθυστέρηση ανάφλεξης, ίση προς γωνία 20° του στροφάλου. Το δείγμα που εξετάζεται αρχίζει να ψεκάζεται 20° πριν το ΑΝΣ, ενώ ρυθμίζεται η υποπίεση του αέρα εισαγωγής ώστε η καύση να αρχίσει τη στιγμή που το έμβολο φθάνει στο ΑΝΣ. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα καύσιμα αναφοράς. Ο αριθμός κετανίου προκύπτει συγκρίνοντας την τιμή της υποπίεσης του αέρα εισαγωγής του δείγματος με τις αντίστοιχες τιμές των δειγμάτων αναφοράς.

Η βελτίωση του αριθμού κετανίου γίνεται με υδρογονοκατεργασία που αποσκοπεί στη μεταβολή της σύστασης του καυσίμου, ή με την προσθήκη βελτιωτικών του αριθμού κετανίου. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την αύξηση του αριθμού κετανίου είναι ενώσεις που αποσυντίθενται εύκολα, αυξάνουν την ταχύτητα έναρξης των αλυσιδωτών αντιδράσεων, προάγουν την ταχεία οξείδωση του καυσίμου και συντελούν στη βελτίωση της ποιότητας ανάφλεξης του καυσίμου. Οι κυριότερες κατηγορίες ενώσεων που χρησιμοποιούνται ως βελτιωτικά του αριθμού κετανίου είναι οι νιτρικοί αλκυλεστέρες, νιτρικοί αιθέρες, δινιτρικές πολυαιθυλενογλυκόλες καθώς και ορισμένα υπεροξειδία/

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ DIESEL

Τα καύσιμα diesel αποτελούν μίγματα πάρα πολλών υδρογονανθράκων από διαφορετικές κατηγορίες και οι ιδιότητες τους εξαρτώνται από την

περιεκτικότητα σε κάθε κατηγορία υδρογονανθράκων καθώς και από το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας. Οι προδιαγραφές των καυσίμων diesel της Ελληνικής αγοράς δίνονται στον Πίνακα 3-1.

Οι κυριότερες ιδιότητες των καυσίμων diesel είναι:

- Πυκνότητα
- Πτητικότητα
- Ποιότητα Ανάφλεξης-Αριθμός Κετανίου
- Δείκτης Κετανίου
- Σημείο Ανιλίνης
- Δείκτης Diesel
- Ιξώδες
- Περιεκτικότητα σε Θείο
- Σημείο Ανάφλεξης
- Τέφρα
- Εξανθράκωμα
- Νερό και Υπόστημα
- Διαβρωτικότητα
- Θερμογόνος Δύναμη
- Σημείο Θόλωσης
- Σημείο Ροής
- Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1

Προδιαγραφές Diesel της Ελληνικής Αγοράς

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΚΙΝΗΣΗΣ	ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
Πυκνότητα (g/cm ³ , 15 °C)	0,820-0,860	Αναφορά
Σημείο Ανάφλεξης (°C) ελαχ.	55	55
Ιξώδες (cSt, 40 °C)	2-4,5	6 μεγ.
Θείο (% β/β) μεγ.	0,05	0,20
Τέφρα (% β/β) μεγ.	0,01	0,02
Νερό (mg/kg) μεγ.	500	-
Νερό και Υπόστημα (%β/ο) μεγ.	-	0,1
Ανθρακούχο Υπόλειμμα (%β/β) μεγ.	0,30	0,30
Αριθμός Κετανίου ελαχ.	49	-
Δείκτης Κετανίου ελαχ.	47	40

- **Πυκνότητα**

Η *πυκνότητα*, η μάζα της μονάδας όγκου σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, μπορεί να δώσει χρήσιμες ενδείξεις για τη σύσταση και για τα χαρακτηριστικά του καυσίμου diesel σχετικά με τη λειτουργία, όπως η ποιότητα ανάφλεξης, η ισχύς, η οικονομία, οι ιδιότητες ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες και η τάση για σχηματισμό καπνού. Η πυκνότητα του καυσίμου diesel κυμαίνεται μεταξύ 820-860 kg/m³ (όσο υψηλότερη είναι η πυκνότητα, τόσο βαρύτερο είναι το υλικό) και η μέτρηση της γίνεται, με τη χρήση πυκνομέτρου, σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1298.

Αυτό το χαρακτηριστικό των προϊόντων πετρελαίου, μπορεί μερικές φορές να εκφραστεί ως σχετική πυκνότητα, που είναι ο λόγος της πυκνότητας του προϊόντος προς την πυκνότητα ίσου όγκου νερού στην ίδια θερμοκρασία, (συνήθως 60 °F ή 15,6 °C) ή σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API (American Petroleum Institute).

Η σχέση της κλίμακας API με την σχετική πυκνότητα είναι:

$$API(^{\circ}) = \frac{141,5}{SG_{60^{\circ}F}} - 131,5$$

όπου, $SG_{60^{\circ}F}$ η σχετική πυκνότητα 60°/60 °F.

Η πυκνότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία. Έχει άμεση σχέση με το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχονται στο καύσιμο καθώς και με τον αριθμό των ατόμων άνθρακα του μορίου (αύξηση των ατόμων του άνθρακα στο μόριο αυξάνει την πυκνότητα). Αναφερόμενη σε μόρια με τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα, η πυκνότητα των διαφόρων τύπων υδρογονανθράκων μεταβάλλεται με τον ακόλουθο τρόπο:

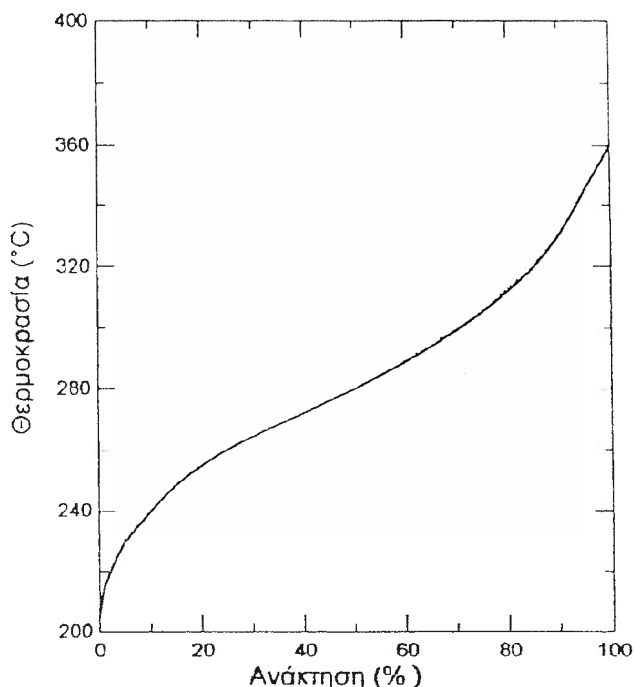
παραφινικοί < ναφθενικοί < αρωματικοί

- **Πτητικότητα**

Τα χαρακτηριστικά *πτητικότητας* ενός καυσίμου diesel, εκφράζονται σε όρους θερμοκρασίας στην οποία αποστάζουν συγκεκριμένες ποσότητες από ένα δείγμα καυσίμου, μέσα σε προτυποποιημένη συσκευή κάτω από ελεγχόμενη θέρμανση.

Στη μέθοδο ASTM D-86, η απόσταξη του καυσίμου πραγματοποιείται σε ατμοσφαιρική πίεση. Οι ατμοί που σχηματίζονται καθώς η θερμοκρασία ανεβαίνει, συμπυκνώνονται και συλλέγονται σε ογκομετρικό κύλινδρο και εκφράζονται σε ποσοστό του αρχικού όγκου (% ανάκτηση). Η θέρμανση συνεχίζεται μέχρι το καύσιμο να αρχίσει να αποσυντίθεται, ή μέχρι να μη

μπορεί να ανακτηθεί περισσότερο συμπύκνωμα. Οι θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στα ποσά που αποστάζουν κατά την πρόοδο της δοκιμής επιτρέπουν να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα καμπύλης απόσταξης, όπως το Σχ. 3-4.



Σχ. 3-4 Τυπική Καμπύλη Απόσταξης ενός Diesel

Οι θερμοκρασίες ανάκτησης του 10% και 90% ή 95% χρησιμοποιούνται ως πιο ρεαλιστικές ενδείξεις για την πτητικότητα του καυσίμου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση όρισε ότι τα diesel εντός των ορίων ευθύνης της πρέπει να έχουν μέγιστο σημείο 85% στους 350 °C και μέγιστη ανάκτηση 65% στους 250 °C.

- **Ποιότητα Ανάφλεξης-Αριθμός Κετανίου**

Η *ποιότητα ανάφλεξης* είναι η σημαντικότερη ιδιότητα του καυσίμου diesel σε σχέση με τη χρήση του σε κινητήρες. Η ετοιμότητα ενός καυσίμου να αναφλεγεί όταν ψεκάζεται σε έναν κινητήρα diesel, δείχνεται, όπως έχει αναφερθεί, από τον *αριθμό κετανίου* του. Όσο πιο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξη.

Η κατάταξη των υδρογονανθράκων ανάλογα με την ποιότητα ανάφλεξης είναι:

αρωματικοί < ναφθενικοί < ισοπαραφινικοί < παραφινικοί

Για τις ταχύστροφες ντηζελομηχανές ο αριθμός κετανίου πρέπει να είναι 45-55, στις μεσόστροφες 35-45 και στις αργόστροφες 25-30.

Πετρέλαιο diesel με αριθμό κετανίου μεγαλύτερο από εκείνον που απαιτείται για ορισμένη μηχανή, θα έχει ως αποτέλεσμα την ατελή καύση, γιατί η μεγάλη ταχύτητα έναυσης του δεν θα επιτρέπει καλή ανάμιξη με τον αέρα. Η ατελής καύση με τη σειρά της προκαλεί εξαγωγή ατμού, μείωση του βαθμού απόδοσης, εξανθρακώματα που ρυπαίνουν τον κύλινδρο και προκαλούν φθορά στις έδρες των βαλβίδων. Καύσιμο με μικρό αριθμό κετανίου, εκτός από την εμφάνιση του κτυπήματος και την θορυβώδη λειτουργία, έχει και ως αποτέλεσμα να διαρκεί περισσότερο η επίκαυση. Δηλαδή να συνεχίζεται η καύση και κατά την εκτόνωση, οπότε έχουμε μεγαλύτερη θερμοκρασία των καυσαερίων και επομένως απώλεια θερμότητας και απώλεια ισχύος. Επίσης θα έχουμε θερμική καταπόνηση του λαδιού λίπανσης της μηχανής (των κυλίνδρων) και υπερθέρμανση των βαλβίδων εξαγωγής και δυσχέρεια εκκίνησης αφού δυσχεραίνεται η ανάφλεξη.

• Δείκτης Κετανίου

Η ανάγκη χρήσης κινητήρα για τον προσδιορισμό της ποιότητας ανάφλεξης των καυσίμων diesel έχει κάνει τη μέθοδο του αριθμού κετανίου να μην είναι ιδιαίτερα ελκυστική.

Ο δείκτης κετανίου, CCI, είναι μια προσπάθεια πρόβλεψης του αριθμού κετανίου με απλούστερες αναλύσεις, όπως η πυκνότητα και η καμπύλη απόσταξης, με αρκετά καλή ακρίβεια. Η σχέση υπολογισμού, όπως δίδεται από τη μέθοδο ASTM D-4737 είναι:

$$\begin{aligned} \text{CCI} = & 45,2 + 0,0892(T_{10} - 215) + 0,131(T_{50} - 260) + 0,0523(T_{90} - 310) \\ & + 0,901(T_{50} - 260) - 0,420B(T_{90} - 310) + 0,0049(T_{10} - 215)^2 \\ & - 0,0049(T_{90} - 310)^2 + 107,0B + 60,0B^2 \end{aligned}$$

όπου:

$$B = \exp[-3,5(D-0,85)] - 1$$

$$D = \text{πυκνότητα (g/cm}^3\text{, 15 }^\circ\text{C)}$$

$$T_I = \text{θερμοκρασίες ανάκτησης (}^\circ\text{C) (I=10\%, 50\%, 90\%)}$$

• Σημείο Ανιλίνης

Το σημείο ανιλίνης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$) στην οποία 5 cm^3 καυσίμου αναμιγνύονται πλήρως με 5 cm^3 ανιλίνης ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2$). Ο προσδιορισμός γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-611. Η ανιλίνη είναι μια αρωματική ένωση, οπότε το σημείο ανιλίνης αποτελεί μια ένδειξη της περιεκτικότητας του καυσίμου σε αρωματικές ενώσεις. Όσο υψηλότερη είναι

η θερμοκρασία του σημείου ανιλίνης τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του δείγματος.

Το σημείο ανιλίνης επηρεάζεται από την παρουσία ετεροατόμων στο μόριο όπως το άζωτο και το θείο. Η μέθοδος προσδιορισμού του σημείου ανιλίνης τείνει να περιοριστεί εξαιτίας της τοξικότητας της.

- **Δείκτης Diesel**

Ο δείκτης *diesel* είναι μια εργαστηριακή μέθοδος ταχείας εκτίμησης της ποιότητας ενός καυσίμου diesel. Στηρίζεται στον προσδιορισμό ιδιοτήτων που εξαρτώνται από την δομή των περιεχομένων υδρογονανθράκων. Η μέθοδος συνδυάζει τη μέτρηση του σημείου ανιλίνης και τους βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API του καυσίμου.

Ο δείκτης diesel (Diesel Index, DI) προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση και στρογγυλεύεται στον πληρέστερο ακέραιο.

$$DI = \frac{\Sigma A \times API}{100}$$

όπου, ΣA το σημείο ανιλίνης ($^{\circ}F$) και API οι βαθμοί της πυκνομετρικής κλίμακας API.

Ο δείκτης diesel προβλέπει με αρκετά καλή ακρίβεια τον αριθμό κετανίου των καυσίμων που δεν περιέχουν βελτιωτικά του αριθμού κετανίου. Πάντως από το 1992 έχει πάψει να χρησιμοποιείται στις προδιαγραφές των καυσίμων diesel.

- **Ιξώδες**

Το ιξώδες ενός ρευστού δείχνει την αντίσταση του στη ροή. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη ροή, και μπορεί να εκφραστεί ως απόλυτο ιξώδες, ή ως κινηματικό ιξώδες.

Το δυναμικό με το κινηματικό ιξώδες συνδέονται με τη σχέση:

$$\nu = \mu / d$$

όπου, ν το κινηματικό ιξώδες (cSt), μ το δυναμικό ιξώδες (cP) και d η πυκνότητα (g/cm^3).

Το ιξώδες είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα που επηρεάζει την διάσπαση του καυσίμου σε πολύ μικρά σταγονίδια στο ακροφύσιο του καυστήρα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες τόσο δυσκολότερη είναι η διάσπαση. Επίσης και

η λιπαντική ικανότητα του καυσίμου (λίπανση κινητών εξαρτημάτων του συστήματος ψεκασμού) μπορεί να εκτιμηθεί από το ιξώδες του.

Το ιξώδες μετριέται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-445 και καθώς μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία, πρέπει να αναφέρεται η θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση του. Η θερμοκρασία αναφοράς για το diesel είναι συνήθως 20 °C ή 40 °C.

- **Περιεκτικότητα σε Θείο**

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε. Το θείο βρίσκεται στο diesel με τη μορφή θειούχων ενώσεων (μερκαπτάνες, σουλφίδια). Ο προσδιορισμός του γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-4294.

Η μείωση της περιεκτικότητας σε θείο γίνεται με κατεργασία του καυσίμου σε μονάδες υδρογονοαποθείωσης, οι οποίες πρέπει να πετύχουν υψηλότερους βαθμούς μετατροπής για να μπορέσουν να πετύχουν τα αυστηρά όρια που ισχύουν (0,035% β/β). Επίσης η μείωση της περιεκτικότητας του diesel σε θείο είχε ως συνέπεια τη μείωση της λιπαντικής ικανότητας εξαιτίας της αφαίρεσης αρωματικών ενώσεων κατά την αποθείωση.

Η παρουσία του θείου είναι ανεπιθύμητη για περιβαλλοντικούς λόγους (εξαιτίας της ρύπανσης που προκαλείται από την μετατροπή του θείου σε SO₂), επειδή συμβάλλει στο σχηματισμό αποθέσεων στο θάλαμο καύσης και επειδή έχει βλαβερή επίδραση στην μηχανή, εξαιτίας της μετατροπής του σε SO₂ και στη συνέχεια σε θειικό οξύ που είναι έντονα διαβρωτικό.

- **Σημείο Ανάφλεξης**

Το σημείο ανάφλεξης (*flash point*) είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του καυσίμου με προσαγωγή όταν αυτό θερμαίνεται κάτω από πρότυπες συνθήκες.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του σημείου ανάφλεξης είναι η ASTM D-93 κατά Pensky-Martens. Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς, και αποτελεί την πρώτη ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά (π.χ. με βενζίνη). Για το diesel η ελάχιστη τιμή για το σημείο ανάφλεξης είναι 55 °C.

- **Τέφρα**

Τα diesel μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες υλικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό τέφρας κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να

δημιουργήσουν προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, καθώς και φθορά στο έμβολο ή τα ελατήρια.

Η τέφρα προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-482. Για τον προσδιορισμό της τέφρας καίγεται μια ποσότητα καυσίμου μέχρι να καταναλωθεί όλη η ποσότητα του καυσίμου, και να απομείνουν μόνο τα άκαυστα ανόργανα συστατικά. Εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου και για το diesel η ελάχιστη τιμή της κυμαίνεται από 0,01- 0,02% β/β.

- **Εξανθράκωμα**

Κατά τη διάρκεια της καύσης μια μικρή ποσότητα βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο είναι δυνατόν αντί να οξειδωθούν πλήρως να πολυμεριστούν σχηματίζοντας ένα είδος ανθρακούχου κοιτάσματος.

Το *εξανθράκωμα* προσδιορίζει την τάση του καυσίμου να δημιουργεί ανθρακούχες ενώσεις. Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του είναι η ASTM D-189 και η ASTM D-524.

Αναφέρεται στο % κατά βάρος ανθρακούχο υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση δείγματος πετρελαίου κάτω από ορισμένες συνθήκες. Για το diesel δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0,3% β/β.

Τα μεγάλα εξανθράκωμα ρυπαίνουν κυλίνδρους, εγχυτήρες, τις θυρίδες σάρωσης κ.λ.π.

- **Νερό και Υπόστημα**

Το νερό δεν μπορεί να απομακρυνθεί εντελώς από το diesel. Μπορεί να εισέλθει στο καύσιμο κατά τις διεργασίες παραγωγής ή από το δίκτυο αποθήκευσης και μεταφοράς. Η ύπαρξη νερού στο καύσιμο υποβοηθά την ανάπτυξη μυκήτων και βακτηρίων που μπορεί να οδηγήσουν σε φραγή των φίλτρων καυσίμου.

Το *υπόστημα* που εμφανίζεται στο diesel είναι ή ανόργανης προσέλευσης (σωματίδια μετάλλων και σκουριά από τις δεξαμενές αποθήκευσης) ή οργανικής προσέλευσης (συσσωμάτωση ολεφινών από πυρολυμένα gasoil).

Το νερό και το υπόστημα συμβάλλουν στη φραγή των φίλτρων των δικτύων διανομής και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα εξαιτίας διάβρωσης και φθοράς του συστήματος ψεκασμού. Η πιο απλή μέθοδος μέτρησης τους είναι η φυγοκέντριση (ASTM D-1796).

Ο σχηματισμός γαλακτωμάτων του καυσίμου με νερό μπορεί να δώσει μια θολερότητα στην εμφάνιση του καυσίμου, κάτι που προκαλεί προβλήματα διάθεσης του στην αγορά.

Η ποσότητα του νερού στο diesel δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 500 mg/kg και ο προσδιορισμός του μπορεί να γίνει σύμφωνα

με τη μέθοδο ASTM D-1744.

- **Διαβρωτικότητα**

Ένα από τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα καύσιμο diesel είναι η εξασφάλιση ότι δεν θα προσβάλλει τα μέταλλα με τα οποία θα έρχεται σε επαφή στο σύστημα αποθήκευσης διανομής και τροφοδοσίας από συγκεκριμένες ενώσεις θείου που έχουν διαβρωτικό χαρακτήρα.

Η διαβρωτικότητα μετριέται με τη μέθοδο ASTM D-130 και για το diesel η ένδειξη διαβρωτικότητας είναι ASTM No.3.

- **Θερμογόνος Δύναμη**

Το θερμικό περιεχόμενο είναι μια βασική ιδιότητα ενός καυσίμου. Είναι μια μέτρηση ενέργειας που ελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Ο όρος που χρησιμοποιείται είναι *θερμογόνος δύναμη* και μετριέται με χρήση ειδικού θερμιδόμετρου σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-240. Όταν δεν είναι δυνατός ο πειραματικός προσδιορισμός της, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα. Εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μάζα ή όγκου καυσίμου. Αναφέρεται ως ανώτερη και ως κατώτερη, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση. Η διαφορά τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο. Η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου επηρεάζεται και από την περιεκτικότητα του σε θείο, νερό και τέφρα.

Σημείο Θόλωσης

Το *σημείο θόλωσης* είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται διαχωρισμός κρυστάλλων παραφίνης από το καύσιμο, όταν αυτό ψυχθεί κάτω από ειδικές συνθήκες σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-2500. Η μέθοδος αυτή δίνει τα πιο απαισιόδοξα αποτελέσματα, καθώς η εμφάνιση των πρώτων κρυστάλλων δεν περιορίζει τη δυνατότητα ροής του καυσίμου.

- **Σημείο Ροής**

Το *σημείο ροής* δίνει τη θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός παραφίνης είναι τόσο έντονος που δεν επιτρέπει στο καύσιμο να είναι ρευστό, όταν ψυχθεί κάτω από ειδικές συνθήκες. Προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-97 που έχει πολύ μικρή ακρίβεια και μεγάλα όρια επαναληψιμότητας και αναπαραγωγισιμότητας.

Το πρόβλημα με το σημείο θόλωσης και το σημείο ροής είναι ότι δίνουν δύο ακραίες θερμοκρασίες: αυτής της εμφάνισης των πρώτων κρυστάλλων παραφίνης και αυτής στην οποία η διαχωρισμένη παραφίνη δεν επιτρέπει στο καύσιμο να είναι ρευστό. Καμία από τις δύο δοκιμές δεν δίνει την ενδιαμέση θερμοκρασία στην οποία η ποσότητα της παραφίνης είναι ικανή να εμποδίσει τη ροή σε ένα σύστημα τροφοδοσίας κινητήρα ή καυστήρα.

- **Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου**

Η αδυναμία του σημείου θόλωσης και του σημείου ροής να προβλέψουν την ικανότητα ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες έκανε επιτακτική την ανάγκη ύπαρξης μιας δυναμικής μεθόδου δοκιμής που θα προσομοιάζει τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Το *σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου* (cold filter plugging point, CFPP) χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για αυτό το σκοπό. Στη μέθοδο αυτή, το καύσιμο εξαναγκάζεται να περάσει από ένα φίλτρο καθώς ψύχεται. Μετρείται η τελευταία θερμοκρασία στην οποία 20 cm³ καυσίμου μπορούν να περάσουν μέσα από το φίλτρο σε λιγότερα από 60 sec κάτω από τις συνθήκες της μεθόδου. Για το diesel η θερμοκρασία αυτή είναι -5 °C.

BIONTHZEΛ

Το *βιοντήζελ* αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια ως ένα πιθανό εναλλακτικό καύσιμο του συμβατικού πετρελαϊκού diesel. Ο κύριος λόγος για το αυξημένο ενδιαφέρον που παρατηρείται είναι ότι το βιοντήζελ αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο όρος βιοντήζελ καλύπτει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων που προέρχονται από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη και συγκεκριμένα είναι ένα μίγμα μεθυλεστέρων λιπαρών οξέων που έχει ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές του συμβατικού ντήζελ.

Αν και οι ντηζελοκινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν με καθαρό βιοντήζελ, παρόλα ταύτα οι περισσότερες δοκιμές πραγματοποιούνται με μίγματα βιοντήζελ με συμβατικό ντήζελ. Μετρήσεις σε κινητήρες που χρησιμοποιούν μίγμα ντήζελ με βιοντήζελ έχουν δείξει μείωση των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογονανθράκων και σωματιδίων, αλλά και αύξηση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου, ανεξάρτητα από το χρονισμό του ψεκασμού του καυσίμου.

Η θερμογόνο δύναμη του βιοντήζελ είναι μικρότερη από αυτή του συμβατικού ντήζελ αλλά οι μετρήσεις δεν έχουν δείξει ότι υπάρχει αξιοσημείωτη μείωση της απόδοσης ή της αυτοδυναμίας του οχήματος που το χρησιμοποιεί. Το καθαρό βιοντήζελ έχει καλή λιπαντική ικανότητα και δεν περιέχει καθόλου θείο ή αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Όμως έχει σχετικά υψηλό σημείο ροής κάτι που δυσχεραίνει τη χρήση του σε χαμηλές

θερμοκρασίες. Είναι βιοποικοδομήσιμο, αλλά μπορεί ταυτόχρονα να λειτουργήσει ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση του. Επίσης είναι περισσότερο ευπαθές στην οξείδωση σε σχέση με το συμβατικό ντήζελ.

3-6 Μαζούτ

Ο όρος μαζούτ ή πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (Fuel Oil) αναφέρεται σε βαριά προϊόντα τα οποία είναι υπολείμματα της απόσταξης του αργού πετρελαίου, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα προϊόντα του αργού πετρελαίου που είναι αποστάγματα.

Γενικά, το μαζούτ είναι ένα μαύρο παχύρευστο σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας καύσιμο με τη χαμηλότερη τιμή πώλησης. Οι προδιαγραφές της αγοράς θέτουν περιορισμούς κυρίως στο ιξώδες και στην περιεκτικότητα του σε θείο.

Τα βασικά συστατικά για την παρασκευή των μαζούτ, είναι τα βαριά υπολείμματα από όλες τις διεργασίες. Στα σύγχρονα διωλιστήρια το υπόλειμμα της ατμοσφαιρικής απόσταξης είναι σπάνιο επειδή χρησιμοποιείται σε άλλες διεργασίες για την αύξηση της παραγωγής των λευκών προϊόντων (συγκεκριμένα η εισαγωγή της καταλυτικής πυρόλυσης οδήγησε στην απόσταξη υπό κενό του υπολείμματος της ατμοσφαιρικής απόσταξης). Το υπόλειμμα απόσταξης υπό κενό είναι πολύ βαρύ και δε μπορεί να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές της αγοράς. Η ιξωδόλυση των βαρέων υπολειμμάτων έλυσε ως ένα σημείο το πρόβλημα, αφού παράγει σημαντικές ποσότητες υπολείμματος με ικανοποιητικό ιξώδες. Η πιο συνήθης πρακτική όμως είναι η ανάμιξη των βαρέων υπολειμμάτων με ελαφρά συστατικά (αποστάγματα), ώστε το τελικό προϊόν να έχει το επιθυμητό ιξώδες. Από τα βαρέα υπολείμματα προτιμάται η χρήση gasoil που προέρχονται από πυρολυτικές διεργασίες, εξαιτίας της κακής του ποιότητας για την παραγωγή diesel. Για λόγους ασφαλείας αποκλείεται η χρήση ελαφρών συστατικών της κλάσης της βενζίνης και της κηροζίνης.

Για την παρασκευή μαζούτ χαμηλού θείου, επειδή το κόστος αποθείωσης των υπολειμμάτων είναι πολύ υψηλό και η τιμή του τελικού προϊόντος είναι χαμηλή, χρησιμοποιείται υπόλειμμα απόσταξης αργού πετρελαίου χαμηλού θείου.

Στην Ελλάδα διατίθενται δύο τύποι μαζούτ, το No.1 και το No.3. Η διαφορά των δύο τύπων είναι η ρευστότητά τους. Το No.1 είναι χαμηλού ιξώδους και το No.3 υψηλού. Και οι δύο τύποι υπάρχουν στην αγορά με δύο περιεκτικότητες σε θείο, χαμηλού θείου και υψηλού θείου. Οι τύποι μαζούτ είναι ακόμη γνωστοί στην αγορά ως μαζούτ 1500 και μαζούτ 3500. Οι ονομασίες αυτές προέρχονται από την προδιαγραφή του ιξώδους τους

σύμφωνα με τη μέθοδο Redwood, η οποία δεν χρησιμοποιείται πλέον επίσημα.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΖΟΥΤ

Οι κυριότερες ιδιότητες των μαζούτ είναι:

- Πυκνότητα
- Ιξώδες
- Περιεκτικότητα σε Θείο
- Θερμογόνος Δύναμη
- Σημείο Ανάφλεξης
- Τέφρα
- Εξανθράκωμα
- Νερό και Υπόστημα
- Ασφαλτένια

• Πυκνότητα

Η πυκνότητα είναι το πηλίκο μάζας δια τον όγκο του καυσίμου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η μέτρηση της πυκνότητας στα μαζούτ γίνεται με τη χρήση πυκνομέτρου σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1298. Η θερμοκρασίες μέτρησης είναι λίγο πάνω από τους 50 °C, ώστε το δείγμα να είναι πλήρως ομογενοποιημένο και ρευστό. Στη συνέχεια η τιμή της πυκνότητας ανάγεται στη θερμοκρασία αναφοράς των 15 °C.

Η πυκνότητα μπορεί μερικές φορές να εκφραστεί ως σχετική πυκνότητα, που είναι ο λόγος της πυκνότητας του προϊόντος προς την πυκνότητα ίσου όγκου νερού στην ίδια θερμοκρασία, (συνήθως 60 °F ή 15,6 °C) ή σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API. Η σχέση της κλίμακας API με την σχετική πυκνότητα είναι:

$$API(^{\circ}) = \frac{141,5}{SG_{60^{\circ}F}} - 131,5$$

όπου, $SG_{60^{\circ}F}$ η σχετική πυκνότητα 60°/60 °F.

Η πυκνότητα είναι μια σημαντική ιδιότητα γιατί σχετίζεται με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου και με τη ρύθμιση του καυστήρα στον οποίο θα χρησιμοποιηθεί το μαζούτ. Η πυκνότητα του μαζούτ στο No.1 κυμαίνεται στη περιοχή 991- 970 kg/m³ και στο No.3 στην περιοχή 880-995 kg/m³. Η πυκνότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία και αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Επίσης εξαρτάται από είδος των υδρογονανθράκων του

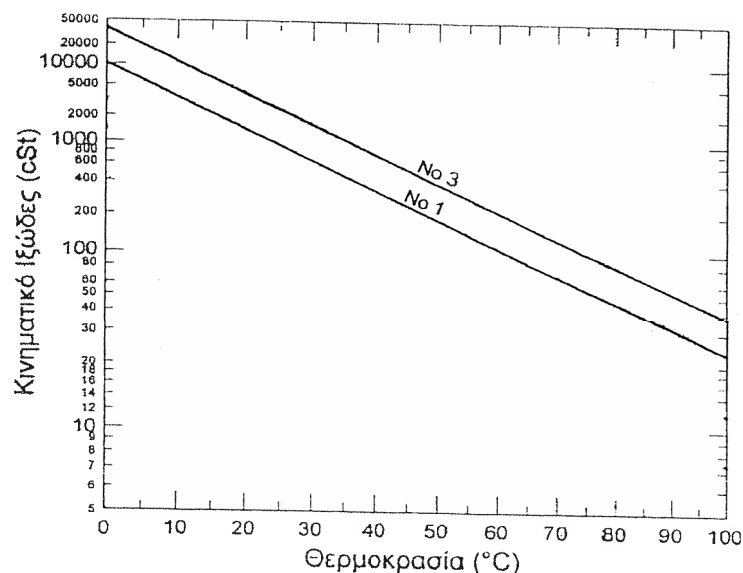
καυσίμου. Καύσιμο με υψηλή πυκνότητα σημαίνει ότι περιέχει σε μεγάλη αναλογία αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

- **Ιξώδες**

Το ιξώδες ενός ρευστού αποτελεί ένα μέτρο της εσωτερικής του αντίστασης στη ροή. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη ροή. Μπορεί να εκφραστεί ως απόλυτο ιξώδες (cP) ή ως κινηματικό ιξώδες (cSt).

Το ιξώδες μπορεί να μετρηθεί σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-445 και καθώς μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία, πρέπει να αναφέρεται η θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση του. Για να είναι τα μαζούτ νευτώνια ρευστά, όπως το απαιτεί η μέθοδος, το ιξώδες τους μετριέται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία των 50 °C. Η μέγιστη τιμή του ιξώδους των μαζούτ είναι 180 cSt στους 50 °C.

Το ιξώδες είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα που μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία και που επηρεάζει τη διάσπαση του μαζούτ σε πολύ μικρά σταγονίδια στο ακροφύσιο του καυστήρα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο δυσκολότερη είναι η διάσπαση. Η μείωση του ιξώδους του μαζούτ γίνεται με προθέρμανση. Για αυτό το λόγο τα μαζούτ πριν οδηγηθούν στον καυστήρα πάντα προθερμαίνονται σε θερμοκρασία, που δίνεται από διαγράμματα ιξώδους-θερμοκρασίας. Τα διαγράμματα αυτά δίνουν, για τα διάφορα είδη του μαζούτ, τη θερμοκρασία της αναγκαίας προθέρμανσης για την εξασφάλιση καλής αντλητικότητας και ψεκασμού (βλ. Σχ.3-5).



Σχ. 3-5 Μεταβολή του Ιξώδους με τη Θερμοκρασία για Μαζούτ No.1 και No.3

- **Περιεκτικότητα σε Θείο**

Η περιεκτικότητα σε θείο, εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε. Το θείο που περιέχεται στο καύσιμο μπορεί να βρίσκεται τόσο υπό την μορφή των θειούχων ενώσεων όσο και ενωμένο με τους υδρογονάνθρακες είτε σε ευθύγραμμη αλυσίδα είτε σε δακτύλιο.

Η μέτρηση του γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D 4294 και η μέγιστη συγκέντρωση του στα μαζούτ μπορεί να φθάσει σε 3,5% β/β.

Το θείο είναι ανεπιθύμητο επειδή κατά την καύση του μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου που είναι όξινο και διαβρωτικό. Το πρόβλημα γίνεται οξύτερο όταν σχηματιστεί τριοξείδιο του θείου που με τους υδρατμούς των καυσαερίων γίνεται θειικό οξύ που επιτείνει τα προβλήματα διάβρωσης, ενώ μειώνει και το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης (επειδή για να αποφευχθεί η συμπύκνωση των όξινων καυσαερίων, τα καυσαέρια εγκαταλείπουν την εγκατάσταση σε υψηλή θερμοκρασία).

- **Θερμογόνος Δύναμη**

Η θερμογόνος δύναμη είναι η ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Η θερμογόνος δύναμη προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-240 και εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μάζα ή ανά όγκο καυσίμου. Η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται ως ανώτερη και ως κατώτερη ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση (υγρή και αέρια αντίστοιχα). Η διαφορά τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο. Η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου επηρεάζεται και από την περιεκτικότητα σε θείο, νερό και τέφρα. Όταν δεν είναι δυνατός ο πειραματικός προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης με την χρήση των ειδικών θερμιδόμετρων, για τον προσδιορισμό της μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα. Ο σχήσεις αυτές, που έχουν και πολύ ικανοποιητική ακρίβεια, είναι:

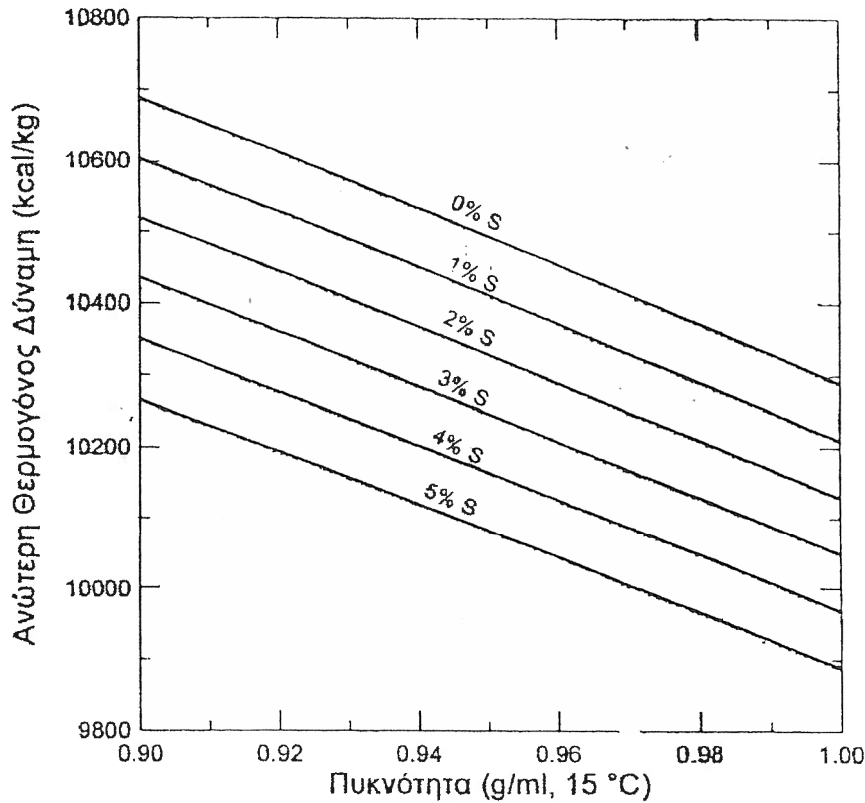
$$A\Theta\Delta = (12403 - 2101d^2) \left(1 - \frac{S+Y+T}{100}\right) + 2251 \frac{S}{100}$$

$$K\Theta\Delta = (12403 - 2101d^2 + 761 d) \left(1 - \frac{S+Y+T}{100}\right) + 2251 \frac{S}{100} - 585 \frac{Y}{100}$$

όπου, AΘΔ η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg), KΘΔ η κατώτερη θερμογόνος δύναμη, d η πυκνότητα (g/cm³), S η συγκέντρωση του θείου (% β/β), Y η συγκέντρωση του νερού (% β/β) και T η συγκέντρωση

της τέφρας (% β/β).

Στο Σχ. 3-6 δίνεται ένα τυπικό νομογράφημα με το οποίο μπορεί να γίνει εκτίμηση της θερμογόνου δύναμης των μαζούτ όταν είναι γνωστή η περιεκτικότητα σε θείο και η πυκνότητά τους.



Σχ. 3-6 Νομογράφημα Υπολογισμού της Θερμογόνου Δύναμης των Μαζούτ

- **Σημείο Ανάφλεξης**

Το *σημείο ανάφλεξης (flash point)* είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του καυσίμου με προσαγωγή όταν αυτό θερμαίνεται κάτω από πρότυπες συνθήκες. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του σημείου ανάφλεξης είναι η ASTM D-93 κατά Pensky-Martens. Επίσης χρησιμοποιείται και η μέθοδος ASTM D-92 κατά Cleveland. Το σημείο ανάφλεξης καθορίζει εν μέρει τα ελαφρύτερα συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του τελικού προϊόντος. Αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς, και αποτελεί την πρώτη ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά (βενζίνη). Για τα μαζούτ η ελάχιστη τιμή για το σημείο ανάφλεξης είναι 66 °C.

- **Τέφρα**

Τα μαζούτ μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες υλικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό τέφρας κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, καθώς και φθορά στις εγκαταστάσεις μεταφοράς θερμότητας, στο έμβολο ή τα ελατήρια. Η εναπόθεση τέφρας στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας εκτός από τη διάβρωση μειώνει και το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, άρα και την απόδοση της θερμικής εγκατάστασης.

Η τέφρα προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-482. Για τον προσδιορισμό της τέφρας καίγεται μια ποσότητα καυσίμου μέχρι να καταναλωθεί όλη η ποσότητα του καυσίμου, και να απομείνουν μόνο τα άκαυστα ανόργανα συστατικά. Εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου και για τα μαζούτ η ελάχιστη τιμή της κυμαίνεται από 0,1-0,15% β/β.

Από τα μέταλλα που περιέχονται στην τέφρα, αυτά που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι το νάτριο και το βανάδιο. Ο λόγος είναι ότι τα οξειδία τους έχουν χαμηλό σημείο τήξης και μπορούν έτσι να μεταφερθούν και να εναποτεθούν σε διάφορα σημεία της θερμικής εγκατάστασης, προκαλώντας προβλήματα διάβρωσης και μείωσης της απόδοσης.

- **Εξανθράκωμα**

Κατά τη διάρκεια της καύσης μια μικρή ποσότητα βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο είναι δυνατόν αντί να οξειδωθούν πλήρως να πολυμεριστούν σχηματίζοντας ένα είδος ανθρακούχου κοιτάσματος.

Το *εξανθράκωμα* προσδιορίζει την τάση του καυσίμου να δημιουργεί ανθρακούχες ενώσεις. Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του είναι η ASTM D-189 και η ASTM D-524.

Αναφέρεται στο % κατά βάρος ανθρακούχο υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση δείγματος πετρελαίου κάτω από ορισμένες συνθήκες και για τα μαζούτ δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 17% β/β. Τα μεγάλα εξανθράκωμα ρυπαίνουν κυλίνδρους, εγχυτήρες, τις θυρίδες σάρωσης κλπ.

- **Νερό και Υπόστημα**

Το νερό δεν μπορεί να απομακρυνθεί εντελώς από τα μαζούτ, με απλές μεθόδους, επειδή έχει παραπλήσια πυκνότητα με αυτά. Μπορεί να εισέλθει στο καύσιμο κατά τις διεργασίες παραγωγής ή από το δίκτυο αποθήκευσης και μεταφοράς.

Το υπόστημα που εμφανίζεται στα μαζούτ είναι ή ανόργανης προέλευσης

(σωματίδια μετάλλων και σκουριά από τις δεξαμενές αποθήκευσης) ή οργανικής προέλευσης (συσσωμάτωση ολεφινών από πυρολυμένα gasoil). Το πρόβλημα του υπόστμηματος είναι πιο έντονο όταν το μαζούτ έχει προέλθει από ανάμιξη ενός βαρέως υπολείμματος πυρολυτικών διεργασιών με gasoil από απόσταξη. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται συχνά διαχωρισμός βαρέων συστατικών εξαιτίας ασυμβατότητας μεταξύ των υδρογονανθράκων που υπάρχουν στα δύο συστατικά.

Το νερό και το υπόστημα μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα εξαιτίας διάβρωσης και φθοράς του συστήματος ψεκασμού. Η πιο απλή μέθοδος μέτρησης τους είναι με φυγοκέντριση (ASTM D-1796). Η ποσότητα του νερού δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 500 mg/kg και προσδιορισμός του μπορεί να γίνει σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1744.

• Ασφαλτένια

Τα ασφαλτένια είναι στερεές καύσιμες ουσίες που αποτελούν ένα πολύπλοκο μίγμα πολυπυρηνικών συμπλεγμάτων. Ως κλάσμα του αργού πετρελαίου περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, θείο, άζωτο, οξυγόνο και σε μικρότερα ποσοστά βαριά μέταλλα όπως νικέλιο, σίδηρο και βανάδιο.

Το ποσοστό των ασφαλτενίων κυμαίνεται μεταξύ 0,5-2% στα ελαφρύτερα καύσιμα, 6-8% στα βαρύτερα και 10-12% στα καύσιμα πυρόλυσης.

Η ολική αναλογία των ασφαλτενίων μπορεί να αυξηθεί είτε με την παρέλευση του χρόνου είτε με πολυμερισμό όταν το πετρέλαιο εναποθηκεύεται κάτω από υψηλή θερμοκρασία ή οξειδώνεται ερχόμενο σε επαφή με τον αέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2

Τυπική Σύσταση Ασφαλτενίων

Νικέλιο	190 ppm
Βανάδιο	695 ppm
Θείο	10 % β/β
Άζωτο-Οξυγόνο	2,25% β/β
Άνθρακας	79,6% β/β
Υδρογόνο	7,65% β/β
Υδρογονάνθρακες	10,4% β/β

Τα ασφαλτένια δεν έχουν συγκεκριμένο σημείο τήξης. Είναι σκληρά και εύθραυστα, έχουν σκούρο χρώμα και αυξάνουν την ενέργεια κατά την καύση.

Όταν οι συνθήκες το ευνοούν τα ασφαλτένια έχουν την τάση να χωρίζονται από το υπόλοιπο καύσιμο σχηματίζοντας ένα αδιάλυτο υπόστημα (βλ.Κεφ.6). Επίσης τα μέταλλα που περιέχουν τα ασφαλτένια κατά την καύση μετατρέπονται στα αντίστοιχα οξείδια (τέφρα) προκαλώντας προβλήματα φθοράς στις εγκαταστάσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται.

Τα ασφαλτένια είναι σφαιρικοί υδρατμοάνεμοφοι

Κεφάλαιο Τέταρτο

Χαρακτηριστικά Ποιότητας των Καυσίμων

4-1 Εισαγωγή

Οι κυριότερες φυσικές και χημικές ιδιότητες με τις οποίες αξιολογούμε τα καύσιμα είναι:

- Θερμογόνος Δύναμη
- Πυκνότητα
- Ιξώδες
- Σημείο Ανάφλεξης
- Σημείο Ροής
- Αριθμός Οκτανίου
- Αριθμός Κετανίου
- Περιεκτικότητα σε Νερό
- Περιεκτικότητα σε Θείο
- Τέφρα
- Εξανθράκωμα

4-2 Θερμογόνος Δύναμη

Η *θερμογόνος δύναμη* είναι το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται από την πλήρη καύση της μονάδας μάζας καυσίμου κάτω από ορισμένες συνθήκες. Η *θερμογόνος δύναμη* (calorific value, c.v.) εκφράζεται σε kJ/kg ή kcal/kg ή BTU/lb και μπορεί να μετρηθεί απευθείας με θερμιδόμετρο. Για τα αέρια καύσιμα η *θερμογόνος δύναμη* εκφράζεται ανά μονάδα όγκου π.χ. σε kJ/m³. Η σημασία της *θερμογόνου δύναμης* των υγρών καυσίμων είναι περιορισμένη επειδή για τα καύσιμα αυτά κυμαίνεται σε περιορισμένα όρια (8500-11000 kcal/kg), ενώ αντίθετα αποτελεί το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό των στερεών καυσίμων.

Τα προϊόντα της καύσης περιέχουν νερό, που προέρχεται από το υδρογόνο που περιέχει το καύσιμο και από τη υγρασία που είναι δυνατόν να περιέχει. Κατά τον προσδιορισμό της *θερμογόνου δύναμης* το νερό που περιέχεται στα καυσαέρια συμπυκνώνεται αποδίδοντας τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης που, με τον τρόπο αυτό, συμπεριλαμβάνεται στην *θερμογόνο δύναμη* του καυσίμου. Αυτή η *θερμογόνος δύναμη* του καυσίμου, που περιέχει και τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού, ονομάζεται *Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ)*.

Όταν χρησιμοποιούμε όμως τα καύσιμα σε μια εστία, το νερό που υπάρχει στα καυσαέρια είναι στην αέρια φάση (ατμός) με συνέπεια η θερμότητα που

μπορούμε, στην πραγματικότητα, να παραλάβουμε από το καύσιμο να είναι μικρότερη από την ΑΘΔ του καυσίμου. Η θερμογόνος αυτή δύναμη, η οποία δεν περιλαμβάνει τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού που περιέχεται στα καυσαέρια, ονομάζεται *Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ)* του καυσίμου. Δηλαδή η διαφορά μεταξύ ανώτερης και κατώτερης θερμογόνου δύναμης (ΑΘΔ – ΚΘΔ) είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού που περιέχουν τα καυσαέρια ανά μονάδα μάζας καυσίμου. Είναι προφανές ότι καύσιμα που δεν περιέχουν υγρασία ή υδρογόνο π.χ. ο καθαρός ξηρός άνθρακας, έχουν την ίδια ανώτερη και κατώτερη θερμογόνο δύναμη.

Η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το αν η καύση γίνεται σε σταθερό όγκο ή σταθερή πίεση. Εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία του καυσίμου και των προϊόντων της καύσης. Συνήθως αναφέρεται για αρχική και τελική θερμοκρασία 25 °C και σταθερή πίεση 1 atm. Η θερμογόνος δύναμη είναι τόσο μεγαλύτερη όσο περισσότερο υδρογόνο περιέχεται στα καύσιμα και είναι μικρότερη στα βαρύτερα καύσιμα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα βαρύτερα καύσιμα έχουν σχέση C/H μεγαλύτερη από όσο τα ελαφρύτερα κλάσματα, και επομένως αποδίδουν λιγότερες θερμίδες. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από 9500-10200 kcal/kg για τα καύσιμα Diesel και από 10200-10400 kcal/kg για τα καύσιμα των βενζινομηχανών.

Η μέτρηση της θερμογόνου δύναμης με θερμιδόμετρα διαφόρων τύπων απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό και παίρνει πολύ χρόνο για να ολοκληρωθεί. Επί πλέον η επαναληψιμότητα της μεθόδου είναι σχετικά μικρή. Για τους λόγους αυτούς είναι προτιμότερο η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου να υπολογίζεται από εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα με βάση την χημική σύσταση του καυσίμου ή την πυκνότητα ή την περιεκτικότητα σε θείο, σε νερό και σε τέφρα. (βλ. και Κεφ.3 και Κεφ.6).

Ο υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης με βάση την χημική σύσταση βασίζεται στην διαπίστωση ότι τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το καύσιμο (C, H, S), αποδίδουν κατά την τέλεια καύση τους το ίδιο ποσό θερμότητας, είτε καίονται μόνα τους είτε καίονται υπό μορφή χημικών ενώσεων που αποτελούν το καύσιμο. Το οξυγόνο όχι μόνο δεν δίνει θερμότητα κατά την καύση του καυσίμου, αλλά αντίθετα θεωρείται ότι δεσμεύει στο μόριο του καυσίμου υδρογόνο ίσο με το 1/8 του βάρους του (γιατί με αυτή την αναλογία ενώνονται τα δύο αυτά στοιχεία μεταξύ τους), μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο.

Αφού ληφθούν υπόψη οι θερμομαντικές αξίες του άνθρακα, υδρογόνου και θείου ότι είναι 8100, 34400 και 2500 kcal/kg αντίστοιχα, η ΑΘΔ του καυσίμου, σε kcal/kg, υπολογίζεται από την σχέση:

$$ΑΘΔ = 8100 C + 34400 (H - O/8) + 2500 S$$

όπου, C, H, O και S η % β/β περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο αντίστοιχα.

Η ΚΘΔ του καυσίμου, σε kcal/kg, αφού ληφθεί υπόψη ότι κάθε kg νερού δεσμεύει 600 περίπου θερμίδες για να παραμείνει σε κατάσταση υδρατμού και η κατώτερη θερμαντική αξία του υδρογόνου είναι 29000 kcal/kg υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{ΚΘΔ} = 8100 \text{ C} + 29000 (\text{H} - \text{O}/8) + 2500 \text{ S} - 600 \text{ Y}$$

όπου, C, H, O, S και Y η % β/β περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, θείο και νερό αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό της θερμαντικής ικανότητας του καυσίμου, σε kcal/kg, με βάση την πυκνότητα του εφαρμόζεται ο εμπειρικός τύπος:

$$\Theta\Delta = 12400 - 2100 d^2$$

όπου, d η πυκνότητα του καυσίμου σε g/cm³.

4-3 Πυκνότητα

Η πυκνότητα είναι η απόλυτη σχέση μεταξύ της μάζας και του όγκου σε μία δηλωμένη θερμοκρασία. Η μονάδα μέτρησης της πυκνότητας στο SI είναι kg/m³.

Η πυκνότητα είναι μια σημαντική ιδιότητα διότι:

- Είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της ποσότητας του καυσίμου (μετατροπή του όγκου σε βάρος) κατά την παραλαβή του καυσίμου
- Μας παρέχει κάποιες ενδείξεις για την ποιότητα του καυσίμου. Όπως έχει προαναφερθεί τα αρωματικά και ασφαλούχα συστατικά έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτήν του καυσίμου, οπότε όσο ελαφρύτερο είναι το καύσιμο τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του
- Χρησιμεύει για τον έμμεσο υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης και της ποιότητας ανάφλεξης

Η πυκνότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία και είναι πάντοτε αντίστροφα ανάλογη της θερμοκρασίας, διότι όταν θερμανθεί ένα υγρό αυξάνει ο όγκος του και κατά συνέπεια μικραίνει η πυκνότητα του. Για αυτό όταν δίδεται η τιμή της πυκνότητας ενός καυσίμου πρέπει να αναφέρεται και η θερμοκρασία στην οποία αντιστοιχεί.

Η θερμοκρασία στην οποία συνήθως αναφέρεται η πυκνότητα στο SI είναι 15 °C οι δε διακανονισμοί των καυσίμων γίνονται στους 60 °F/15,5 °C. Εφόσον η πυκνότητα εκφράζεται στους 60 °F ή 15 °C δεν είναι απαραίτητη η αναφορά της θερμοκρασίας, εάν όμως εκφράζεται σε διαφορετική θερμοκρασία αυτή πρέπει να αναφέρεται.

Η μέτρηση της πυκνότητας γίνεται με ειδικά όργανα που ονομάζονται *πυκνόμετρα* ή *αραιόμετρα*. Η λειτουργία των πυκνομέτρων στηρίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη, κατά την οποία στη θέση ισορροπίας ένα σώμα βυθίζεται μέσα μέσα υγρό τόσο λιγότερο όσο πυκνότερο είναι το υγρό. Για να μετρηθεί η πυκνότητα ενός υγρού με πυκνόμετρο ή αραιόμετρο πρέπει να βυθιστεί αυτό μέσα στο υγρό και, όταν ισορροπήσει, να σημειωθεί το βάθος μέχρι το οποίο έχει βυθιστεί και να διαβαστεί στην κλίμακα βαθμολόγησης του πυκνομέτρου η υποδιαίρεση εκείνη, που η επιφάνεια του υγρού τέμνει την κλίμακα. Η ένδειξη αυτή παριστάνει τη ζητούμενη πυκνότητα, συνήθως σε g/cm^3 , στην θερμοκρασία ελέγχου. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία ελέγχου είναι ανώτερη ή κατώτερη της θερμοκρασίας των 60 °F ή των 15 °C απαιτείται η διόρθωση της πυκνότητας.

Επειδή τα καύσιμα εκτός των άλλων προσμίξεων περιέχουν κεριά και άλλα ασφαλούχα συστατικά, τα οποία ως παχύρευστα δυσχεραίνουν την μέτρηση της πυκνότητας, η μέτρηση της πυκνότητας γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία (40-80 °C) και στη συνέχεια εκφράζεται στην επιθυμητή θερμοκρασία (60 °F ή 15 °C). Η αναγωγή της τιμής της πυκνότητας από μια θερμοκρασία σε άλλη γίνεται με τη βοήθεια του συντελεστή διόρθωσης της πυκνότητας. Ο τρόπος υπολογισμού και οι σχετικοί πίνακες που περιέχουν το συντελεστή διόρθωσης της πυκνότητας δίδονται στα παραδείγματα που ακολουθούν (βλ. Παράδειγμα 4-3, 4-4, 4-5 και 4-6).

Επειδή το βάρος μιας συγκεκριμένης ποσότητας καυσίμου παραμένει πάντα σταθερό, με την μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλεται, εκτός από την πυκνότητα, και ο όγκος των καυσίμων. Με το συντελεστή διόρθωσης του όγκου και το συντελεστή μεταβολής του όγκου μπορεί να υπολογισθεί, όταν είναι γνωστός ο όγκος ενός καυσίμου σε μια ορισμένη θερμοκρασία, η μεταβολή αυτού, όταν αλλάξει η θερμοκρασία εφόσον ληφθεί υπόψη ότι ο όγκος αυξομειώνεται ανάλογα με την θερμοκρασία. Ο τρόπος υπολογισμού και ένα απόσπασμα των σχετικών πινάκων που περιέχουν το συντελεστή διόρθωσης του όγκου και το συντελεστή μεταβολής του όγκου δίδονται στα παραδείγματα που ακολουθούν (βλ. Παράδειγμα 4-7 και 4-8).

Σχετική πυκνότητα μιας ουσίας στις θερμοκρασίες θ_1/θ_2 καλείται ο λόγος της πυκνότητας, ρ , της ουσίας στην θερμοκρασία θ_1 προς την πυκνότητα, ρ' , ίσου όγκου κάποιας ουσίας αναφοράς στην θερμοκρασία θ_2 .

$$\rho_{\text{σχετ.}} = \rho (\text{στους } \theta_1) / \rho' (\text{στους } \theta_2)$$

Εάν πολλαπλασιαστούν επί g και οι δύο όροι του κλάσματος της προηγούμενης σχέσης προκύπτει το *σχετικό ειδικό βάρος*, που είναι αριθμητικά ίσο με τη σχετική πυκνότητα. Έτσι, το σχετικό ειδικό βάρος είναι ο λόγος των δύο πυκνοτήτων, δηλαδή της πυκνότητας της ουσίας προς την πυκνότητα κάποιας ουσίας αναφοράς.

Ως ουσία αναφοράς για τα υγρά και στερεά χρησιμοποιείται το νερό. Η πυκνότητα των υγρών μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της πίεσης αλλά όπως αναφέρθηκε παραπάνω μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Επομένως για να οριστεί με ακρίβεια η σχετική πυκνότητα ενός υγρού, πρέπει να καθοριστούν οι θερμοκρασίες στις οποίες μετριοούνται οι πυκνότητες του υγρού και της ουσίας αναφοράς (δηλ. του νερού) π.χ.,

$$\text{σχετική πυκνότητα υγρού} = 0,73 \quad 20^{\circ}/4^{\circ}$$

σημαίνει ότι η σχετική πυκνότητα του υγρού, δηλαδή η πυκνότητα του υγρού στους 20°C ως προς την πυκνότητα του νερού στους 4°C είναι 0,73.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε μερικές άλλες χώρες η πυκνότητα των πετρελαιοειδών καθορίζεται σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API. Αυτή είναι μια αυθαίρετη κλίμακα που υιοθετείται από το Αμερικανικό Ίδρυμα Πετρελαίου (American Petroleum Institute) για την έκφραση της σχετικής πυκνότητας και του σχετικού ειδικού βάρους των πετρελαίων. Η σχέση της κλίμακας API με την σχετική πυκνότητα και το σχετικό ειδικό βάρος είναι:

$$\text{API} = (141,5 / \text{σχετική πυκνότητα } 60^{\circ}/60^{\circ}\text{F}) - 131,5$$

$$\text{API} = (141,5 / \text{σχετικό ειδικό βάρος } 60^{\circ}/60^{\circ}\text{F}) - 131,5$$

και αντίστοιχα,

$$\text{σχετική πυκνότητα } 60^{\circ}/60^{\circ}\text{F} = 141,5 / (\text{API} + 131,5)$$

$$\text{σχετικό ειδικό βάρος } 60^{\circ}/60^{\circ}\text{F} = 141,5 / (\text{API} + 131,5)$$

Επίσης κατά προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση,

$$\text{API} = 141,5/\rho - 131,5$$

όπου, ρ η πυκνότητα του καυσίμου στους 15°C σε g/cm^3 ή kg/l .

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι όσο πιο μικρή είναι η πυκνότητα τόσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της κλίμακας API και τόσο πιο ελαφρύ είναι το προϊόν.

Όταν η ένδειξη του πυκνομέτρου παριστάνει τη ζητούμενη πυκνότητα σε βαθμούς της κλίμακας Baume για τον υπολογισμό πυκνότητας, σε g/cm^3 ή kg/l , χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\rho = 140 / (\text{Βαθμοί Baume} + 130)$$

και αντίστοιχα

$$\text{Βαθμοί Baume} = (140 / \rho) - 130$$

όπου, ρ η πυκνότητα σε g/cm^3 ή kg/l .

Ακόμη, όταν η ένδειξη του πυκνομέτρου παριστάνει τη ζητούμενη πυκνότητα σε βαθμούς της κλίμακας Baume για τον υπολογισμό των βαθμών API χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\text{API} = (\text{Βαθμοί Baume} - 1,017) - 0,109$$

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν πίνακες, όπως ο Πίνακας 4-1, που αποτελεί ένα απόσπασμα των πινάκων αυτών, στους οποίους παρουσιάζονται τα ειδικά βάρη σε μονάδες API στους 60°F και οι αντιστοιχίες αυτών σε σχετικό ειδικό βάρος $60/60^\circ\text{F}$ και σε πυκνότητα 15°C (πυκνότητα κενού σε g/cm^3 ή kg/l).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1

Αντιστοιχίες τιμών API Gravity 60°F , Σχετικό Ειδικό Βάρος $60/60^\circ\text{F}$ και Πυκνότητας* 15°C (kg/l ή g/cm^3)

API Gravity 60°F	Σχετ.Ειδικό Βάρος $60/60^\circ\text{F}$	Πυκνότητα* 15°C
11,29	0,991	0,9904
11,14	0,992	0,9914
11,00	0,993	0,9924
10,85	0,994	0,9934
10,71	0,995	0,9944
10,57	0,996	0,9954
10,43	0,997	0,9964
10,28	0,998	0,9974

* πυκνότητα κενού

Από πίνακες επίσης, μπορεί να υπολογιστεί το ειδικό βάρος ενός καυσίμου σε βαθμούς API στους 60 °F όταν είναι γνωστό το ειδικό βάρος του σε μονάδες API σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία από 0 μέχρι 139 °C. Ο Πίνακας 4-2 αποτελεί ένα απόσπασμα των πινάκων αυτών και η χρήση του θα εξηγηθεί στο Παράδειγμα 4-2.

Παράδειγμα 4-1

Η πυκνότητα ενός καυσίμου είναι 21 ° της κλίμακας Boume σε θερμοκρασία 60 °F. Να βρεθεί η αντίστοιχη πυκνότητα του στην αυτή θερμοκρασία.

Λύση: Για τον υπολογισμό της πυκνότητας, ρ , χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$\rho = 140 / (\text{Βαθμοί Boume} + 130)$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$\rho = 140 / (21 + 130) = 0,9271 \text{ g/cm}^3$$

Παράδειγμα 4-2

Να βρεθούν οι βαθμοί της κλίμακας API (60 °F) ενός καυσίμου όταν το ειδικό βάρος του σε βαθμούς API στους 71 °F είναι 9 API.

Λύση:

Εάν για οποιονδήποτε λόγο το ειδικό βάρος σε βαθμούς API ενός καυσίμου

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2

Μεταβολή των Βαθμών API Αναφοράς (Observed)
σε βαθμούς API στους 60 °F

Observed Temperature, °F	API Gravity at Observed Temperature							
	5	6	7	8	9	10	11	12
	Corresponding API Gravity at 60 °F							
70	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5
71	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,4	11,4
72	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	9,4	10,4	11,4

αναφέρεται σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία (observed) από την θερμοκρασία των 60 °F, π.χ. 9 API στους 71 °F, αυτή πρέπει να διορθωθεί (corrected) στην θερμοκρασία των 60 °F. Η διόρθωση αυτή γίνεται με την χρήση του Πίνακα 4-2.

Στην οριζόντια στήλη API Gravity at Observed Temperature βρίσκουμε το ποσό 9, και στην κάθετη Observed Temperature °F βρίσκουμε την θερμοκρασία 71 °F. Παίρνοντας τις δύο συντεταγμένες βρίσκουμε ότι το ειδικό βάρος σε βαθμούς API (API Gravity) είναι 8,5 στην θερμοκρασία των 60 °F.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Όπως έχει προαναφερθεί όταν είναι γνωστή η πυκνότητα ενός καυσίμου σε μία ορισμένη θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί η μεταβολή αυτής, όταν αλλάξει η θερμοκρασία, με τη βοήθεια του συντελεστή διόρθωσης της πυκνότητας, K . Ο υπολογισμός αυτός είναι ακριβής όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται όχι περισσότερο από 10 °C ή 20 °F. Εάν η διαφορά θερμοκρασίας υπερβαίνει το όριο των 20 °F υπολογίζεται η πυκνότητα πρώτα 60 °F και στη συνέχεια στην ζητούμενη θερμοκρασία (βλ. Παράδειγμα 4-5).

Για τον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη ότι η πυκνότητα αυξάνει με την πτώση της θερμοκρασίας και αντίστροφα. Ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας βρίσκεται από πίνακες εφόσον είναι γνωστή η πυκνότητα του καυσίμου. Οι πίνακες αυτοί έχουν ως βάση την μεταβολή της πυκνότητας του καυσίμου ανάλογα με το είδος ή την πυκνότητα αυτού σε μια διαφορά θερμοκρασίας. Ο Πίνακας 4-3 αναφέρεται σε υπολογισμό για μεταβολές ανά βαθμό °C και ο Πίνακας 4-4 αναφέρεται σε υπολογισμό για μεταβολές ανά βαθμό °F.

Επίσης όταν είναι γνωστή η τιμή της πυκνότητας ενός καυσίμου στους 15 °C ή 60 °F για τον υπολογισμό της τιμής της πυκνότητας σε μια διαφορετική θερμοκρασία, T , μπορεί να εφαρμοστεί και η παρακάτω σχέση:

$$\rho_T = \rho_{15} - (T - 15) K$$

ή

$$\rho_T = \rho_{60} - (T - 60) K$$

όπου, ρ_{15} η πυκνότητα σε g/cm³ στους 15 °C, ρ_{60} η πυκνότητα σε g/cm³ στους 60 °F, ρ_T η πυκνότητα σε g/cm³ στους T °C και K ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας, η τιμή του οποίου εξαρτάται από το είδος του καυσίμου (για μαζούτ $K = 0,00064$, για Diesel $K = 0,00068$ και για βενζίνη $K = 0,00074$).

Αντίστοιχα, αν η μέτρηση της πυκνότητας γίνεται σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία T , η αναγωγή στους 15 °C ή 60 °F γίνεται με την ακόλουθη

σχέση:

$$\rho_{15} = \rho_T + (T-15) K$$

ή

$$\rho_{60} = \rho_T + (T-60) K$$

όπου, ρ_{15} η πυκνότητα σε g/cm^3 στους $15\text{ }^\circ\text{C}$, ρ_{60} η πυκνότητα σε g/cm^3 στους $60\text{ }^\circ\text{F}$, ρ_T η πυκνότητα σε g/cm^3 στους $T\text{ }^\circ\text{C}$ και K ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας, η τιμή του οποίου εξαρτάται από το είδος του καυσίμου (για μαζούτ $K = 0,00064$, για Diesel $K = 0,00068$ και για βενζίνη $K = 0,00074$).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3

Συντελεστής Διόρθωσης της Πυκνότητας των Καυσίμων
για Αλλαγές Θερμοκρασίας
Συντελεστής Διόρθωσης ανά $1\text{ }^\circ\text{C}$

Πυκνότητα (g/cm^3)	Συντελεστής Διόρθωσης Πυκνότητας ανά $1\text{ }^\circ\text{C}$
0,810-0,827	0,00068
0,828-0,838	0,00067
0,839-0,853	0,00066
0,854-0,871	0,00065
0,872-0,911	0,00064
0,912-0,978	0,00063
0,979-1,030	0,00062

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4

Συντελεστής Διόρθωσης της Πυκνότητας των Καυσίμων
για Αλλαγές Θερμοκρασίας
Συντελεστής Διόρθωσης ανά 1 °F

Πυκνότητα (g/cm ³)	Συντελεστής Διόρθωσης Πυκνότητας ανά 1 °F
0,810-0,828	0,00038
0,829-0,860	0,00037
0,861-0,925	0,00036
0,926-1,025	0,00035

Παράδειγμα 4-3

Η πυκνότητα ενός καυσίμου είναι 0,950 kg/l στους 25 °C. Να βρεθεί η πυκνότητα του στους 15 °C.

Λύση:

Από τον Πίνακα 4-3 βρίσκουμε ότι για πυκνότητα 0,950 ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας είναι:

$$0,00063/°C$$

Επομένως για μεταβολή $(25 - 15) = 10$ °C έχουμε διαφορά στην πυκνότητα:

$$0,00063 \cdot 10 = 0,0063$$

Επειδή η πυκνότητα αυξάνει με την πτώση της θερμοκρασίας:

$$\text{Πυκνότητα στους } 15 \text{ °C} = 0,950 + 0,0063 = 0,9563 \text{ kg/l}$$

ή

$$\rho_{15} = \rho_T + (T-15) K$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$\rho_{15} = \rho_{25} + (T-15) K = 0,950 + (25 - 15) 0,00063 = 0,9563 \text{ kg/l}$$

Παράδειγμα 4-4

Η πυκνότητα ενός καυσίμου είναι $0,9820 \text{ g/cm}^3$ στους $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Να βρεθεί η πυκνότητα του στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Λύση:

Από τον Πίνακα 4-3 βρίσκουμε ότι για πυκνότητα $0,9820$ ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας είναι:

$$0,00062/^\circ\text{C}$$

Επομένως για μεταβολή $(25 - 15) = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ έχουμε διαφορά στην πυκνότητα:

$$0,00062 \cdot 10 = 0,0062$$

Επειδή η πυκνότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας:

$$\text{Πυκνότητα στους } 25 \text{ }^\circ\text{C} = 0,9820 - 0,0062 = 0,9758 \text{ g/cm}^3$$

ή

$$\rho_T = \rho_{15} - (T-15) K$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$\rho_{25} = \rho_{15} - (25 - 15) K = 0,9820 - (25 - 15) 0,00062 = 0,9758 \text{ g/cm}^3$$

Παράδειγμα 4-5

Η πυκνότητα ενός καυσίμου είναι $0,8650 \text{ kg/l}$ στους $30 \text{ }^\circ\text{F}$. Να βρεθεί η πυκνότητα στους $74 \text{ }^\circ\text{F}$.

Λύση:

Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας είναι μεγάλη $(74 - 30) = 44 \text{ }^\circ\text{F}$ και υπερβαίνει το όριο των $20 \text{ }^\circ\text{F}$, υπολογίζουμε πρώτα την πυκνότητα στους $60 \text{ }^\circ\text{F}$.

Από τον Πίνακα 4-4 βρίσκουμε ότι για πυκνότητα 0,8650 ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας είναι:

$$0,00036/^{\circ}\text{F}$$

Επομένως για μεταβολή $(60 - 30) = 30$ °F έχουμε διαφορά στην πυκνότητα:

$$0,00036 \cdot 30 = 0,0108$$

Επειδή η πυκνότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας:

$$\text{Πυκνότητα στους } 60 \text{ }^{\circ}\text{F} = 0,8650 - 0,0108 = 0,8542 \text{ kg/l}$$

Από τον Πίνακα 4-4 βρίσκουμε ότι για πυκνότητα 0,8542 ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας είναι:

$$0,00037/^{\circ}\text{F}$$

Επομένως για μεταβολή $(74 - 60) = 14$ °F έχουμε διαφορά στην πυκνότητα:

$$0,00037 \cdot 14 = 0,0052$$

Επειδή η πυκνότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας:

$$\text{Πυκνότητα στους } 74 \text{ }^{\circ}\text{F} = 0,8542 - 0,0052 = 0,8490 \text{ kg/l}$$

ή

$$\rho_T = \rho_{60} - (T - 60) K$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$\rho_{74} = \rho_{60} - (74 - 60) K = 0,8542 - (74 - 60) 0,00037 = 0,8490 \text{ kg/l}$$

Παράδειγμα 4-6

Η συνολική απόσταση ενός ταξιδιού είναι 2780 μίλια, η μέση ωριαία ταχύτητα του πλοίου 16 μίλια και η μέση ημερήσια κατανάλωση καυσίμου, με καλές καιρικές συνθήκες 35 τόνοι. Εάν το ποσοστό ασφαλείας είναι 20% της κανονικής κατανάλωσης και ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας $K = 0,00034/^{\circ}\text{F}$ να υπολογισθεί η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου (σε τόνους)

και η απαιτούμενη χωρητικότητα δεξαμενών (σε m^3) όταν το πλοίο πρόκειται να παραλάβει καύσιμα θερμοκρασίας $80\text{ }^\circ\text{F}$ και πυκνότητας (g/cm^3) $0,950/60\text{ }^\circ\text{F}$.

Λύση:

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ημερήσια απόσταση που θα διανύσει το πλοίο είναι με καλές καιρικές συνθήκες είναι:

$$24 \cdot 16 = 384 \text{ μίλια}$$

και ο συνολικός χρόνος του ταξιδιού:

$$2780/384 = 7,24 \text{ (7 ημέρες και 6 ώρες)}$$

Η κατανάλωση του καυσίμου για τον παραπάνω χρόνο είναι:

$$35 \cdot 7,24 = 253,4 \text{ τόνοι}$$

Εάν λάβουμε υπόψη και το ποσοστό ασφαλείας η συνολική ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται είναι:

$$253,4 + 20\% \cdot 253,4 = 304,08 \text{ τόνοι}$$

Εφόσον η θερμοκρασία παραλαβής του καυσίμου είναι μεγαλύτερη των $60\text{ }^\circ\text{F}$ απαιτείται η διόρθωση της πυκνότητας για τον υπολογισμό του χώρου τον οποίο θα καταλάβει το καύσιμο των $304,08$ τόνων στις δεξαμενές του πλοίου.

Η πυκνότητα του καυσίμου στους $80\text{ }^\circ\text{F}$ βρίσκεται αφού λάβουμε υπόψη και τον συντελεστή διόρθωσης της πυκνότητας ότι είναι $K = 0,00034/^\circ\text{F}$.

Επομένως για μεταβολή $(80 - 60) = 20\text{ }^\circ\text{F}$ έχουμε διαφορά στην πυκνότητα:

$$0,00034 \cdot 20 = 0,0068$$

Επειδή η πυκνότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας:

$$\text{Πυκνότητα στους } 80\text{ }^\circ\text{F} = 0,950 - 0,0068 = 0,9432 \text{ g/cm}^3 \text{ ή } 943,2 \text{ kg/m}^3$$

ή

$$\rho_T = \rho_{60} - (T - 60) K$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$\rho_{80} = \rho_{60} - (80 - 60) K = 0,950 - (80 - 60) 0,00034 = 0,9432 \text{ g/cm}^3$$

Οπότε η απαιτούμενη χωρητικότητα των δεξαμενών για καύσιμο των 304,08 τόνων ή 304080 kg είναι:

$$V = m/\rho = 304080/943,2 = 322,39 \text{ m}^3$$

Επίσης:

- Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα κατάλοιπα των δεξαμενών καυσίμου, τα οποία όπως είναι γνωστό, δεν είναι δυνατόν να αντληθούν και τα οποία δεν πρέπει να είναι λιγότερα των 5 τόνων ανά δεξαμενή.
- Εάν η θερμοκρασία παραλαβής του καυσίμου ήταν μεγαλύτερη, ακόμη μεγαλύτερος θα ήταν ο χώρος, τον οποίο θα χρειαζόμαστε, για την αποθήκευση του και αντίθετα.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ

Ο όγκος μιας ποσότητας καυσίμου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία εκφράζεται ως όγκος αναφοράς στη συγκεκριμένη θερμοκρασία ενώ ο πραγματικός όγκος εκφράζεται πάντοτε στη θερμοκρασία των 15 °C και 60 °F.

Όπως είναι γνωστό ο όγκος των καυσίμων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μειώνεται με την μείωση της. Όπως έχει προαναφερθεί όταν είναι γνωστός ο όγκος ενός καυσίμου σε μία ορισμένη θερμοκρασία μπορεί να υπολογισθεί η μεταβολή αυτού όταν αλλάξει η θερμοκρασία εφόσον βρεθεί από πίνακες ο συντελεστής διόρθωσης του όγκου. Οι πίνακες αυτοί έχουν ως βάση την μεταβολή του όγκου του καυσίμου ανάλογα με το είδος ή την πυκνότητα αυτού σε μια διαφορά θερμοκρασίας. Ο Πίνακας 4-5 αναφέρεται σε υπολογισμό για μεταβολές ανά βαθμό °C και ο Πίνακας 4-6 αναφέρεται σε υπολογισμό για μεταβολές ανά βαθμό °F.

Παράδειγμα 4-7

Ο όγκος μιας ποσότητας καυσίμου είναι 52550 lt στους 38 °C. Η πυκνότητα του καυσίμου είναι 0,8380 g/cm³ στους 24 °C. Να υπολογισθεί ο όγκος του στους 15 °C.

Λύση:

Θα υπολογίσουμε πρώτα την πυκνότητα του καυσίμου στους 15 °C. Από τον Πίνακα 4-3 βρίσκουμε ότι για πυκνότητα 0,8380 ο συντελεστής διόρθωσης της πυκνότητας είναι:

$$0,00067/^\circ\text{C}$$

Επομένως για μεταβολή $(24 - 15) = 9 \text{ }^\circ\text{C}$ έχουμε διαφορά στην πυκνότητα:

$$0,00067 \cdot 9 = 0,0060$$

Επειδή η πυκνότητα αυξάνει με την πτώση της θερμοκρασίας:

$$\text{Πυκνότητα στους } 15 \text{ }^\circ\text{C} = 0,8380 + 0,0060 = 0,8440 \text{ g/cm}^3$$

ή

$$\rho_{15} = \rho_T + (T-15) K$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$\rho_{15} = \rho_{24} + (T-15) K = 0,8380 + (24 - 15) 0,00067 = 0,8440 \text{ g/cm}^3$$

Από τον Πίνακα 4-5 βρίσκουμε ότι ο συντελεστής διόρθωσης του όγκου για πυκνότητα $\rho_{15} = 0,8440$ είναι:

$$0,00081/^\circ\text{C}$$

Επομένως για μεταβολή $(38 - 15) = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ έχουμε διαφορά όγκου :

$$0,00081 \cdot 23 = 0,01863$$

Οπότε η ολική διαφορά του όγκου είναι:

$$52550 \cdot 0,01863 = 979 \text{ lt}$$

Επειδή το όγκος ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας, ο όγκος του πετρελαίου στους $15 \text{ }^\circ\text{C}$ θα είναι:

$$\text{Όγκος στους } 15 \text{ }^\circ\text{C} = 52550 - 979 = 51571 \text{ lt}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5

Συντελεστής Διόρθωσης του Όγκου Καυσίμων
για Αλλαγές Θερμοκρασίας
Συντελεστής ανά 1 °C

Πυκνότητα (g/cm ³)	Συντελεστής Διόρθωσης Όγκου ανά 1 °C
0,810-0,813	0,00088
0,814-0,817	0,00087
0,818-0,823	0,00086
0,824-0,828	0,00085
0,829-0,833	0,00084
0,834-0,838	0,00083
0,839-0,843	0,00082
0,844-0,848	0,00081
0,849-0,854	0,00080
0,855-0,859	0,00079
0,860-0,869	0,00078
0,870-0,876	0,00077
0,877-0,882	0,00076
0,883-0,893	0,00075
0,894-0,902	0,00074
0,903-0,912	0,00073
0,913-0,925	0,00072
0,926-0,937	0,00071
0,938-0,955	0,00070
0,956-0,970	0,00069
0,971-0,982	0,00068
0,983-0,997	0,00067
0,998-1,005	0,00066
1,006-1,015	0,00065
1,016-1,020	0,00064
1,021-1,030	0,00063

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6

Συντελεστής Διόρθωσης του Όγκου Καυσίμων
για Αλλαγές Θερμοκρασίας
Συντελεστής ανά 1 °F

Πυκνότητα (g/cm ³)	Συντελεστής Διόρθωσης Όγκου ανά 1 °F
0,810-0,815	0,00049
0,816-0,823	0,00048
0,824-0,832	0,00047
0,833-0,842	0,00046
0,843-0,852	0,00045
0,853-0,862	0,00044
0,863-0,875	0,00043
0,876-0,890	0,00042
0,891-0,907	0,00041
0,908-0,930	0,00040
0,931-0,952	0,00039
0,953-0,976	0,00038
0,977-1,000	0,00037
1,001-1,018	0,00036
1,019-1,030	0,00035

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ

Με τον συντελεστή μεταβολής του όγκου, όπως και με τον συντελεστή διόρθωσης του όγκου, μπορεί να υπολογισθεί η μεταβολή του όγκου ενός καυσίμου όταν μεταβληθεί η θερμοκρασία του σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Συντελεστής Μεταβολής του Όγκου} = V_{15} / V_T$$

ή

$$\text{Συντελεστής Μεταβολής του Όγκου} = V_{60} / V_T$$

όπου, V_{15} ο όγκος του καυσίμου στους 15 °C, V_{60} ο όγκος του καυσίμου στους 60 °F και V_T ο όγκος του καυσίμου στη δεδομένη θερμοκρασία (observed) T.

Ο συντελεστής μεταβολής του όγκου ενός καυσίμου, σε μια δεδομένη θερμοκρασία (observed) υπολογίζεται από πίνακες εφόσον είναι γνωστή η πυκνότητα του στους 15° C ή το ειδικό βάρος του σε βαθμούς API στους 60 °F και η θερμοκρασία μεταβολής. Ο Πίνακας 4-7 και ο Πίνακας 4-8 αποτελούν ένα απόσπασμα των πινάκων αυτών και δίνονται για εξηγηθεί η χρήση τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7

Συντελεστής Μεταβολής του Όγκου στη Δεδομένη Θερμοκρασία όταν γνωρίζουμε την Πυκνότητα στους 15 °C

ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΥΣ 15 °C				
	0,960	0,970	0,980	0,985	0,990
°C	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΣΤΟΥΣ 15 °C				
30,0	0,9898	0,9899	0,9900	0,9901	0,9901
30,5	0,9894	0,9896	0,9897	0,9897	0,9898
44,5	0,9800	0,9803	0,9805	0,9806	0,9807
45	0,9797	0,9799	0,9802	0,9803	0,9804

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8

Συντελεστής Μεταβολής του Όγκου στη Θερμοκρασία Αναφοράς όταν γνωρίζουμε το Ειδικό Βάρος σε Βαθμούς API στους 60 °F

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	API GRAVITY ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
	0	1	2	3	4
° F	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΣΤΟΥΣ 60 °F				
10	1,0194	1,0197	1,0200	1,0203	1,0206
20	1,0162	1,0164	1,0167	1,0169	1,0171
90	0,9902	0,9901	0,9900	0,9899	0,9898
100	0,9869	0,9867	0,9866	0,9865	0,9863

Παράδειγμα 4-8

Ο όγκος ενός καυσίμου στους 45 °C είναι 800 m³. Εάν η πυκνότητα του καυσίμου στους 15 °C είναι 0,960 kg/l να βρεθεί ο όγκος του στους 15 °C.

Λύση:

Από τον Πίνακα 4-7 μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή μεταβολής του όγκου ενός καυσίμου στη δεδομένη θερμοκρασία (observed) των 45 °C όταν γνωρίζουμε την πυκνότητα του στους 15° C με τον παρακάτω τρόπο.

Στην οριζόντια στήλη "Πυκνότητα στους 15 °C" βρίσκουμε την πυκνότητα 0,960 και στην κάθετη στήλη "Δεδομένη Θερμοκρασία" την θερμοκρασία των 45 °C. Στη συνέχεια παίρνοντας τις δύο συντεταγμένες βρίσκουμε τον συντελεστή μεταβολής του όγκου ίσο με 0,9797.

Επειδή ο όγκος μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας ο όγκος του καυσίμου στους 15 °C θα είναι:

$$800 \cdot 0,9797 = 783,76 \text{ m}^3$$

ή

$$\text{Συντελεστής Μεταβολής του Όγκου} = V_{15} / V_{45}$$

και με αντικατάσταση προκύπτει ότι:

$$V_{15} = 0,9797 \cdot 800 = 783,76 \text{ m}^3$$

* Στο ίδιο αποτέλεσμα θα καταλήγαμε και με τον συντελεστή διόρθωσης του όγκου. Συγκεκριμένα:

Από τον Πίνακα 4-5 βρίσκουμε τον συντελεστή διόρθωσης του όγκου για πυκνότητα 0,960:

$$0,00069/^\circ\text{C}$$

Επομένως για μεταβολή (45 – 15) = 30 °C έχουμε διαφορά όγκου:

$$0,00069 \cdot 30 = 0,0207$$

Οπότε η ολική διαφορά του όγκου είναι:

$$800 \cdot 0,0207 = 16,56 \text{ m}^3$$

Επειδή ο όγκος μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας ο όγκος του καυσίμου στους 15 °C θα είναι:

$$\text{Όγκος στους } 15 \text{ } ^\circ\text{C} = 800 - 16,56 = 783,44 \text{ m}^3$$

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΚΕΝΟ - ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

Οι όροι "πυκνότητα στο κενό" ή "πυκνότητα στον αέρα" χρησιμοποιούνται μερικές φορές στις αποδείξεις παραλαβής ή παράδοσης. Στα καύσιμα ναυτιλίας η διαφορά μεταξύ της πυκνότητας στο κενό και της πυκνότητας στον αέρα προσεγγίζει το 0,0011 kg/l ή g/cm³. Αν ληφθεί υπόψη ότι το βάρος ενός υγρού στον αέρα είναι μικρότερο από το βάρος του στο κενό, για την μετατροπή της "πυκνότητας στο κενό" σε "πυκνότητα στον αέρα" πρέπει να αφαιρεθούν 0,0011 kg/l ή g/cm³ (βλ. και Κεφ.6).

Οι τιμές της πυκνότητας που δίνονται είναι δυνατόν να αναφέρονται στην "πυκνότητα στο κενό" ή στην "πυκνότητα στον αέρα". Για τον λόγο αυτό, πριν χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι σχετικές διευκρινήσεις.

Παράδειγμα 4-9

Παραλαμβάνονται 500000 l καυσίμου σε θερμοκρασία 15 °C. Στην απόδειξη παραλαβής η πυκνότητα του καυσίμου, στους 15 °C, (πυκνότητα στο κενό) αναφέρεται ότι είναι 0,9904 kg/l. Να βρεθεί η ποσότητα παραλαβής.

Λύση:

Για τον υπολογίσαμε την ποσότητα παραλαβής πρέπει να βρεθεί η "πυκνότητα στον αέρα" του καυσίμου.

Δεδομένου ότι η "πυκνότητα στο κενό" του καυσίμου είναι 0,9904 kg/l ή "πυκνότητα στον αέρα" του καυσίμου βρίσκεται ότι είναι:

$$0,9904 - 0,0011 = 0,9893 \text{ g/cm}^3 \text{ ή } 0,9893 \text{ kg/l}$$

Επομένως έχουμε:

$$0,9893 \cdot 500000 = 494650 \text{ kg που αντιστοιχούν σε } 494,65 \text{ τόνους.}$$

4-4 Ιξώδες

Το ιξώδες ενός ρευστού αποτελεί ένα μέτρο της εσωτερικής του αντίστασης

στη ροή. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη ροή και αντίστροφα. Μπορεί να εκφραστεί ως απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες ή ως κινηματικό ιξώδες.

Η μονάδα μέτρησης του απόλυτου ή δυναμικού ιξώδους, μ , στο SI είναι το pascal επί δευτερόλεπτο (Pa s). Μια μονάδα που χρησιμοποιείται συχνά για τη μέτρηση του απόλυτου ιξώδους είναι το poise (P), το οποίο ισούται με το 1/10 του Pa s:

$$1 \text{ poise} = 0,1 \text{ Pa s}$$

Στην πράξη χρησιμοποιείται συνήθως το centipoise (cP):

$$1 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ poise} = 10^{-3} \text{ Pa s}$$

Το απόλυτο ή δυναμικό με το κινηματικό ιξώδες συνδέονται με την σχέση:

$$\nu = \mu / \rho$$

όπου, ν το κινηματικό ιξώδες, μ το απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες και ρ η πυκνότητα του ρευστού.

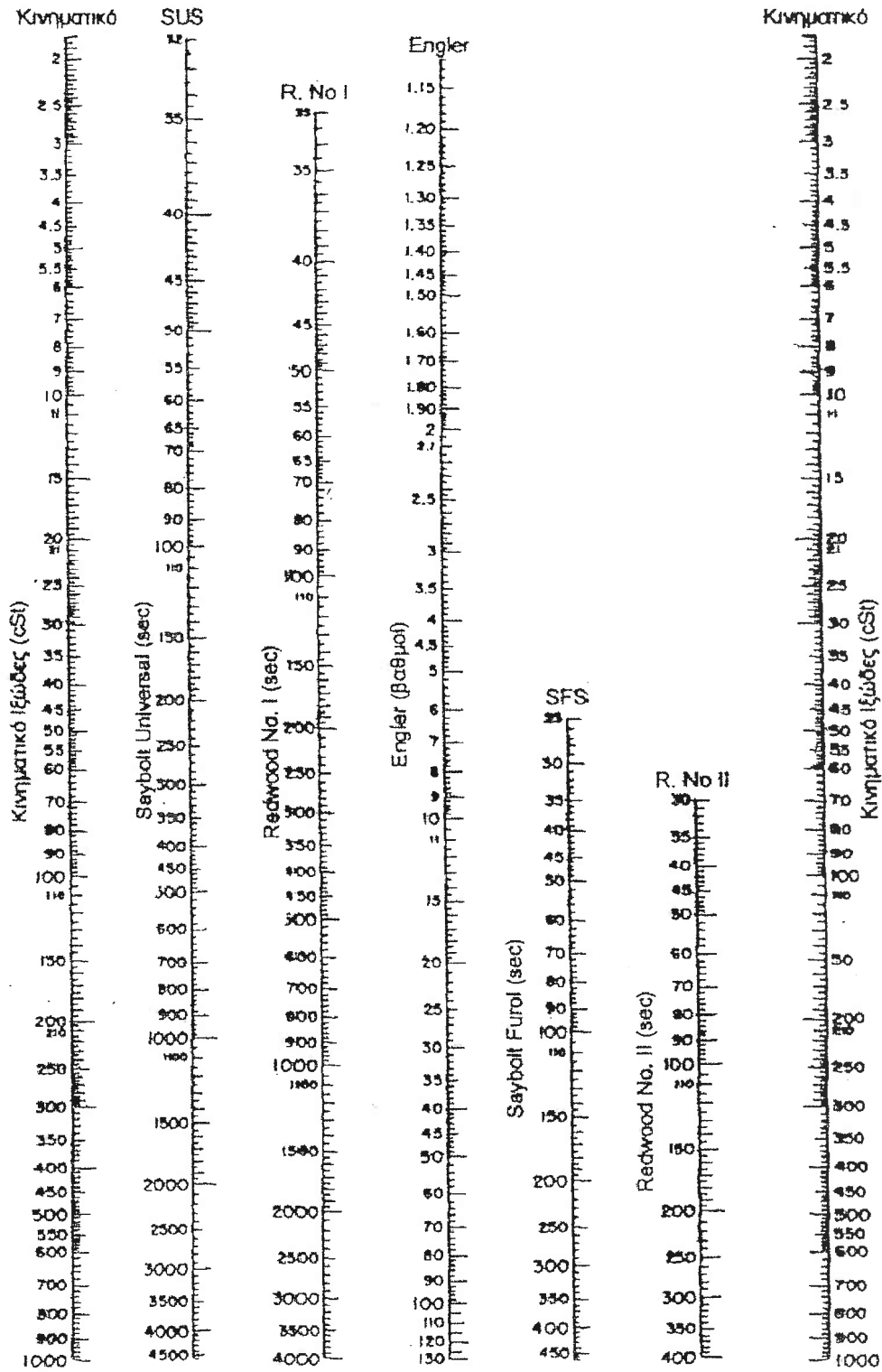
Η μονάδα μέτρησης του κινηματικού ιξώδους στο σύστημα SI είναι m^2/s . Αρκετά συχνά αντί της μονάδας αυτής, χρησιμοποιείται το stokes (St) ή το centi stokes (cSt):

$$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Μερικές φορές το ιξώδες αναφέρεται σε μονάδες Engler, Saybolt και Redwood και η μετατροπή των τιμών γίνεται με τη βοήθεια νομογραφήματος (βλ. Σχ.4-1). Το ιξώδες των υγρών καυσίμων μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία και για αυτό πρέπει πάντοτε να αναφέρεται η θερμοκρασία κάτω από την οποία πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του σε κατάλληλο ιξωδόμετρο. Για τα αποστάγματα η θερμοκρασία αναφοράς είναι 40°C ενώ για τα υπολείμματα καυσίμων 50°C .

Από το ιξώδες του καυσίμου εξαρτάται η ευκολία κυκλοφορίας του μέσα στο δίκτυο του καυσίμου, η κατασκευή και η λειτουργία των αντλιών και των εγχυτήρων του καυσίμου, ο καλός διασκορπισμός στον θάλαμο καύσης και γενικά η αποδοτικότητα της καύσης του καυσίμου.

Η τιμή του ιξώδους έχει ιδιαίτερη σημασία για τον καθορισμό της θερμοκρασίας προθέρμανσης του καυσίμου με σκοπό της επίτευξης της επιθυμητής μείωσης της τιμής. Έτσι ανάλογα με το εξάρτημα (π.χ. αντλία τροφοδοσίας, διαχωριστής καυσίμου, αντλία έγχυσης κ.λ.π.) υπάρχουν



Σχ. 4-1 Νομογράφημα Μετατροπής Ιξώδους

ορισμένα όρια του ιξώδους που είναι τα καταλληλότερα και που εξαρτώνται βέβαια και από τον τύπο της κάθε κατασκευής.

Από διαγράμματα ιξώδους-θερμοκρασίας υπολογίζεται, για τα διάφορα είδη καυσίμων, η θερμοκρασία της αναγκαίας προθέρμανσης για την εξασφάλιση καλής αντλητικότητας και καλού ψεκασμού (βλ.Κεφ.3 και Κεφ.6).

4-5 Σημείο Ανάφλεξης

Το *σημείο ανάφλεξης* είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του καυσίμου με προσαγωγή όταν αυτό θερμαίνεται κάτω από πρότυπες συνθήκες.

Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς.

4-6 Σημείο Ροής

Το *σημείο ροής* δίνει τη θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός παραφίνης είναι τόσο έντονος που δεν επιτρέπει στο καύσιμο να είναι ρευστό, όταν ψυχθεί κάτω από ειδικές συνθήκες της μεθόδου μέτρησης.

Το πρόβλημα με το σημείο ροής είναι ότι παρέχονται δύο ακραίες θερμοκρασίες: αυτή της εμφάνισης των πρώτων κρυστάλλων παραφίνης και αυτή στην οποία η διαχωρισμένη παραφίνη δεν επιτρέπει στο καύσιμο να είναι ρευστό, χωρίς να παρέχεται η ενδιάμεση θερμοκρασία στην οποία η ποσότητα της παραφίνης είναι ικανή να εμποδίσει τη ροή σε ένα σύστημα τροφοδοσίας κινητήρα ή καυστήρα.

4-7 Αριθμός Οκτανίου

Ο *αριθμός οκτανίου* χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντικροτικότητας της βενζίνης, δηλαδή, την τάση της να αντέχει σε συμπίεση και να καίγεται ομαλά στον κύλινδρο του βενζινοκινητήρα χωρίς να προκαλεί "χτύπημα". Στηρίζεται σε μια αυθαίρετη κλίμακα μέτρησης από 0 μέχρι 100.

Η τιμή αριθμού οκτανίου 0 χαρακτηρίζει το κανονικό επτάνιο (κ - C_7H_{16}), το οποίο είναι παραφινικός υδρογονάνθρακας και εμφανίζει μεγάλη τάση για κτύπημα σε βενζινοκινητήρες.

Η τιμή αριθμού οκτανίου 100 χαρακτηρίζει το ισο-οκτάνιο, του οποίου η τάση για κτύπημα είναι μικρή.

Ο έλεγχος της αντικροτικότητας του καυσίμου γίνεται με τη βοήθεια πρότυπου μονοκύλινδρου κινητήρα και με βάση τα κτυπήματα που δίνει η βενζίνη, σε σύγκριση με τα μίγματα των δύο υδρογονανθράκων (κ - C_7H_{16} και ισο-οκτάνιο), που χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης.

Ο αριθμός οκτανίου μίας βενζίνης είναι το επί τοις εκατό κατά όγκο ποσοστό του ισο-οκτανίου σε μίγμα του κανονικού επτανίου/ισο-οκτανίου το οποίο παρουσιάζει την ίδια αντικροτικότητα, στον πρότυπο κινητήρα, με τη βενζίνη, που εξετάζεται. Έτσι όταν λέμε ότι μια βενζίνη είναι 90 οκτανίων, εννοούμε ότι βενζίνη αυτή παρουσιάζει στον πρότυπο βενζινοκινητήρα την ίδια συμπεριφορά, ως προς το κτύπημα, με μίγμα αποτελούμενο κατά 10% β/ο από κανονικό επτάνιο και κατά 90% β/ο από ισοοκτάνιο. Διευκρινίζεται ότι η βενζίνη αυτή θα μπορούσε να μην έχει ως συστατικά καθόλου ισοοκτάνιο ή κανονικό επτάνιο, αλλά άλλους υδρογονάνθρακες με αντίστοιχη προς αυτούς αντικροτικότητα.

4-8 Αριθμός Κετανίου

Η ετοιμότητα ενός καυσίμου να αναφλεγεί όταν ψεκάζεται σένα κινητήρα Diesel, φαίνεται από τον αριθμό κετανίου. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξη.

Ο έλεγχος της ποιότητας καύσης του πετρελαίου diesel γίνεται με τη βοήθεια πρότυπου κινητήρα δοκιμών, με ευρύτερα αποδεκτό τον Κινητήρα Μέτρησης Κετανίου CFR.

Ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου ορίζεται με σύγκριση της ποιότητας ανάφλεξης, κάτω από πρότυπες συνθήκες λειτουργίας, με δύο γνωστά καύσιμα αναφοράς γνωστού αριθμού κετανίου. Τα καύσιμα αναφοράς ετοιμάζονται με ανάμιξη κανονικού δεκαεξανίου (κετανίου), στο οποίο ο αριθμός κετανίου είναι 100 επειδή έχει καλή ποιότητα καύσης, με επτα-μεθυλο-εννεάνιο, στο οποίο ο αριθμός κετανίου είναι 15. Αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί α-μεθυλο-εννεάνιο, στο οποίο ο αριθμός κετανίου είναι 0, αλλά από το 1964 αντικαταστάθηκε από το επτα-μεθυλο-εννεάνιο εξαιτίας της δυσκολίας ανάφλεξης που παρουσίαζε στον πρότυπο κινητήρα.

Όταν ένα καύσιμο που δοκιμάζεται έχει την ίδια ποιότητα ανάφλεξης, στον πρότυπο κινητήρα, με μίγμα ορισμένης σύστασης των δύο καυσίμων αναφοράς ο αριθμός κετανίου ορίζεται από την εξίσωση:

$$\text{Αριθμός Κετανίου} = (\% \kappa\text{-δεκαεξάνιο}) + 0,15 (\% \text{επτα-μεθυλο-εννεάνιο})$$

Για τις ντηζελομηχανές αρκεί συνήθως ο αριθμός κετανίου 40-60 ανάλογα πόσο αργόστροφες είναι.

4-9 Περιεκτικότητα σε Νερό

Το νερό μπορεί να εισέλθει στο καύσιμο κατά τις διεργασίες παραγωγής ή από το δίκτυο αποθήκευσης και μεταφοράς. Τα καύσιμα περιέχουν νερό σε ελεύθερη μορφή ή γαλακτωματοποιημένο. Ο σχηματισμός γαλακτωμάτων του

καυσίμου με νερό μπορεί να δώσει μια θολερότητα στην εμφάνιση του καυσίμου, κάτι που προκαλεί προβλήματα διάθεσης του στην αγορά.

Η ύπαρξη νερού στα καύσιμα προκαλεί αρκετά προβλήματα κατά τον χειρισμό, στην καύση και στο κόστος. Το νερό απομακρύνεται, αφού προηγηθεί θέρμανση του καυσίμου στις δεξαμενές κατακάθισης ή στον φυγοκεντρικό διαχωριστή. Το γαλακτωματοποιημένο νερό για να απομακρυνθεί απαιτεί πρόσθετα που προκαλούν την διάσπαση των γαλακτωμάτων.

Η νερό εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου (% β/β).

4-10 Περιεκτικότητα σε Θείο

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε *θείο* εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε και βρίσκεται στα καύσιμα με τη μορφή θειούχων ενώσεων (μερκαπτάνες, σουλφίδια). Η θείο εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου (% β/β).

Η παρουσία του θείου προκαλεί τον σχηματισμό αποθέσεων στο θάλαμο καύσης, και έχει βλαβερή επίδραση στην μηχανή, εξαιτίας της μετατροπής του σε SO₂, SO₃ και στη συνέχεια σε θειικό οξύ που είναι έντονα διαβρωτικό. Επίσης είναι ανεπιθύμητη και για περιβαλλοντικούς λόγους εξαιτίας της ρύπανσης που προκαλείται από την μετατροπή του θείου σε SO₂.

4-11 Τέφρα

Τα καύσιμα μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες υλικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό *τέφρας* κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, καθώς και φθορά στο έμβολο ή τα ελατήρια.

Η τέφρα εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου (% β/β).

4-12 Εξανθράκωμα

Κατά τη διάρκεια της καύσης μια μικρή ποσότητα βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο είναι δυνατόν αντί να οξειδωθούν πλήρως να πολυμεριστούν σχηματίζοντας ένα είδος ανθρακούχου κοιτάσματος.

Το *εξανθράκωμα* προσδιορίζει την τάση του καυσίμου να δημιουργεί ανθρακούχες ενώσεις. Αναφέρεται στο % κατά βάρος ανθρακούχο υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση δείγματος καυσίμου κάτω από ορισμένες συνθήκες. Η τιμή του εξαρτάται από τις διαδικασίες καθαρισμού που υιοθετούνται κατά την παραγωγή των καυσίμων.

Τα μεγάλα εξανθρακώματα μειώνουν την απόδοση των ακροφυσίων ψεκασμού μειώνοντας την απόδοση του κινητήρα, ενώ ταυτόχρονα εντείνουν τη φθορά τους. Επίσης ρυπαίνουν τους κυλίνδρους, τις θυρίδες σάρωσης κλπ. Για την αντιμετώπιση του εξανθρακώματος εκτός από τον καλό καθαρισμό του καυσίμου χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά λάδια που καθαρίζουν τα ακροφύσια ψεκασμού, τις θυρίδες, τις βαλβίδες και τα ελατήρια.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

4-1 Η χημική σύσταση ενός καυσίμου είναι: C=82%, H=12%, O=2%, S=3% και νερό=1%. Να υπολογισθούν η ΑΘΔ και η ΚΘΔ του.

(Απ. ΑΘΔ = 10759 kcal/kg καυσίμου, ΚΘΔ = 10119 kcal/kg καυσίμου)

4-2 Το σχετικό ειδικό βάρος (60/60°F) ενός καυσίμου είναι 0,9930. Να βρεθούν οι αντίστοιχοι βαθμοί της κλίμακας API (60 °F) και η πυκνότητα του.

(Απ. API = 11°, $d_{15} = 0,9913 \text{ g/cm}^3$)

4-3 Η πυκνότητα ενός καυσίμου στους 15 °C είναι $0,9465 \text{ g/cm}^3$. Να βρεθούν οι αντίστοιχοι βαθμοί της κλίμακας API (60 °F).

(Απ. API = 18°)

4-4 Να βρεθεί ο συντελεστής μεταβολής του όγκου ενός καυσίμου στους 30 °C όταν η πυκνότητα του στους 15 °C είναι 0,970 kg/l.

(Απ. 0,9899)

4-5 Μια δεξαμενή περιέχει 2000 m^3 καύσιμο στους 30 °C. Εάν το σχετικό ειδικό βάρος (60/60°F) του καυσίμου είναι 0,9910 να βρεθεί η ποσότητα του.

(Απ. 1959 τόνους καυσίμου)

4-6 Σε δεξαμενή, της οποίας η χωρητικότητα είναι 1280 m^3 , πραγματοποιούνται δύο παραλαβές πετρελαίου. Συγκεκριμένα: 149 m^3 στους 35 °C και 1016 m^3 στους 27 °C. Να υπολογισθεί η συνολική ποσότητα παραλαβής όταν πυκνότητα του πετρελαίου στους 15 °C είναι 0,920 kg/l και να εξετασθεί η δυνατότητα προθέρμανσης της στους 38 °C.

(Απ. 1062 τόνους καυσίμου, ναι στην προθέρμανση διότι $V_{38} = 1173 \text{ m}^3$)

4-7 Δεξαμενή πετρελαίου, της οποίας η χωρητικότητα είναι 422 m^3 , περιέχει 352 m^3 πετρέλαιο στους 15 °C. Να υπολογισθεί πόσο πετρέλαιο θερμοκρασίας 45 °C απαιτείται για την πλήρωση της δεξαμενής (με την μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια) όταν η πυκνότητα του πετρελαίου στους 15 °C είναι 0,920 kg/l.

(Απ. 56424 kg)

Κεφάλαιο Πέμπτο

Καύσιμα Ναυτιλίας

05/19/14

5-1 Εισαγωγή

Σήμερα ως καύσιμα ναυτιλίας χρησιμοποιούνται πολλοί τύποι πετρελαίων, που παράγονται από ανάμιξη διαφόρων προϊόντων από τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας του αργού πετρελαίου. Για την ανάμιξη, που γίνεται με κριτήρια την πυκνότητα, το ιξώδες και την συμβατότητα, χρησιμοποιούνται κυρίως υπολείμματα (residues) αλλά και αποστάγματα (distillates).

Τα καύσιμα ναυτιλίας ταξινομούνται από τους διάφορους οργανισμούς, όπως I.S.O. (International Standard Organization), C.I.M.A.C. (International Council on Combustion Engines), B.S.I. (British Standards Institute), σύμφωνα με την ποιότητα, τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης οι κανονισμοί διαφόρων χωρών ορίζουν με πίνακες τις βασικές ιδιότητες των διαφόρων τύπων καυσίμων και οι κατασκευαστές των μηχανών προδιαγράφουν με λεπτομέρεια, τις ιδιότητες των καυσίμων που επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται, για να επιτυγχάνονται οι αποδόσεις των μηχανών και να αποφεύγονται άσκοπες φθορές. Η αναλυτική παρουσίαση των ταξινομήσεων αυτών ξεφεύγει από το σκοπό αυτών των σημειώσεων. Στη συνέχεια, αφού υπενθυμίσουμε ότι γενικά το πετρέλαιο κατατάσσεται σε 6 κατηγορίες: τις 1,2,4,5 ελαφρό, 5 βαρύ και 6 (όσο μεγαλώνει ο αριθμός τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της ποιότητας), θα αναφερθούμε στις κυριότερες κατηγορίες των καυσίμων ναυτιλίας και ειδικότερα στις κατηγορίες των ενδιάμεσων καυσίμων (Intermediate Fuel Oil-IFO), που αποτελούν την νέα και την πλέον διαδεδομένη κατηγορία.

5-2 Κατηγορίες Καυσίμων Ναυτιλίας

Οι κυριότερες κατηγορίες καυσίμων που προορίζονται για την ναυτιλία είναι:

α. Αποστάγματα (Distillates)

Τα αποστάγματα είναι τα κλάσματα του αργού πετρελαίου που αποστάζουν συνήθως κατά την ατμοσφαιρική απόσταξη σε θερμοκρασίες 250-370 °C.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το πετρέλαιο diesel (dieseloil ή gasoil). Είναι η καλύτερη ποιότητα καυσίμου για πετρελαιομηχανές αλλά και η ακριβότερη. Προορίζεται μόνο για ταχύστροφες μηχανές, μικρής σχετικά ιπποδύναμης. Χρησιμοποιείται και στις κοινές ναυτικές μηχανές όταν οι συνθήκες λειτουργίας το απαιτούν π.χ. υψηλή ταχύτητα περιστροφής, ευχέρεια προσαρμογής κατά τους χειρισμούς απόπλου ή κατάπλου και όπου απαιτείται γρήγορη αυξομείωση της ισχύος της μηχανής.

β. Υπολείμματα ατμοσφαιρικής απόσταξης (Residual Fuels).

Τα υπολείμματα της ατμοσφαιρικής απόσταξης είναι αυτά που δεν ατμοποιήθηκαν και έμειναν στη βάση της αποστακτικής στήλης με σημείο ζέσης πάνω από 370 °C. Είναι φθηνότερα από το diesel και κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση την τιμή του ιξώδους. Χρησιμοποιούνται στα καύσιμα ναυτιλίας μαζί με τα αποστάγματα, για καλυτέρευση του ιξώδους και της πυκνότητας, στην παρασκευή των ενδιάμεσων καυσίμων (Intermediate Fuel Oil - IFO).

Τα παλαιά *Bunkers* περιείχαν υπολείμματα ατμοσφαιρικής απόσταξης ή και υπολείμματα απόσταξης υπό κενό. Σήμερα όμως τα *Bunkers* που είναι υπολείμματα καυσίμων αποτελούνται από προϊόντα προέλευσης από πυρόλυση και ενδέχεται να έχουν υπολείμματα απόσταξης (από την γενικές κατηγορίες του πετρελαίου οι κατηγορίες 5 βαρύ και 6 αναφέρονται ως Bunker B και Bunker C αντίστοιχα).

γ. Αποστάγματα και υπολείμματα που προέρχονται από την απόσταξη υπό κενό

Με την απόσταξη υπό κενό παράγονται αποστάγματα (vacuum gasoil) και ένα βαρύ υπόλειμμα που χρησιμοποιούνται στα καύσιμα ναυτιλίας με ανάμιξη με άλλα καύσιμα, για την παρασκευή των ενδιάμεσων καυσίμων (IFO).

δ. Αποστάγματα και υπολείμματα που προέρχονται από πυρόλυση (cracking)

Με την πυρόλυση και κυρίως με την καταλυτική πυρόλυση παράγονται τα καθαρά προϊόντα της πυρόλυσης (νάφθα) και τα υπολείμματα της καταλυτικής πυρόλυσης (cycle oil) που χρησιμοποιούνται στα καύσιμα ναυτιλίας ύστερα από επεξεργασία ή με ανάμιξη με άλλα καύσιμα, για την παρασκευή των ενδιάμεσων καυσίμων (IFO).

Τα υπολείμματα της καταλυτικής πυρόλυσης επειδή είναι πλούσια σε αρωματικά χρησιμοποιούνται στην ανάμιξη καυσίμων ναυτιλίας για να αυξηθεί η διαλυτότητα του καυσίμου και να μην υπάρχει πρόβλημα συμβατότητας. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στα υπολείμματα της καταλυτικής πυρόλυσης είναι δυνατόν να υπάρχουν και σωματίδια του καταλύτη δηλαδή υπολείμματα αλουμινίου-πυριτίου. Έτσι όταν ο καθαρισμός του καυσίμου δεν είναι επαρκής, τα υπολείμματα αλουμινίου-πυριτίου είναι δυνατόν να προσέλθουν στα χιτώνια και στα ελατήρια των κυλίνδρων και να προκαλέσουν φθορά.

ε. Αποστάγματα και υπολείμματα που προέρχονται από ιξωδόλυση

Με την ιξωδόλυση, που γίνεται για να μειώσει το ιξώδες των βαρέων κλασμάτων, παράγονται ποσότητες αποσταγμάτων (vis distillate) και

υπολείμματα χαμηλού ιξώδους (vis bottom) που χρησιμοποιούνται στα καύσιμα ναυτιλίας, με ανάμιξη με άλλα καύσιμα, για την παρασκευή των ενδιαμέσων καυσίμων (IFO).

5-3 Ποιοτική Κατάταξη Καυσίμων Ναυτιλίας

Την τελευταία δεκαετία η ποιότητα των καυσίμων ναυτιλίας έχει χειροτερεύσει εξαιτίας τόσο της αύξησης των τιμών των καυσίμων, με συνέπεια αντί του diesel η ναυτιλία να χρησιμοποιεί περισσότερα βαριά κλάσματα, όσο και της απόφασης των διυλιστηρίων να διασπούν περισσότερο τα υπολείμματα απόσταξης για την παραγωγή περισσότερων καθαρών προϊόντων. Αυτή η αυξημένη μετατροπή του αργού πετρελαίου σε καθαρά προϊόντα, με την αλλαγή της μοριακής σύνθεσης διασπώντας περισσότερα τα υπολείμματα, έχει ως συνέπεια την συμπύκνωση στα καύσιμα ναυτιλίας των χειρότερων στοιχείων του αργού πετρελαίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1

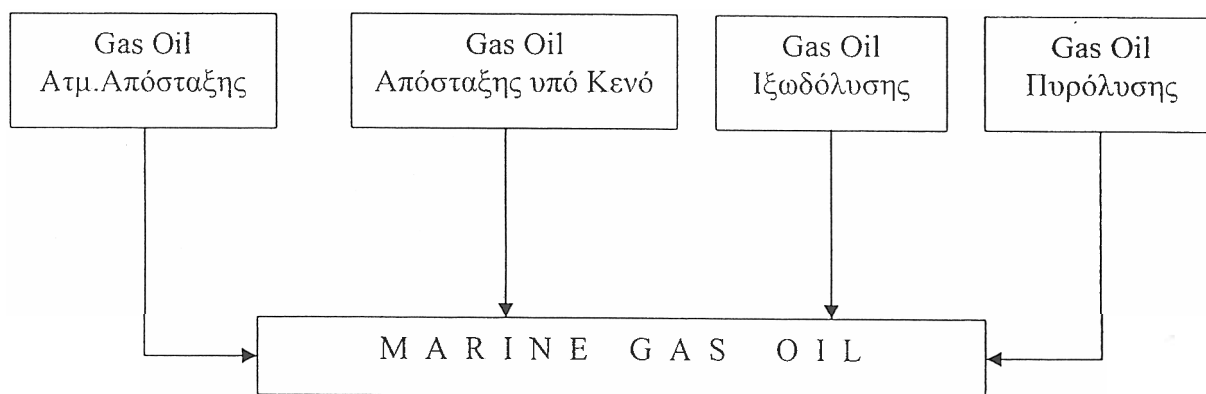
Σύγκριση Ιδιοτήτων Μεταξύ Πρωτογενών Προϊόντων
και Προϊόντων Πυρόλυσης

Πρωτογενή Προϊόντα	Προϊόντα Πυρόλυσης
Χαμηλή Πυκνότητα	Υψηλή Πυκνότητα
Χαμηλότερο Ιξώδες	Υψηλό Ιξώδες
Λιγότερο Θείο	Περισσότερο Θείο
Υψηλό Σημείο Ροής	Κανονικό Σημείο Ροής
Λιγότερο Εξανθράκωμα	Περισσότερο Εξανθράκωμα
Λιγότερα Ασφαλτένια	Αυξημένα Ασφαλτένια
	Υπολείμματα Καταλύτη (Al & Si)
	Περισσότερο Βανάδιο
	Προβλήματα Διαχωρισμού

Όπως έχει προαναφερθεί οι κατηγορίες των καυσίμων που προορίζονται για την ναυτιλία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ποιότητας, από καθαρό diesel μέχρι τα βαρέα καύσιμα από το χώρο των υπολειμμάτων.

Το βαρύ πετρέλαιο (Heavy Fuel Oil - HFO), που είναι ότι απομένει από την απόσταξη ή παράγεται με πυρόλυση ή ιξωδόλυση, χρησιμοποιείται για την παραγωγή μια νέας κατηγορίας καυσίμων ναυτιλίας των ενδιάμεσων καυσίμων (Intermediate Fuel Oil - IFO). Εξαιτίας των απαιτήσεων της αγοράς για διάφορες κατηγορίες ενδιάμεσων καυσίμων IFO (grades) με βάση το ιξώδες και της αδυναμίας των σταθμών ανεφοδιασμού να διαθέτουν αποθήκες για κάθε κατηγορία, άρχισε η εφαρμογή της ανάμιξης (blending) για την παραγωγή ενός ενδιάμεσου καυσίμου με την χρησιμοποίηση του πετρελαίου diesel και του HFO. Έτσι τα περισσότερα καύσιμα ναυτιλίας που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι μίγματα αποσταγμάτων (distillate) και υπολειμμάτων (residual, bottoms) των οποίων η ποιότητα εξαρτάται από την κατεργασία και το ποσοστό ανάμιξης. Η ποιοτική κατάταξη των καυσίμων αυτών γίνεται με βάση την τιμή του κινηματικού ιξώδους (cSt) στους 50 °C , ενώ μέχρι το 1976 ήταν η κλίμακα Redwood στους 100 °F. Σήμερα στην διεθνή αγορά καυσίμων ναυτιλίας διακινούνται οι εξής κατηγορίες ποιότητας πετρελαίου:

α. Marine Gas Oil (MGO). Καύσιμο από αποστάγματα υψηλής ποιότητας, που περιέχει μερικές φορές και προϊόντα πυρολυτικής διάσπασης (βλ.Σχ.5-1). Αναφέρεται και ως ναυτιλιακό gasoil. Το ιξώδες του κυμαίνεται μεταξύ 1,3-4,2 cSt στους 50 °C και 1,5-5,5 cSt στους 40 °C . Χρησιμοποιείται κύρια σε πολυστροφες μηχανές, στις μέσου αριθμού στροφών μηχανές και για να αναμιγνύεται με βαρύ πετρέλαιο (HFO) για την παραγωγή των ενδιάμεσων καυσίμων (IFO).



Σχ. 5-1 Παραγωγή του MGO

Το MGO συνήθως στην Ελλάδα χρωματίζεται κόκκινο ή κίτρινο για λόγους αναγνώρισης. Αποτελείται από υδρογονάνθρακες με πολύ μικρή ποσότητα θείου, οξυγόνου και αζώτου. Εφόσον δεν έχει ρυπανθεί με νερό, λιπαντικό ή με υπολείμματα καυσίμων δεν πρέπει να περιέχει μέταλλα όπως βανάδιο,

νικέλιο, αλουμίνιο και νάτριο. Η ρύπανση του MGO με υπολείμματα καυσίμων ή λιπαντικό αναγνωρίζεται με το μάτι, γιατί χρωματίζει το MGO μαύρο.

β. Marine Diesel Oil (MDO). Καύσιμο γενικής χρήσης που περιέχει βαρύτερα αποστάγματα. Μπορεί να περιέχει προϊόντα πυρολυτικής διάσπασης και μικρή ποσότητα υπολειμμάτων, για την αύξηση της θερμογόνου δύναμης του. Αναφέρεται και ως ναυτιλιακό diesel (από τις γενικές κατηγορίες του πετρελαίου το MDO είναι το 5 ελαφρό). Χρησιμοποιείται σε μηχανές υψηλού και μέσου αριθμού στροφών και για εκκίνηση μηχανών που εργάζονται κανονικά με βαρύ πετρέλαιο. Το ιξώδες του κυμαίνεται μεταξύ 2,5-14 cSt στους 40 °C. Δεν χρειάζεται προθέρμανση για άντληση και έγχυση.

γ. Heavy Fuel Oil (HFO). Είναι βαρύ παχύρευστο καύσιμο που παράγεται από τα τελευταία κλάσματα και υπολείμματα. Διακινείται και ως Bunker C. Είναι μαύρο με μεγάλη πυκνότητα και το ιξώδες του μπορεί να φθάσει μέχρι και 1000 cSt στους 50 °C. Χρησιμοποιείται για ανάμιξη με MGO ή MDO και ως καύσιμο σε αργόστροφες μηχανές. Χρειάζεται οπωσδήποτε προθέρμανση.

δ. Intermediate Fuel Oil (IFO). Προϊόν ανάμιξης HFO με MGO που χρειάζεται οπωσδήποτε προθέρμανση (βλ. Σχ.5-2). Είναι γνωστό και ως Bunker B. Οι κατηγορίες των IF που προκύπτουν με βάση την τιμή του ιξώδους στους 50 °C και που συνήθως υπάρχουν στα διεθνή λιμάνια δίνονται στον Πίνακα 5-2.

Αυτά τα καύσιμα φτιάχνονται με ανάμιξη.

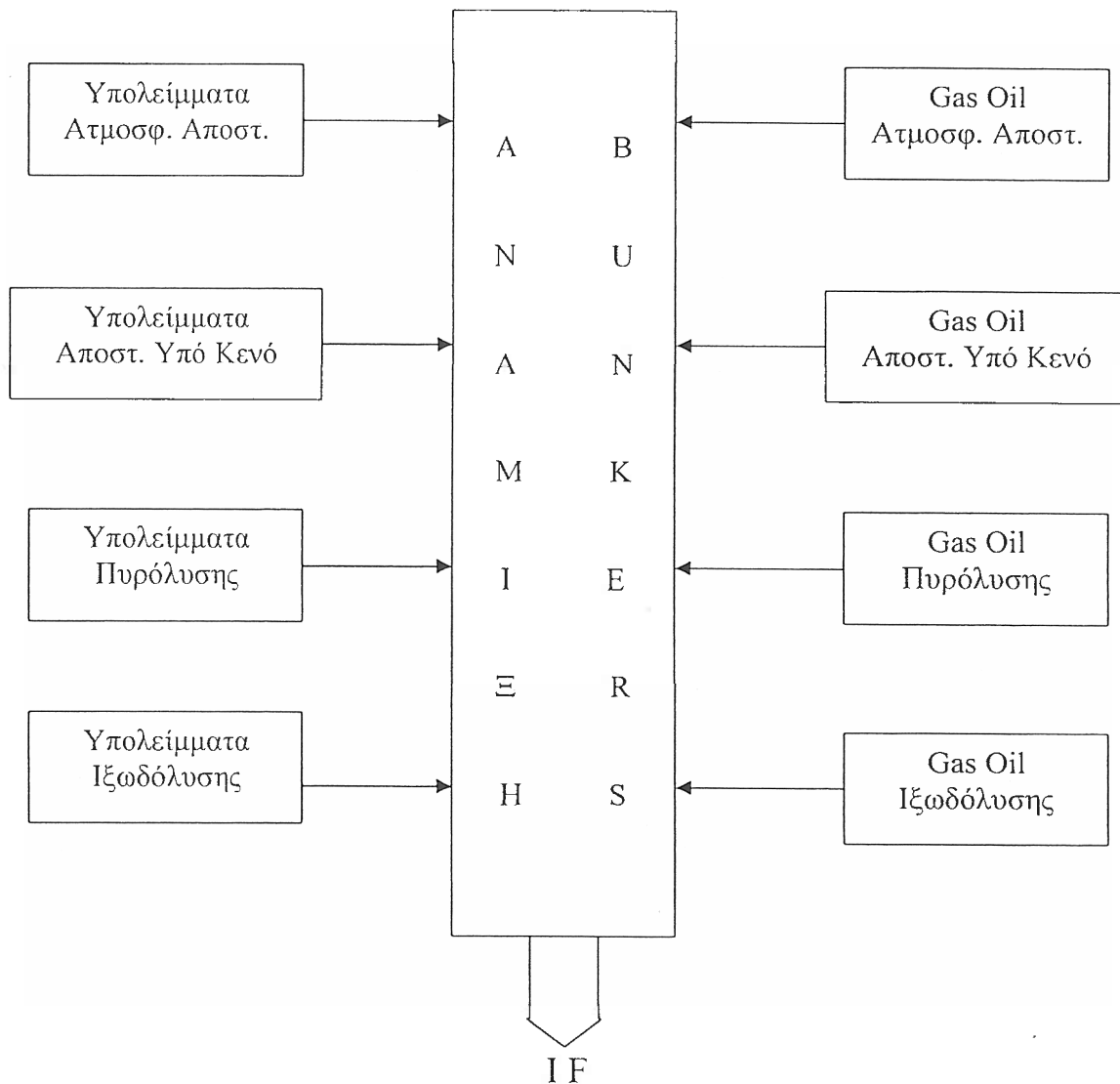
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2

Κατηγορίες IFO

Σκοπός είναι το σύστημα προθέρμανσης του βαπορίου να μπορεί να πετύχει του

IF	ΙΞΩΔΕΣ cSt, 50 °C	ΙΞΩΔΕΣ Redwood, 100 °F	injection ixwdes wste na to kafei
30	30	100	
40	40	178	
60	60	439	
80	80	610	
100	100	780	
120	120	950	
150	150	1250	
180	180	1500	
240	240	2100	
280	280	2500	
320	320	2900	
	380	380	
		3500	

π.χ. Το 380 έχει το castail έχει λιγότερα υπολείμματα αέρα και λιγότερα Al, + Si.
Το 320 έχει περισσότερα υπολείμματα από το 380



Σχ. 5-2 Η Παραγωγή των Bunkers

Επειδή όμως είναι πρακτικά και οικονομικά αδύνατο να υπάρχουν αποθηκευτικοί χώροι στα διυλιστήρια και στις εγκαταστάσεις των εταιριών για να καλύπτουν τις απαιτήσεις των δώδεκα κατηγοριών IF του Πίνακα 5-2, που είναι απαραίτητες για τις διάφορες μηχανές, η τροφοδότηση των αγορών γίνεται στα παρακάτω τρία βασικά προϊόντα:

- MGO
- IF-180 cSt (Bunker 1500 Redwood)
- IF-380 cSt (Bunker 3500 Redwood)

Η ανάμιξη αυτών των τριών προϊόντων (MGO, IF-180 και IF-380) σε σωστές αναλογίες οδηγεί στο απαιτούμενο IF. Η αναλογία ανάμιξης δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από το ιξώδες των προϊόντων, που μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την παραγωγή του διυλιστηρίου. Από πίνακες ανάμιξης, όταν είναι γνωστό το ιξώδες των προϊόντων, βρίσκεται η αναλογία ανάμιξης για το απαιτούμενο IF.

Στην Ελλάδα η παραγωγή του IF-180 γίνεται με την ανάμιξη του IF-380 με περίπου 9% MGO. Για την παραγωγή προϊόντων με IF μικρότερο από 180 αναμιγνύεται MGO και IF-180. Το πιο πλούσιο μίγμα σε MGO είναι το IF-30 με ποσοστό περίπου 27%.

Επειδή το MGO διαθέτει διαφορετική διαλυτότητα σε σύγκριση με το IF-180 (Residual) η ξαφνική επαφή των ασφατενίων του IF-180 με την διαλυτότητα του MGO θα είχε ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση μέρους των ασφατενίων και τη δημιουργία λάσπης. Για τον λόγο αυτό δεν παράγεται πιο πλούσιο μίγμα από το IF-30 και κατά κανόνα προστίθεται το MGO στο IF-180 και όχι το αντίθετο (επιτρέπεται και η ταυτόχρονη ανάμιξη).

5-4 Καύσιμα Ναυτιλίας κατά CIMAC

Οι προδιαγραφές της CIMAC αναφέρονται σε πετρελαϊκά καύσιμα που προορίζονται για χρήση σε ναυτικούς κινητήρες diesel, όπως παραλαμβάνονται από τον προμηθευτή και πριν υποβληθούν σε κάποια κατεργασία.

Οι τύποι των ναυτιλιακών καυσίμων είναι:

- *Ναυτιλιακά Diesel*

DX. Απόσταγμα κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μέχρι -16°C , χωρίς να απαιτείται η προθέρμανση του. Σε εφαρμογές του εμπορικού ναυτικού η χρήση του περιορίζεται στους κινητήρες των ναυαγοσωστικών λέμβων και σε ειδικό εξοπλισμό κατασκευών κινδύνου, επειδή έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης.

DA. Απόσταγμα υψηλής ποιότητας που αναφέρεται γενικά ως ναυτιλιακό gasoil (MGO).

DB. Καύσιμο γενικής χρήσης που μπορεί να περιέχει ποσότητα υπολείμματος (μαζούτ) σε μικρή ποσότητα. Αναφέρεται γενικά ως ναυτιλιακό diesel (MDO).

DC. Καύσιμο που περιέχει σημαντική ποσότητα υπολείμματος (μαζούτ). Συνήθως δεν είναι κατάλληλο για χρήση σε εγκαταστάσεις όπου δεν

υπάρχουν συστήματα κατεργασίας για μαζούτ. Αναφέρεται γενικά ως αναμιγμένο ναυτιλιακό diesel (Blended MDO).

- *Ναυτιλιακά Μαζούτ*

A 30. Μαζούτ κατάλληλο για χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος σε εγκαταστάσεις χωρίς θέρμανση της δεξαμενής αποθήκευσης, αφού το μέγιστο σημείο ροής του είναι 0 °C.

B 30. Μαζούτ που απαιτεί θέρμανση της δεξαμενής αποθήκευσης αφού μπορεί να μην είναι ρευστό σε θερμοκρασίες κάτω από 24 °C.

D 80 - H 700. Μαζούτ τα οποία απαιτούν κατεργασία σε ένα σύστημα καθαρισμού (φυγοκεντρικό διαχωριστή) για να περιοριστεί η περιεκτικότητα ανεπιθύμητων ουσιών μέχρι ένα αποδεκτό επίπεδο. Η επιλογή για χρήση γίνεται ανάλογα με το ιξώδες και τη δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος προθέρμανσης.

K 380, K 700. Μαζούτ που προορίζονται για χρήση μόνο σε εγκαταστάσεις με φυγοκεντρικούς διαχωριστές, που μπορούν να λειτουργήσουν με καύσιμα υψηλής πυκνότητας (πάνω από 0,991 g/cm³).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3

Τυποποίηση Καυσίμων Ναυτιλίας

Περιγραφή			CIMAC A 10	CIMAC B 10	CIMAC C 10	CIMAC D 15	CIMAC E 25	CIMAC F 25	CIMAC G 35	CIMAC H 35	CIMAC K 35	CIMAC H 45	CIMAC K 45	CIMAC H 55	CIMAC K 55	
Σχετικό με το ISO8217 (87):			F-	RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMH 45	RMK 45	RMH 55	—
Χαρακτηριστικό	Διαστ.	Όριο														
Πυκνότητα στους 15° C	Kg/m ³	μεγ.	950	975		980	991		991		1010	991	1010	991	1010	
Κινηματικό ιξώδες στους 100° C	cSt ^o	μεγ.	10		15	25		35		45		55				
		ελαχ. ^o	6			15										
Σημείο ανάφλεξης	° C	ελαχ.	60		60	60		60		60		60		60		
Σημείο ροής	° C	μεγ.	0 5 ^o	24		30	30		30		30		30		30	
Κατάλοιπα άνθρακα	%(m/m)	μεγ.	12		14	14	15	20	18	22		22		22		
Τέφρα	%(m/m)	μεγ.	0.10		0.10	0.10	0.15		0.15		0.15		0.15		0.15	
Συνολικό υπόλοιπο μετά το «γγρασιμό».	%(m/m)	μεγ.	0.10		0.10	0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		
Νερό	%(V/V)	μεγ.	0.50		0.80	1.0		1.10		1.0		1.0		1.0		
Θείο	%(m/m)	μεγ.	3.5		4.0	5.0		5.0		5.0		5.0		5.0		
Βανάδιο	mg/kg	μεγ.	150		300	350	200	500	300	600		600		600		
Αλουμίνιο και πυρίτιο	mg/kg	μεγ.	80		80	80		80		80		80		80		

Κεφάλαιο Έκτο

Βασικά Χαρακτηριστικά Ποιότητας των Καυσίμων Ναυτιλίας

6-1 Εισαγωγή

Η ποιότητα του καυσίμου επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα την καύση στη μηχανή (όπως τις βαλβίδες εξαγωγής, τις βαλβίδες εισαγωγής, τις αντλίες, τους υπερπληρωτές και το σύστημα εξαγωγής καυσαερίων) και έχει σχέση με το χειρισμό του καυσίμου (τη διαδικασία καθαρισμού του καυσίμου).

Τα βασικά χαρακτηριστικά ποιότητας των καυσίμων ναυτιλίας είναι:

- Πυκνότητα
- Ιξώδες
- Σημείο Ανάφλεξης
- Σημείο Ροής
- Εξανθράκωμα
- Τέφρα
- Περιεκτικότητα σε Νερό
- Περιεκτικότητα σε Θείο
- Περιεκτικότητα σε Βανάδιο και Νάτριο
- Περιεκτικότητα σε Αλουμίνιο και Πυρίτιο
- Σταθερότητα και Συμβατότητα
- Ποιότητα Ανάφλεξης
- Θερμογόνος Δύναμη
- Αδιάλυτα Υπολείμματα

6-2 Πυκνότητα

Η πυκνότητα (*density*) είναι η απόλυτη σχέση μεταξύ της μάζας και του όγκου σε μια δηλωμένη θερμοκρασία. Η μονάδα πυκνότητας στο SI είναι kg/m^3 και αναφέρεται στους $15\text{ }^\circ\text{C}$. Η πυκνότητα είναι ένα μέγεθος χρήσιμο τόσο κατά την παραλαβή των καυσίμων ναυτιλίας όσο και για την εκτίμηση κάποιων ποιοτικών χαρακτηριστικών τους.

Η αυξανόμενη πυκνότητα οδηγεί σε πιο βαρύ προϊόν με συνέπεια να αυξάνεται το κόστος αγοράς του καυσίμου αφού η παράδοση του γίνεται σε λίτρα και στη συνέχεια μετατρέπεται σε κιλά με την βοήθεια της πυκνότητας. Ας υποθέσουμε το κόστος του καυσίμου είναι $100\text{\$/τόνο}$ και ότι έχουμε μέση παράδοση $800\text{ τόνων καυσίμου}$ 12 φορές/έτος . Εάν η δηλωμένη πυκνότητα στο δελτίο παραλαβής είναι $0,991\text{ kg/l}$ ενώ η πραγματική $0,986\text{ kg/l}$ (δηλαδή έχουμε υπερβολή στην πυκνότητα $0,005\text{ kg/l}$, που είναι και το διεθνώς ανεκτό όριο) προκύπτει ότι το κόστος του καυσίμου/έτος θα είναι αυξημένο κατά $4800\text{\$}$.

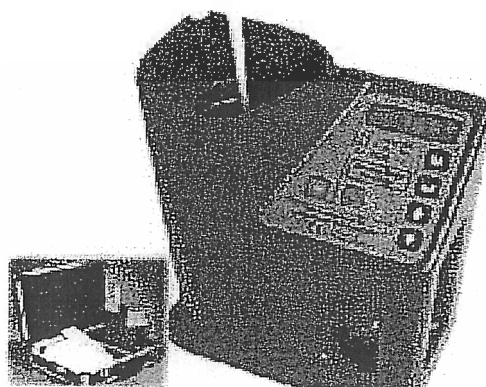
Επίσης η πυκνότητα μας παρέχει πληροφορίες για τον χειρισμό, την καύση, την ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου (δείκτες CCAI και CII, βλ.6-13) και μας χρησιμεύει για τον έμμεσο υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης του. Η αυξανόμενη πυκνότητα χειροτερεύει το καύσιμο τόσο στο χειρισμό όσο και στην καύση διότι με την αύξηση της πυκνότητας αυξάνεται και το ποσοστό των αρωματικών στοιχείων του καυσίμου που όπως είναι γνωστό δεν αναφλέγονται εύκολα. Επιπλέον η πυκνότητα είναι αναγκαία στην επιλογή του δίσκου βαρύτητας στον φυγοκεντρικό διαχωριστή. Όταν η πυκνότητα του καυσίμου πλησιάζει την πυκνότητα του νερού η δυνατότητα διαχωρισμού του νερού από τους φυγοκεντρικούς διαχωριστές δυσκολεύει. Για καύσιμα με πυκνότητα πάνω από 0,991 η απομάκρυνση του νερού με φυγοκέντριση είναι ανεπαρκής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε μερικές άλλες χώρες η πυκνότητα των καυσίμων καθορίζεται σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API. Αυτή είναι μια αυθαίρετη κλίμακα που υιοθετείται από το Αμερικανικό Ίδρυμα Πετρελαίου (American Petroleum Institute) για την έκφραση της σχετικής πυκνότητας και του σχετικού ειδικού βάρους των καυσίμων. Η σχέση της κλίμακας API με τη σχετική πυκνότητα και το σχετικό ειδικό βάρος είναι:

$$API = 141,5 / \text{σχετική πυκνότητα } 60^{\circ}/60^{\circ}F - 131,5$$

$$API = 141,5 / \text{σχετικό ειδικό βάρος } 60^{\circ}/60^{\circ}F - 131,5$$

Οι όροι *πυκνότητα στο κενό* (density in vacuo) ή *πυκνότητα στον αέρα* (density in air) χρησιμοποιούνται μερικές φορές στις αποδείξεις παραλαβής ή παράδοσης. Δεδομένου ότι η πυκνότητα είναι η απόλυτη σχέση μεταξύ της μάζας και του όγκου και όχι του βάρους και του όγκου, εξ ορισμού προκύπτει ότι η πυκνότητα είναι "density in vacuo". Ο όρος "density in air", που χρησιμοποιείται συχνά είναι ανακριβής και πρέπει να αναφέρεται ως *συντελεστής βάρους* (weight factor). Και αυτό διότι όταν μια ουσία ζυγίζεται στον αέρα υποστηρίζεται, σε μικρή έκταση, από την πλευστότητα του αέρα που ενεργεί πάνω σε αυτή. Κατά συνέπεια το βάρος ενός υγρού στον αέρα είναι ελαφρώς μικρότερο από το βάρος του στο κενό (vacuo). Δεν υπάρχει καμιά απλή σχέση μεταξύ της πυκνότητας και του συντελεστή βάρους αλλά για bunker fuels η διαφορά προσεγγίζει το $1,1 \text{ kg/m}^3$. Οπότε για να μετατρέψουμε την πυκνότητα στο κενό ενός καυσίμου (density in vacuo) σε συντελεστή βάρους (density in air) πρέπει να αφαιρεθούν $1,1 \text{ kg/m}^3$.

Η πυκνότητα προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1298 και για την μέτρηση της χρησιμοποιείται βαθμολογημένο πυκνόμετρο. Επίσης υπάρχουν φορητά ηλεκτρονικά πυκνόμετρα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλοία (βλ.Σχ.6-1).



Σχ. 6-1 Φορητό Ηλεκτρονικό Πυκνόμετρο

Η πυκνότητα μετριέται, συνήθως για ευκολία, στην θερμοκρασία στην οποία τα καύσιμα αποθηκεύονται και στη συνέχεια διορθώνεται στην θερμοκρασία αναφοράς των 15 °C. Περίπου το 40% των καυσίμων ναυτιλίας έχουν μια πυκνότητα μεταξύ 985-991 kg/m³ ή 0,985-0,991 kg/l στους 15 °C και μόνο περίπου το 2% έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 0,991 kg/l.

6-3 Ιξώδες.

Το *ιξώδες (viscosity)* ενός ρευστού δείχνει την αντίσταση του στη ροή. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες (μικρή ρευστότητα), τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη ροή. Μπορεί να εκφραστεί ως απόλυτο ιξώδες ή ως κινηματικό ιξώδες.

Το δυναμικό με το κινηματικό ιξώδες συνδέονται με τη σχέση:

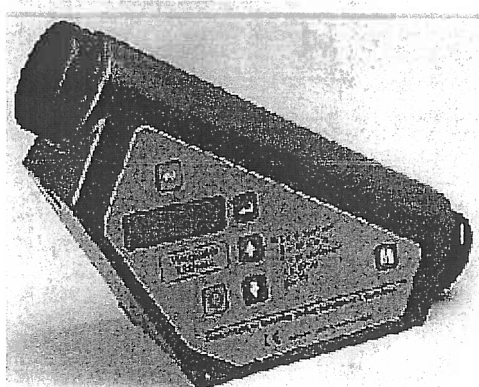
$$\nu = \mu / d$$

όπου, ν το κινηματικό ιξώδες (cSt), μ το δυναμικό ιξώδες (cP) και d η πυκνότητα του ρευστού (g/cm³).

Για τα καύσιμα ναυτιλίας συνηθίζεται να χρησιμοποιείται το κινηματικό ιξώδες και η μονάδα μέτρησης είναι σε σεντιστόκς (centistokes-cSt). Μερικές φορές το ιξώδες αναφέρεται σε μονάδες Engler, Saybolt ή ακόμα και Redwood και η μετατροπή γίνεται με τη βοήθεια νομογραφήματος (βλ.Κεφ.4).

Επειδή το ιξώδες μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία πρέπει πάντοτε να αναφέρεται η θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση του.

Για τα αποστάγματα και τα υπολείμματα καυσίμων η θερμοκρασία αναφοράς είναι 40 °C και 50 °C αντίστοιχα. Η θερμοκρασία αναφοράς στην προδιαγραφή ISO 8217 είναι 100 °C.



Σχ. 6-2 Φορητό Ηλεκτρονικό Ιξώδομετρο

Το ιξώδες μετριέται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-445 σε κατάλληλα ιξωδόμετρα. Επίσης υπάρχουν και φορητά ηλεκτρονικά ιξωδόμετρα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλοία (βλ.Σχ.6-2).

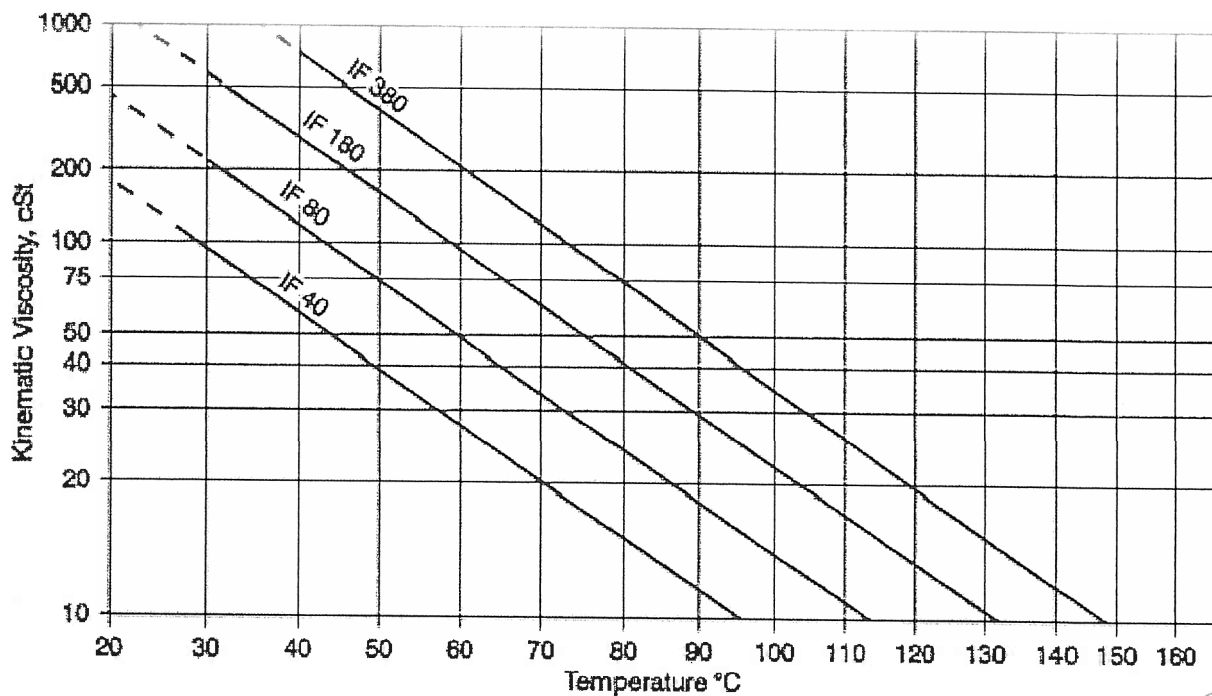
Από το ιξώδες του καυσίμου εξαρτάται η ευκολία κυκλοφορίας του μέσα στο δίκτυο του καυσίμου, η επιλογή και η λειτουργία των αντλιών και των εγχυτήρων του καυσίμου, ο καλός διασκορπισμός στον θάλαμο καύσης και γενικά η αποδοτικότητα της καύσης του καυσίμου.

Η τιμή του ιξώδους έχει ιδιαίτερη σημασία για τον καθορισμό της θερμοκρασίας προθέρμανσης του καυσίμου με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής μείωσης της τιμής στα επιθυμητά όρια.

Τα καταλληλότερα όρια ιξώδους, που επιλέγονται ανάλογα με τα εξαρτήματα (π.χ. αντλία τροφοδοσίας, αντλία έγχυσης, διαχωριστής καυσίμου κ.λ.π.) και τον τύπο της κάθε κατασκευής είναι :

- Στο σύστημα έγχυσης (δηλ. λίγο πριν την είσοδο στην αντλία έγχυσης - Injection viscosity) από 7 μέχρι 18 cSt και όχι μεγαλύτερο από 27 cSt στους 40 °C.
- Στους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες καυσίμου από 13 μέχρι 49 cSt στους 40 °C.
- Στις αντλίες τροφοδοσίας και μετάγγισης από 740 μέχρι 1000 cSt στους 40 °C.

Η αναγκαία θερμοκρασία προθέρμανσης για την μείωση του ιξώδους εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου. Για τον καθορισμό της θερμοκρασίας προθέρμανσης στην οποία το κάθε καύσιμο αποκτά το επιθυμητό ιξώδες χρησιμοποιούνται διαγράμματα που δίνουν την σχέση ιξώδους / θερμοκρασίας για διάφορους τύπους IF. Στα διαγράμματα αυτά στον οριζόντιο άξονα δίνεται η θερμοκρασία και στον κατακόρυφο το κινηματικό ιξώδες. Οι ευθείες κεκλιμένες γραμμές παριστάνουν καύσιμα ορισμένου τύπου (βλ.Σχ.6-3).



Σχ. 6-3 Μεταβολή του Κινηματικού Ιξώδους με τη Θερμοκρασία

Από το Σχ.6-3 προκύπτει ότι το IF-180 έχει κινηματικό ιξώδες 50 cSt στους 75 °C και 30 cSt στους 90 °C.

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι προθέρμανση πάνω από τα όρια προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα διότι πέρα από το διαφορετικό ιξώδες οδηγεί σε ατμόφραξη των αντλιών από τη δημιουργία ατμών εξαιτίας θέρμανσης του καυσίμου. Επίσης είναι δυνατό να προκαλέσει πυροδιάσπαση του πετρελαίου, που προκαλεί αύξηση των εξανθρακωμάτων. Χημικά πρόσθετα που περιορίζουν τα εξανθρακώματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν όταν η προθέρμανση, στα όρια που επιτρέπονται, δεν μειώνει το ιξώδες στα επιθυμητά επίπεδα,.

Κάθε καύσιμο έχει τη δική του σχέση κινηματικού ιξώδους / θερμοκρασίας. Οι προμηθευτές πετρελαίου δίνουν τα διαγράμματα ιξώδους / θερμοκρασίας, παρόλα αυτά πρέπει να εκτιμηθεί ότι τα διαγράμματα αυτά είναι βασισμένα στα μέσα στοιχεία ενός μεγάλου αριθμού αντιπροσωπευτικών καυσίμων. Δεδομένου ότι η σχέση ιξώδους / θερμοκρασίας εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου και τις διαδικασίες εγκαταστάσεων καθαρισμού που χρησιμοποιούνται, οι εκτιμήσεις που γίνονται από τα διαγράμματα αυτά δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ακριβείς. Γενικά η διαφορά είναι μικρή για τα καύσιμα χαμηλότερου ιξώδους αλλά γίνεται ευρύτερη καθώς το ιξώδες των καυσίμων αυξάνει.

Όταν δεν επιτυγχάνεται το σωστό ιξώδες τα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι:

- Στην έγχυση, διότι με ιξώδες μικρότερο από το κανονικό, έχουμε κακή διείσδυση στο θάλαμο καύσης, όπου κατά την στιγμή της έγχυσης επικρατούν υψηλές πιέσεις. Έτσι η ανάμιξη με τον αέρα δεν είναι καλή και οδηγούμεθα σε ατελή καύση με όλα τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως μαύρος καπνός, ρύπανση των κυλίνδρων από κατάλοιπα άνθρακα, μειωμένη απόδοση. Επίσης το πολύ χαμηλό ιξώδες πιθανόν να προκαλέσει επιστροφή της φλόγας και ακανόνιστη καύση, που μπορεί να φθάσει μέχρι την έμφραξη του εκνεφωτή.
- Στην άντληση διότι, με ιξώδες μεγαλύτερο από το κανονικό, έχουμε δυσχέρειες στην άντληση και διακίνηση του πετρελαίου, αλλά και μειωμένο διασκορπισμό που οδηγεί σε χονδρά σταγονίδια, που επηρεάζουν άμεσα την επαφή αέρα καυσίμου και κατά συνέπεια την πληρότητα της καύσης, κατά την έγχυση στο θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα την ατελή καύση. Επίσης προκαλεί μετάκαυση, επαφή πετρελαίου με την επιφάνεια του χιτωνίου με συνέπεια την καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης.

Για τη διατήρηση σταθερής τιμής ιξώδους τοποθετούνται στο δίκτυο του καυσίμου ειδικά ιξωδόμετρα που λειτουργούν ως ρυθμιστές ιξώδους. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αρχή ότι το ιξώδες βρίσκεται σε άμεση σχέση με την πίεση του καυσίμου. Μείωση του ιξώδους εξαιτίας της θέρμανσης προκαλεί αντίστοιχη μείωση της πίεσης, που επενεργεί αυτόματα στην παροχή ατμού στον προθερμαντήρα ή στην ενεργοποίησή της αντίστασης θέρμανσης, ώστε τελικά η θερμοκρασία να τηρείται στα όρια που εξασφαλίζουν το επιθυμητό ιξώδες.

6-4 Σημείο Ανάφλεξης

Το *σημείο ανάφλεξης (flash point)* είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί του καυσίμου όταν εφαρμόζεται μια εξωτερική φλόγα κάτω από πρότυπες συνθήκες. Καθορίζεται για να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και του χειρισμού του καυσίμου. Όσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης του, τόσο πιο ασφαλές είναι το καύσιμο.

Κατά την θέρμανση του καυσίμου, για λόγους χειρισμού, στις δεξαμενές αποθήκευσης, κατακάθισης και ιδιαίτερα όπου οι συνθήκες ευνοούν το σχηματισμό ατμού του καυσίμου και μπορεί να υπάρχει φλόγα, η θερμοκρασία θέρμανσης πρέπει να είναι δέκα βαθμούς μικρότερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του καυσίμου.

Το σημείο ανάφλεξης προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-93 και το ελάχιστο σημείο ανάφλεξης για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στο

μηχανοστάσιο ενός εμπορικού σκάφους σύμφωνα με τη διεθνή νομοθεσία είναι 60 °C. Για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται, για λόγους έκτακτης ανάγκης, έξω από το μηχανοστάσιο, το σημείο ανάφλεξης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 43 °C.

6-5 Σημείο Ροής

Όταν πέφτει η θερμοκρασία και το καύσιμο ψύχεται, ορισμένα συστατικά του, όπως η παραφίνη, αρχίζουν να πήζουν και τότε αυξάνεται σημαντικά το ιξώδες του και σε κάποια θερμοκρασία σταματά η ροή του.

Το σημείο ροής (*pour point*) δίνει τη θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός παραφίνης είναι τόσο έντονος που δεν επιτρέπει στο καύσιμο να είναι ρευστό, όταν ψυχθεί κάτω από ειδικές συνθήκες. Προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-97.

Εάν ένα καύσιμο βρίσκεται κάτω από την θερμοκρασία του σημείου ροής θα υπάρχει πρόβλημα άντλησης του. Επίσης η παραφίνη θα συγκεντρωθεί στους πυθμένες των δεξαμενών και στις σπείρες θέρμανσης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτείται θέρμανση κατά 10 °C πάνω από το σημείο ροής. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να είναι απαραίτητος ο χειρωνακτικός καθαρισμός των δεξαμενών.

6-6 Εξανθράκωμα

Κατά τη διάρκεια της καύσης μια μικρή ποσότητα βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο είναι δυνατόν ^{εάν υπάρχει} αντί να ^{εάν υπάρχει} (οξειδωθούν) πλήρως να ^{είναι του πετρελαίου} πολυμεριστούν σχηματίζοντας ένα είδος ανθρακούχου κοιτάσματος.

Το εξανθράκωμα (*carbon residue*) προσδιορίζει την τάση του καυσίμου να δημιουργεί ανθρακούχες ενώσεις. Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του είναι η ASTM D-189 και η ASTM D-524.

Μπορεί να εκφραστεί ως Ramsbottom Carbon Residue (RCR), ως Conradson Carbon Residue (CCR) ή ως Micro Carbon Residue (MCR). Αριθμητικά η τιμή CCR είναι ίδια με την MCR.

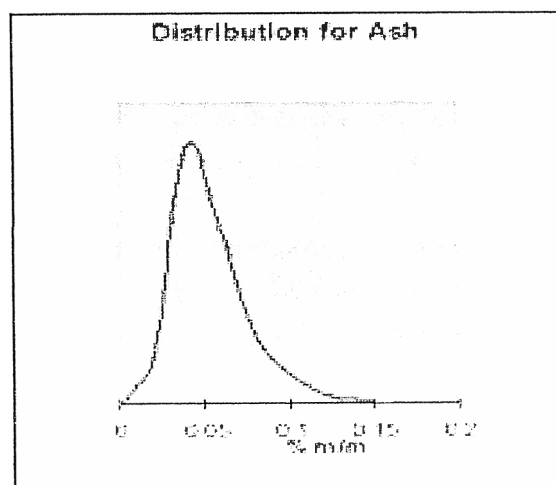
Αναφέρεται στο % κατά βάρος ανθρακούχο υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση δείγματος καυσίμου κάτω από ορισμένες συνθήκες και η τιμή του εξαρτάται από τις διαδικασίες καθαρισμού που υιοθετούνται κατά την παραγωγή των καυσίμων. Στα καύσιμα ναυτιλίας κυμαίνεται από 10-16% β/β και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 20% β/β. Τα μεγάλα εξανθράκωματα μειώνουν την απόδοση των ακροφυσίων ψεκασμού μειώνοντας την απόδοση του κινητήρα, ενώ ταυτόχρονα εντείνουν τη φθορά τους. Επίσης προκαλούν φθορές στα χιτώνια, ακινητοποιούν τα ελατήρια, τις βαλβίδες και ρυπαίνουν τους κυλίνδρους, τις θυρίδες σάρωσης κ.λ.π.

Για την αντιμετώπιση του εξανθρακώματος πρέπει να καθαρίζεται καλά το πετρέλαιο και να χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά λάδια που καθαρίζουν τα ακροφύσια ψεκασμού, τις θυρίδες, τις βαλβίδες και τα ελατήρια.

6-7 Τέφρα

Η τέφρα (*ash*) αποτελείται από άκαυστα υπολείμματα του καυσίμου και του λιπαντικού. Οφείλεται στις ανόργανες ουσίες που μένουν μετά την καύση και προέρχονται από μεταλλικά στοιχεία, που υπάρχουν στο φυσικό πετρέλαιο και παραμένουν στα υπολείμματα απόσταξης, στις ανόργανες ουσίες που εισέρχονται στο καύσιμο κατά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας και μεταφοράς και σε πιθανή μόλυνση από άμμο, ρύπους και σκουριά. Τέφρα επίσης δημιουργείται από την ύπαρξη θαλάσσιου νερού στο καύσιμο ή σημαντικής ποσότητας χρησιμοποιούμενου λιπαντικού μέσα σε αυτό. Από τα μεταλλικά στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα αυτά που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι το βανάδιο, το νάτριο, το αλουμίνιο, το ασβέστιο, το νικέλιο, το πυρίτιο, κ.λ.π.

Η τέφρα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, καθώς και διάβρωση στο έμβολο, στα χιτώνια, στις βαλβίδες και τα ελατήρια. Όταν συμβεί η επικάθηση της τέφρας δυσκολεύεται η μεταφορά θερμότητας και αυξάνεται η θερμική καταπόνηση οπότε και έχουμε καταστροφή των μεταλλικών εξαρτημάτων ή θραυματίζεται η τέφρα από την θερμική καταπόνηση των μεταλλικών εξαρτημάτων και προκαλείται διάβρωση. Η τέφρα αποβάλλεται με φυγοκεντρικό καθαρισμό και φιλτράρισμα. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων από τις επικαθίσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν χημικά πρόσθετα τα οποία συντελούν στον σχηματισμό εύθραυστης τέφρας που αποβάλλεται εύκολα.



Σχ.6-4 Κατανομή Τέφρας στα Καύσιμα Ναυτιλίας

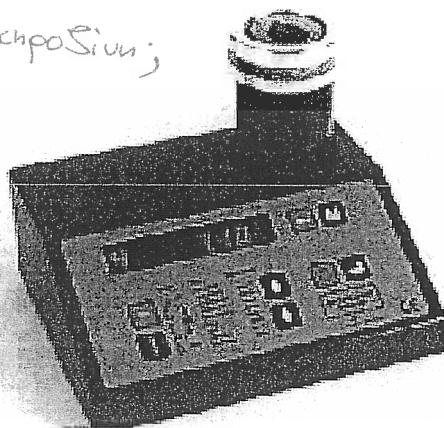
Η τέφρα προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-482. Για τον προσδιορισμό της τέφρας, σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, καίγεται μια ποσότητα καυσίμου μέχρι να καταναλωθεί όλη η ποσότητα του καυσίμου, και να απομείνουν μόνο τα άκαυστα ανόργανα συστατικά. Εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου και για τα καύσιμα ναυτιλίας το επίπεδο της τέφρας κυμαίνεται μεταξύ 0,03-0,07% β/β. Υψηλά επίπεδα τέφρας μπορούν να συνδεθούν με την ύπαρξη νερού ή λιπαντικού μέσα σε αυτό.

6-8 Περιεκτικότητα σε Νερό

Η εισαγωγή νερού (water) μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές, οι οποίες περιλαμβάνουν την υγροποίηση μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης, τη διαρροή δεξαμενών και του δικτύου μεταφοράς ή τη σκόπιμη νόθευση. Όπου χρησιμοποιείται ατμός για λόγους θέρμανσης δεξαμενών, η διαρροή σπειρών θέρμανσης είναι μια άλλη πιθανή πηγή νερού. Μια άλλη πιθανή πηγή είναι ο ίδιος ο φυγοκεντρικός διαχωριστής εάν ο δίσκος βαρύτητας είναι ακατάλληλος για την πυκνότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται.

Η ανίχνευση του νερού κατά την παραλαβή του καυσίμου με οπτική εξέταση είναι πολύ δύσκολη. Ο προσδιορισμός του νερού μπορεί να γίνει με ειδική συσκευή που προσδιορίζει το νερό ανάλογα με την ποσότητα του υδρογόνου που ελευθερώνεται όταν επέλθει η διάσπαση του με κατάλληλο χημικό αντιδραστήριο, αφού προηγουμένως το καύσιμο έχει αραιωθεί με κηροζίνη.

Το πείραμα με την κηροζίνη;



Σχ. 6-5 Συσκευή Προσδιορισμού Νερού

Επίσης ένας πρακτικός τρόπος ελέγχου της ύπαρξης νερού στο καύσιμο είναι η παρακολούθηση του τρόπου καύσης ενός χαρτιού που έχει εμποτιστεί μέσα στο καύσιμο. Σε περίπτωση ύπαρξης νερού στο καύσιμο, η καύση του θα είναι σπινθηροβόλος, ενώ σε αντίθετη περίπτωση θα είναι τελείως αθόρυβη.

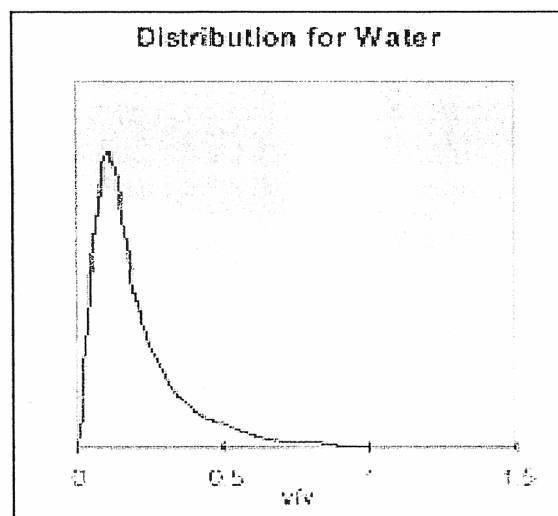
Τα καύσιμα περιέχουν νερό (γλυκό, υφάλμυρο, θαλασσινό) σε ελεύθερη μορφή

ή γαλακτωματοποιημένο. Το νερό που είναι πιο βαρύ από το καύσιμο με θέρμανση στους 50°C στη δεξαμενή κατακάθισης ή στους 85-90 °C στον φυγοκεντρικό διαχωριστή θα διαχωριστεί και θα απομακρυνθεί αφού απομακρυνθούν μαζί του και άλλες πιθανές ακαθαρσίες. Το γαλακτωματοποιημένο νερό είναι πιο δύσκολο να αφαιρεθεί και απαιτεί απογαλακτωματοποιητικά πρόσθετα που προκαλούν την διάσπαση των γαλακτωμάτων και τη συγκέντρωση του νερού στον πυθμένα των δεξαμενών από όπου εύκολα απομακρύνεται. Τα ασφαλτένια προκαλούν μεγαλύτερη γαλακτωποίηση του νερού που απαιτεί ιδιαίτερη προσπάθεια καθαρισμού στους διαχωριστές για να διασπαστεί και να αποβληθεί.

Το νερό όταν υπάρχει στα καύσιμα ναυτιλίας προκαλεί αρκετά προβλήματα στο χειρισμό, στην καύση και στο κόστος. Όσο περισσότερο νερό υπάρχει στο καύσιμο, πέρα από την επίπτωση στο κόστος αγοράς, τόσο μεγαλύτερη προσπάθεια χρειάζεται για να αποβληθεί και απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο για κατακάθιση και περισσότερη ενέργεια για θέρμανση. Επίσης το νερό προκαλεί διαβρώσεις στο δίκτυο ή στη μηχανή και ειδικότερα στα προστόμια των καυσίμων και, υποβοηθά την ανάπτυξη μυκήτων και βακτηρίων (μικροβιακή μόλυνση, βλ.Κεφ.10) που μπορεί να οδηγήσουν σε φράξιμο των φίλτρων.

Ιδιαίτερα προβληματικό είναι το θαλασσινό νερό. Το θαλασσινό νερό έχει πρόσθετες συνέπειες επειδή είναι πιο διαβρωτικό και επειδή το νάτριο που περιέχει μαζί με το βανάδιο είναι δυνατόν να προκαλέσει κατά την καύση ανεπιθύμητες ενέργειες (βλ.6-10).

Ο προσδιορισμός του νερού μπορεί να γίνει με φυγοκέντρωση σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1796 και με απόσταξη σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-123. Τα καύσιμα ναυτιλίας μπορούν από τη διύλιση να περιέχουν νερό μέχρι 1,0% β/ο. Στο MGO αυτό συνήθως κυμαίνεται μέχρι 0,3% β/ο.



Σχ. 6-6 Κατανομή Νερού στα Καύσιμα Ναυτιλίας

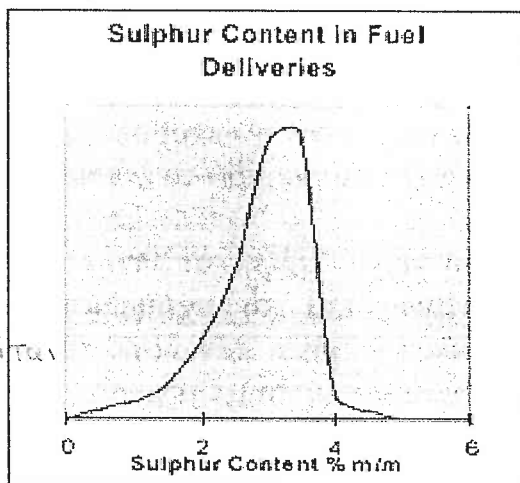
6-9 Περιεκτικότητα σε Θείο

Το θείο (sulphur) είναι ένα φυσικό στοιχείο στο αργό πετρέλαιο το οποίο συγκεντρώνεται στα υπολείμματα ατμοσφαιρικής απόσταξης. Για αυτό τον λόγο το ποσό του θείου στα καύσιμα εξαρτάται κυρίως από την πηγή του αργού πετρελαίου και σε μικρότερη έκταση στη διαδικασία καθαρισμού. Χαρακτηριστικά για τα υπολείμματα καυσίμων παγκοσμίως είναι 2-4% β/β. Το επίπεδο του θείου έχει μια οριακή επίδραση στην θερμαντική αξία.

Ποτε και γιατί το θείο δηλώνεται πρόβλημα;

Οι ενώσεις του θείου για να κάνουν διάβρωση πρέπει να υδραποισθούν (βιμείο δρόσου). Το αέριο θείο δεν διαβρώνει.

Αν έχουμε θερμοκρασία μικρότερη του βιμείου δρόσου το θείο υδραποιστείται και διαβρώνει.



Το θείο σε αέρια μορφή δεν προκαλεί ζημιά η ζημιά προκαλεί όταν συμπυκνωθεί και γίνει υγρό και έτσι έχουμε (διάβρωση).

Σχ. 6-7 Κατανομή Θείου στα Καύσιμα Ναυτιλίας

Η αυξημένη περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο προκαλεί διάβρωση (διάβρωση χαμηλής θερμοκρασίας) και φθορά σε εξαρτήματα της μηχανής, γιατί κατά την καύση μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου SO_2 και αυτό σε τριοξείδιο του θείου SO_3 . Το τριοξείδιο του θείου αντιδρά με ατμούς νερού και με καταλύτη το V_2O_5 δημιουργεί θειικό οξύ H_2SO_4 . Το θειικό οξύ που είναι έντονα διαβρωτικό συμπυκνώνεται στα τοιχώματα κυλίνδρων και γενικά στα εξαρτήματα καύσης τα οποία έχουν θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία δρόσου του θειικού οξέος, που είναι γνωστή και ως σημείο δρόσου (Acid Dew Point). Όσο πιο χαμηλά πέφτει η θερμοκρασία στα τοιχώματα, τόσο περισσότερο οξύ συμπυκνώνεται. Η θερμοκρασία δρόσου του θειικού οξέος εξαρτάται από την πίεση και αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης.

Εκτός από τις διαβρώσεις παρατηρούνται και μηχανικές φθορές από τον συνδυασμό των ενώσεων του θείου με τα ανθρακούχα κατάλοιπα. Ο συνδυασμός αυτός καταλήγει στο σχηματισμό ^{εξ ου θ} εξαιρετικά σκληρών εναποθέσεων με έντονες αποξεστικές επιδράσεις στα χιτώνια και στα άλλα τριβόμενα μέρη της μηχανής. Όταν η περιεκτικότητα του θείου είναι μικρότερη από 0,5% β/β σχηματίζεται μακριά φλόγα που κατακαίγει το κυλινδρέλαιο και αρπάζει το χιτώνιο. Επίσης η περιεκτικότητα σε θείο έχει άμεση σχέση με τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Ο προσδιορισμός της

Π. Πως αντιμετωπίζεται η υγρασία στο νερό ψύξης ή θέρμης δρόσου;
ΑΠ. και από εσωτερικά π.χ. εάν θέρμης δρόσου στους 50°C

102 και έχασε 30 και 60°C ποια είναι
καλύτερο είναι στους 30°C γιατί
στους 60°C έχει υφασμάτιο.

περιεκτικότητας σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων γίνεται με μέθοδο φθορισμού ακτινών Χ.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο στο καύσιμο, αντιμετωπίζεται:

SO₂AR₀
- Με τη σωστή επιλογή ενός κυλινδρέλαιου λιπαντικού και μηχανέλαιου που περιέχουν ανάλογη αλκαλικότητα (TBN), για να εξουδετερώσει τα οξέα. Επίσης τα λιπαντικά υψηλής αλκαλικότητας μαζί με τα βελτιωτικά καύσης είναι δυνατόν να περιορίσουν την οξειδωση σε SO₂ και το σχηματισμό του θειικού οξέος. Όσο περισσότερο θείο έχει το καύσιμο, τόσο πιο μεγάλη αλκαλικότητα πρέπει να έχει το λιπαντικό. Στην επιλογή του λιπαντικού χρειάζεται προσοχή για να υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ της περιεκτικότητας σε θείο και αλκαλικότητας, γιατί η υπερβολική αλκαλικότητα όχι μόνο δεν συνιστάται, αλλά κάνει και πιο ακριβό το λιπαντικό.

- Με τη διατήρηση του νερού ψύξης σε θερμοκρασίες που αποκλείουν τη συμπύκνωση των ατμών και το σχηματισμό του θειικού οξέος. Η θερμοκρασία αυτή πρέπει να είναι πάνω από το σημείο δρόσου του θειικού οξέος δηλαδή τη θερμοκρασία συμπύκνωσης των ατμών του και να μη γίνεται υπέρψυξη των εξαρτημάτων. Οι θερμοκρασίες αυτές δεν πρέπει να εξασφαλίζονται με περιορισμό της παροχής του νερού ψύξης, πράγμα που είναι επικίνδυνο, αλλά με επανακυκλοφορία του νερού ψύξης ή με άλλους τρόπους. Επίσης επιθυμητό είναι να υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας 10 °C του νερού ψύξης ανάμεσα στη είσοδο και την έξοδο του για να μειωθεί ο κίνδυνος ρωγμών στα πάματα των κυλίνδρων και στα χιτώνια.

- Με επιχρωμίσωση των χιτωνίων και μάλιστα με κατάλληλη ηλεκτροχημική επιχρωμίσωση που να οδηγεί, για καλύτερη συγκράτηση του λιπαντικού μέσου στα τοιχώματα του χιτωνίου, σε πορώδες στρώμα επιμετάλλωσης. Επίσης η κατασκευή των χιτωνίων από ανοξειδωτο χάλυβα ή από ανθεκτικά στη διάβρωση κράματα, όπως χυτοσίδηρος που περιέχει βανάδιο, τιτάνιο, χρώμιο κ.λ.π., έχει ανάλογα αποτελέσματα. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η επιχρωμίσωση των ελατηρίων του εμβόλου δεν είναι δυνατή εξαιτίας της φθοράς των επιχρωμιωμένων επιφανειών από την τριβή.

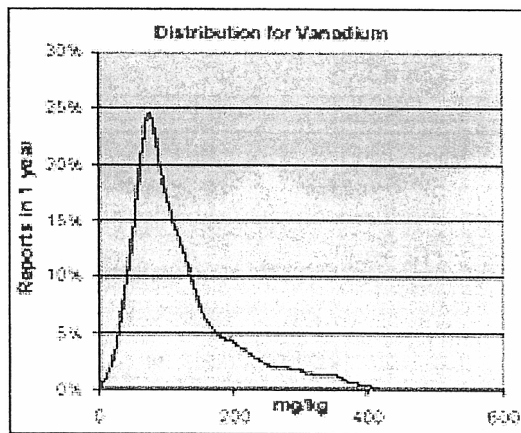
6-10 Περιεκτικότητα σε Βανάδιο και Νάτριο

Το βανάδιο (*vanadium*) και το νάτριο (*sodium*) είναι μέταλλα που υπάρχουν σε όλα τα ακατέργαστα πετρέλαια και φυσικά παραμένουν και στα υπολείμματα. Τα επίπεδα που βρίσκονται στα βαρέα υπολείμματα εξαρτώνται κυρίως από την πηγή του ακατέργαστου πετρελαίου (τα πετρέλαια της Βενεζουέλας και του

Μεξικού έχουν υψηλά επίπεδα) και από τις διαδικασίες καθαρισμού που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των υπολειμμάτων.

Τα περισσότερα υπολείμματα έχουν επίπεδα βαναδίου λιγότερα από 150 mg/kg. Παρόλα ταύτα μερικά καύσιμα έχουν ένα επίπεδο βαναδίου μεγαλύτερο από 400 mg/kg.

Γενικά όταν τα καύσιμα παραδίδονται περιέχουν ένα μικρό ποσοστό νατρίου που είναι κάτω από 50 mg/kg το οποίο όμως αυξάνεται από την παρουσία θαλάσσιου νερού. Το ποσοστό αύξησης είναι περίπου 100 mg/kg για κάθε % περιεκτικότητα του καυσίμου σε θαλάσσιο νερό. Εάν δεν αφαιρείται στη διαδικασία επεξεργασίας καυσίμων, ένα υψηλό επίπεδο νατρίου προκαλεί αποθέσεις στο στροβιλοσυμπιεστή. Οι αποθέσεις κανονικά μπορούν να αφαιρεθούν με πλύση ύδατος.



Την αναλογία μπορούμε να

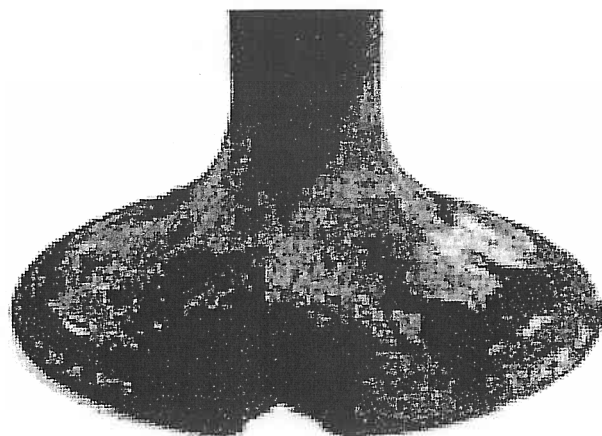
την επηρεάσουμε είτε θετικά είτε αρνητικά με την προσθήκη ή με την αφαίρεση του νερού

Σχ. 6-8 Κατανομή Βαναδίου στα Καύσιμα Ναυτιλίας στο De laul

Το βανάδιο και το νάτριο έχουν θετικές επιπτώσεις κατά την καύση του καυσίμου, γιατί ενεργούν ως καταλύτες και βοηθούν μειώνοντας τα υπολείμματα των άκαυστων εξανθρακωμάτων. Πολλές φορές όμως το βανάδιο και το νάτριο σε συνδυασμό και σε υψηλά επίπεδα και κάτω από ορισμένες συνθήκες είναι δυνατό να προκαλέσουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην μηχανή. Ιδιαίτερο προβληματικό είναι το βανάδιο με το νάτριο σε αναλογία 3/1 η οποία οδηγεί, με την ταυτόχρονη παρουσία του V_2O_5 και του Na_2O , στην δημιουργία μιας εύτηκτης ένωσης βαναδίου-νατρίου που προκαλεί διάβρωση (διάβρωση υψηλής θερμοκρασίας) στα εξαρτήματα του χώρου της καύσης και κύρια στις βαλβίδες εξαγωγής και στους στροβιλοσυμπιεστές. Επίσης οι αποθέσεις της εύτηκτης ένωσης μειώνουν την εναλλαγή θερμότητας με αποτέλεσμα οι γνύξη των βαλβίδων να είναι ανεπαρκής και να επιταχύνεται η φθορά τους.

Η εξήγηση για την διάβρωση της υψηλής θερμοκρασίας είναι ότι ενώ τα στερεά κατάλοιπα του V_2O_5 λειώνουν στους 675 °C και τα κατάλοιπα του θειικού νατρίου Na_2SO_4 (που σχηματίζονται από το νάτριο του πετρελαίου και το θειικό

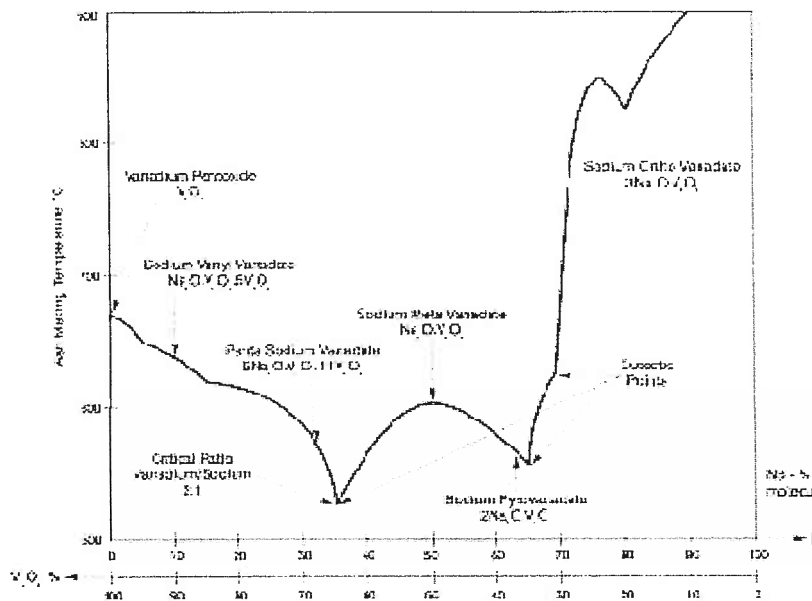
οξύ) στους 883 °C, η εύτηκτη ένωση, που δημιουργείται, λιώνει στους 550 °C. Έτσι όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων υπερβαίνει το σημείο τήξης, το εύτηκτο κράμα τήκεται και αποτιθέμενο στις μεταλλικές επιφάνειες προκαλεί την διάβρωση τους. Στην πράξη, η έκταση της διάβρωσης υψηλής θερμοκρασίας αντιμετωπίζεται με τον έλεγχο της θερμοκρασίας και την



Σχ. 6-9 Επίδραση της Διάβρωσης Υψηλής Θερμοκρασίας στις Βαλβίδες Εξάτμισης

κατάλληλη επιλογή υλικών. Η σωστή σχεδίαση και η λειτουργία των μηχανών που εξασφαλίζουν την θερμοκρασία στις βαλβίδες εξαγωγής να είναι κάτω από τους 550 °C, περίπου στο επίπεδο των 450 °C, περιορίζουν το φαινόμενο καθώς η εύτηκτη ένωση παρασύρεται ως σκόνη, χωρίς να είναι δυνατή η τήξη της, με τα καυσαέρια. Άλλος ένας τρόπος αντιμετώπισης της διάβρωσης υψηλής θερμοκρασίας είναι χρήση χημικών προσθέτων που αυξάνουν το σημείο τήξης της εύτηκτης ένωσης στους 1300°C, δημιουργώντας με αυτή δύστηκτες χημικές ενώσεις. Στην περίπτωση αυτή η εύτηκτη ένωση παρασύρεται με τα καυσαέρια αφήνοντας τις βαλβίδες άθικτες. Τα πρόσθετα αυτά πρέπει να χρησιμοποιηθούν με προσοχή διότι μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην καύση.

Επίσης όταν είναι δυνατή η απομάκρυνση του νερού, οπότε και το επίπεδο του νατρίου δεν είναι ικανό να είναι σε αναλογία 3/1 με το βανάδιο, το βανάδιο που απομένει δεν μπορεί να σχηματίσει την εύτηκτη ένωση με αποτέλεσμα το πεντοξείδιο του βαναδίου (V_2O_5) να παρασύρεται από τα καυσαέρια χωρίς να επηρεάζει τις βαλβίδες και να προκαλεί φθορές.



Σχ. 6-10 Θερμοκρασίες Τήξης Ενώσεων Βαναδίου-Νατρίου

6-11 Περιεκτικότητα σε Αλουμίνιο και Πυρίτιο

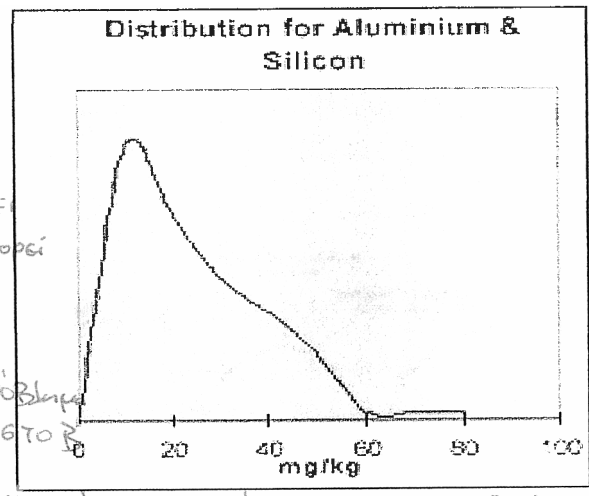
Το αλουμίνιο (aluminium) και το πυρίτιο (silicon) περιέχονται στα βαρέα καύσιμα προερχόμενα από τους καταλύτες που προσθέτονται κατά την καταλυτική πυρόλυση. Η μέθοδος καταλυτικής πυρόλυσης αν και είναι σχεδιασμένη να ανακτά τον καταλύτη, επειδή είναι ακριβός, σωματίδια του καταλύτη, με διάμετρο μικρότερη από 20 μm, ξεφεύγουν και εισέρχονται στα βαριά κλάσματα της καταλυτικής πυρόλυσης. Έτσι όταν ο καθαρισμός του καυσίμου είναι ανεπαρκής, τα υπολείμματα αλουμινίου πυριτίου επειδή έχουν μεγάλη σκληρότητα προκαλούν μηχανικές φθορές στα χιτώνια της μηχανής, στο σύστημα έγχυσης του καυσίμου και στα έμβολα. Μάλιστα το μέγεθος και η σκληρότητα των υπολειμμάτων του καταλύτη εξαρτώνται από το είδος του καταλύτη που χρησιμοποιείται κατά την καταλυτική πυρόλυση.

Από τις προδιαγραφές για τα βαριά καύσιμα καθορίζονται ανώτατα επιτρεπτά όρια για τα στοιχεία αυτά και ειδικότερα για το αλουμίνιο, του οποίου η περιεκτικότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει 80 mg/kg. Αν και υπάρχουν κάποιοι μέθοδοι που μπορούν να ανιχνεύσουν το αλουμίνιο, επειδή τα 80 mg/kg ή 80 ppm είναι ένα πολύ χαμηλό επίπεδο, η αποτελεσματικότητα αυτών είναι αμφίβολη.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλεί η παρουσία αλουμινίου και πυριτίου συνιστάται η τοποθέτηση κατάλληλων φίλτρων, που συγκρατούν τα παραπάνω στοιχεία, και ο εντονότερος καθαρισμός του καυσίμου. Το ποσοστό που αφαιρείται εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό των

παραφινικοί είναι σκληροί της βασικής συνεχί ελαστικότητα στην ανακρίση αλλά είναι
 Αρωματικοί είναι σκληροί της βασικής καθαυτέρων την αυταναφάση σκληροί της αμείξης
 Ασφαλτένια 106

για 2 πλ. το 120 και το 125 έχουν πιο κρώδες αλλά βασικά διαφορετική πυκνότητα



Α. ένα καύσιμο Α έχει

4
 5 παραφ. Αυτά η ανακρίση μπορεί να κρατήσει τα ασφαλτένια μπορεί να κρατήσει τα ασφαλτένια διασκορπισμένα έτγι δεν έχει πρόβλημα ούτε στο Α ούτε στο Β

Β
 25 Παρ. Αλλά τα ζητούμενα είναι στο μίγμα μας που θα έχουμε αν θα μπορεί να κρατήσει διασκορπισμένα τα ασφαλτένια
 40 παραφ.
 16 Αρωμ.
 9 Ασφ.

Σχ. 6-11 Κατανομή Αλουμινίου και Πυριτίου στα Καύσιμα Ναυτιλίας

καυσίμων (καθώς τα σωματίδια των καταλυτών είναι ^{παρακλύονται από τον αέρα} "υδρόφιλα"), από το μέγεθος και την πυκνότητα των σωματιδίων του καταλύτη (συγκεκριμένα από την διαφορά στην πυκνότητα των σωματιδίων των καταλυτών και των καυσίμων). Επίσης περιορίζει τα προβλήματα και η καλύτερη λίπανση των κυλίνδρων με ενισχυμένα λιπαντέλαια.

6-12 Σταθερότητα και Συμβατότητα

Στα υπολείμματα καυσίμων τα ασφαλτένια διανέμονται ομοιόμορφα στην υγρή φάση και παραμένουν διασκορπισμένα σε κολλοειδή μορφή, σε μια ομαλή φυσική αναλογία (ισορροπία), χωρίς να δείχνουν τάση διαχωρισμού και κατακρήμνισης (δηλαδή να πέσουν κάτω ως λάσπη), εφόσον δεν διαταραχθεί, για κάποιο λόγο, η φυσική τους ηρεμία.

Σταθερότητα (stability) είναι η δυνατότητα των ασφαλτενίων να παραμένουν διασκορπισμένα σε κολλοειδή μορφή στο σώμα του καυσίμου χωρίς να δείχνουν τάση διαχωρισμού και κατακρήμνισης. Όσο πιο ασταθές είναι το καύσιμο, τόσο πιο μεγάλη είναι η κατακρήμνιση των ασφαλτενίων.

Συμβατότητα (compatibility) είναι η δυνατότητα της ανάμιξης δύο διαφορετικής προέλευσης καυσίμων, χωρίς να διαχωριστούν τα ασφαλτένια και να σχηματιστεί ίζημα (λάσπη). Όταν το προϊόν που παράγεται δεν διατηρεί την φυσική του συνοχή αλλά δημιουργεί λασπώδης κατακαθίσεις, το προϊόν αυτό λέγεται ασύμβατο ή μη αναμίξιμο (incompatible). Το φαινόμενο σχηματισμού της λάσπης είναι εντονότερο όσο βαρύτερο είναι το καύσιμο καθώς η ανάμιξη

Πρόβλημα
 Συμβατότητα έχουμε όταν έχουμε μίγμα καυσίμων ίδιων με διαφορετική πυκνότητα

επιτείνει την αστάθεια που προϋπάρχει στα καύσιμα αυτά εξαιτίας της σύστασης τους.

Η σταθερότητα και η συμβατότητα είναι πολύ παρόμοιες έννοιες με την εξής διαφορά: την σταθερότητα την εννοούμε όταν παραδίδεται ή αποθηκεύεται το καύσιμο ενώ η συμβατότητα όταν αναμιγνύεται με άλλο καύσιμο στις εγκαταστάσεις ή στο πλοίο.

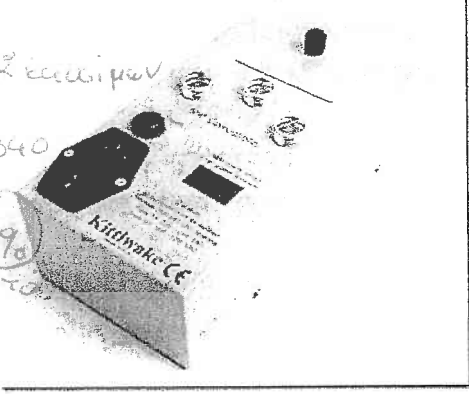
Ας εξετάσουμε τώρα σε τι οφείλεται η δημιουργία της λάσπης δηλαδή η κατακρήμνιση των ασφατενίων και η οποία επιτείνεται κατά την προθέρμανση και την ανάμιξη των καυσίμων.

Τα ασφατένια των καυσίμων κυμαίνονται σε ποσοστό από 2-14% και το ποσοστό που περιέχει ένα καύσιμο εξαρτάται από την προέλευση του αργού πετρελαίου και τον τρόπο δύλισης του. Σήμερα ως καύσιμα ναυτιλίας χρησιμοποιούνται πολλοί τύποι πετρελαίων, που παράγονται από ανάμιξη διαφόρων προϊόντων από τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας του αργού πετρελαίου. Για την ανάμιξη, που γίνεται με κριτήρια την πυκνότητα, το ιξώδες και άλλες ιδιότητες, χρησιμοποιούνται κυρίως υπολείμματα, στα οποία το ποσοστό των ασφατενίων είναι αυξημένο, αλλά και αποστάγματα. Κατά την ανάμιξη υπάρχει πάντα ο κίνδυνος τα συστατικά του καυσίμου να μην είναι συμβατά μεταξύ τους με συνέπεια να διαχωριστούν και να κατακαθίσουν τα ασφατένια. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας κατά την προθέρμανση του καυσίμου προκαλεί κατακρήμνιση των ασφατενίων εξαιτίας του πολυμερισμού των ασφατενίων. Έτσι στα πλοία υπάρχει τόσο το πρόβλημα της σταθερότητας του καυσίμου που υπάρχει στις δεξαμενές, στην περίπτωση της προθέρμανσης, όσο και της συμβατότητας, στην περίπτωση που γίνει ανάμιξη με άλλο καύσιμο από διαφορετική προέλευση, ή με diesel.

Σε ένα καύσιμο σταθερό και συμβατό συνυπάρχουν δύο φάσεις, η υγρή και η στερεά. Στην υγρή φάση είναι αναμεμιγμένα τα διάφορα συστατικά των αποσταγμάτων και των υπολειμμάτων, στα οποία περιλαμβάνονται και τα ασφατένια. Στη στερεή φάση υπάρχουν τα μέταλλα (V, Ni, Al, Si, Fe, Na) και τα μη διασκορπισμένα ασφατένια. Η στερεή φάση θεωρείται συνήθως αμελητέα, εφόσον η διαλυτότητα που έχει το καύσιμο υπερβαίνει τη διαλυτότητα που απαιτείται, ώστε τα ασφατένια να παραμένουν, στην πλειοψηφία τους, διασκορπισμένα στο σώμα του καυσίμου. Πρέπει δηλαδή, η διαθέσιμη διαλυτότητα του καυσίμου να είναι μεγαλύτερη από την διαλυτότητα που απαιτείται. Η διαθέσιμη διαλυτότητα του καυσίμου εξαρτάται από τα αρωματικά στοιχεία. Όσο αυξάνεται η αρωματικότητα του καυσίμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη διαλυτότητα του για τα ασφατένια. Όταν γίνεται ανάμιξη με άλλο καύσιμο, που δεν είναι πλούσιο σε αρωματικά (υπερτερούν, οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες), δηλαδή έχει μικρή διαλυτότητα, τότε η διαθέσιμη διαλυτότητα (του μίγματος) γίνεται μικρότερη της απαιτούμενης με αποτέλεσμα την κατακρήμνιση των ασφατενίων και την αύξηση της στερεάς

π.χ. το Α καύσιμο $P_{A_{15}} = 0,7812$ 100cm
 $P_A \neq P_B$
 $> 25\%$ μεγαλύτερες
 πάντα το παλιότερο καύσιμο είναι $> 25\%$ εάν είναι μεγαλύτερο έχουμε μεγάλες
 αυξήσεις το παλιότερο αναμειγνύεται μικρότερο 25% σκαμμένο μικρές λιθαιότητες

Εάν π.χ. οι ποσότητες των ζεααίων των μίξων είναι κοντά.
 π.χ. $P_{A_{15}} = 0,9812$ & $P_{B_{15}} = 0,9840$
 οι στην μίξη περρίεις το 25%
 οτε και πάλι έχω μικρό ποσοστό
 ότι $P_A \approx P_B$



Σχ. 6-12 Συσκευή για τον Έλεγχο της Συμβατότητας

φάσης δηλαδή την εμφάνιση της λάσπης. Όσο μικρότερη είναι η διαλυτότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της λάσπης.

Όταν συμβεί η κατακρήμνιση των ασφατενίων οι συνέπειες που προκύπτουν είναι φράξιμο των φίλτρων και υπερφόρτωση των διαχωριστών και των αντλιών, ώστε να χρειάζονται καθάρσιμα. Επίσης είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στρώμα άκαυστου άνθρακα στους προθερμαντήρες με συνέπεια να φράζουν οι εγχυτήρες, να γίνεται κακή καύση και να παρατηρείται μείωση της ισχύος της μηχανής κ.λ.π.

Ο πιο απλός τρόπος εκτίμησης της συμβατότητας, χωρίς μεγάλη ακρίβεια, είναι η μέθοδος ASTM D-2781. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή μια σταγόνα του προϊόντος ρίπτεται σε ειδικό χρωματογραφικό χαρτί και η μελανότητα του προϊόντος συγκρίνεται με προκαθορισμένα πρότυπα.

Όταν δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την σταθερότητα και τη συμβατότητα ενός καυσίμου οι προφυλάξεις που πρέπει να πάρει ο Α' μηχανικός του πλοίου είναι οι ακόλουθες:

- Να αποφεύγει την ανάμιξη στη ίδια δεξαμενή, διαφορετικής προέλευσης καυσίμων, όπως αποσταγμάτων με προϊόν από σχάση, προπάντων όταν το καύσιμο έχει υψηλό σημείο ροής (η θερμοκρασία ροής είναι αυξημένη όταν έχει πολλά παραφινικά).
- Εάν πρέπει να γίνει ανάμιξη, τότε να περιορίσει την ποσότητα του ενός από τα δύο καύσιμα, σε ποσοστό λιγότερο από 25%.
- Να αποφεύγει την ανάμιξη δύο διαφορετικών προϊόντων με διαφορετική πυκνότητα (δύο προϊόντα με το ίδιο περίπου ιξώδες και πυκνότητα μπορούν να αναμιχθούν, χωρίς μεγάλο πρόβλημα).

Επίσης για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρησιμοποιούνται χημικά πρόσθετα που προστίθενται στις δεξαμενές του πετρελαίου σε ποσοστό 0,25%. Τα πρόσθετα αυτά εμποδίζουν το σχηματισμό λάσπης ή διαλύουν τα υπάρχοντα ασφαλικά κατάλοιπα των δεξαμενών και στα δίκτυα του καυσίμου και γενικά συμβάλλουν στη διατήρηση της ομογένειας του καυσίμου.

6-13 Ποιότητα Ανάφλεξης

εξφ. 1 εικόνες εσα. 5

SOS

Η ετοιμότητα ενός καυσίμου να αναφλεγεί όταν ψεκάζεται σε ένα κινητήρα Diesel, φαίνεται από τον αριθμό κετανίου. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξη. Όπως αναφέραμε ο χρόνος ανάμεσα στην εκτόξευση και την έναυση πρέπει να είναι μικρός. Η επιβράδυνση της έναυσης έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλου ποσού καυσίμου, που η ανάφλεξη του δημιουργεί απότομη αύξηση της πίεσης, με αποτέλεσμα τους κραδασμούς και τις δονήσεις, που μειώνουν την απόδοση της μηχανής. Όσο λιγότερος είναι ο χρόνος της επιβράδυνσης τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα ανάφλεξης (*ignition quality*) του καυσίμου.

Ο αριθμός κετανίου έχει ιδιαίτερη σημασία για το πετρέλαιο diesel που προορίζεται για τις ταχύστροφες πετρελαιομηχανές ενώ για αργόστροφες μηχανές οι απαιτήσεις σε αριθμό κετανίου είναι γενικά πολύ χαμηλές (CN=20). Σήμερα είναι γενικά αποδεκτό ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ποιότητα ανάφλεξης των αποσταγμάτων όπως ο αριθμός κετανίου, δείκτης κετανίου, δείκτης diesel κ.λ.π. δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της ποιότητας ανάφλεξης στα υπολείμματα.

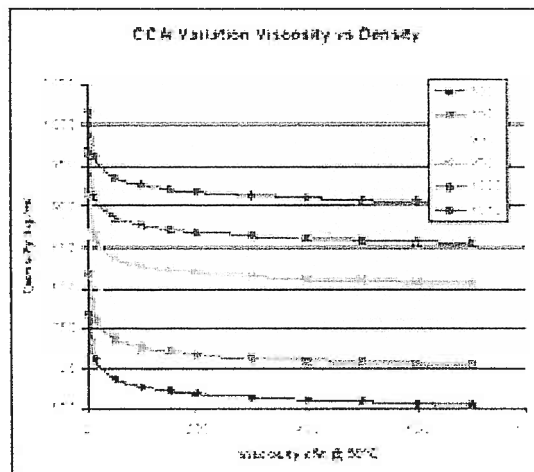
Στη διεθνή αγορά ναυτιλίας χρησιμοποιείται μια νέα παράμετρος για την ποιότητα των καυσίμων HFO. Η παράμετρος αυτή βασίζεται σε μια εμπειρική μέθοδο που ονομάζεται "Δείκτης Αρωματικού Άνθρακα Κατά Υπολογισμό" (Calculated Carbon Aromaticity Index - CCAI) και η οποία προσδιορίζει την ποιότητα ανάφλεξης σύμφωνα με τον αποδεδειγμένο και γνωστό συσχετισμό μεταξύ της ποιότητας ανάφλεξης και της περιεκτικότητας των αρωματικών υδρογονανθράκων. Όσο λιγότερα αρωματικούς υδρογονάνθρακες περιέχει ένα καύσιμο, τόσο καλύτερη είναι η συμπεριφορά της ανάφλεξης του σε μια ντίζελ μηχανή. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες αυξάνουν την καθυστέρηση ανάφλεξης επειδή εμφανίζουν ιδιαίτερη θερμική σταθερότητα στην αέρια φάση που μπορεί να σημαίνει προβληματική καύση και απρόβλεπτη μεταβολή της πίεσης στο θάλαμο καύσης μετά την επίτευξη της ανάφλεξης.

Επειδή όμως ο προσδιορισμός των αρωματικών υδρογονανθράκων απαιτεί χημική ανάλυση υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του δείκτη CCAI από εμπειρική εξίσωση ή από νομογράφημα με βάση την πυκνότητα και το ιξώδες του καυσίμου (βλ. Σχ.6-14). Από τις δύο παραμέτρους η πυκνότητα έχει τη σημαντικότερη επίδραση.

Η εμπειρική εξίσωση που δίνει τον δείκτη CCAI και επιτρέπει την κατάταξη των ναυτιλιακών καυσίμων HFO είναι:

$$\text{CCAI} = d - 80,6 - 140,6 \log \log (\nu + 0,85) - 783 \log (T/323)$$

όπου, d η πυκνότητα (kg/m^3), ν το κινηματικό ιξώδες (cSt) και T η θερμοκρασία μέτρησης, σε βαθμούς K ($273 + ^\circ\text{C}$), του κινηματικού ιξώδους.



Σχ. 6-13 Διακύμανση του Δείκτη CCAI από την Πυκνότητα και το Ιξώδες

τιμή του δείκτη αρωματικότητας:

Η κατάταξη των ναυτιλιακών καυσίμων με βάση το δείκτη αρωματικότητας είναι:

<u>Τιμή CCAI</u>	<u>Ποιότητα Ανάφλεξης</u>
790-830	Πολύ καλή μέχρι καλή
830-850	Καλή μέχρι ικανοποιητική
850-870	Μέτρια μέχρι κακή
870-950	Κακή μέχρι μη αποδεκτή

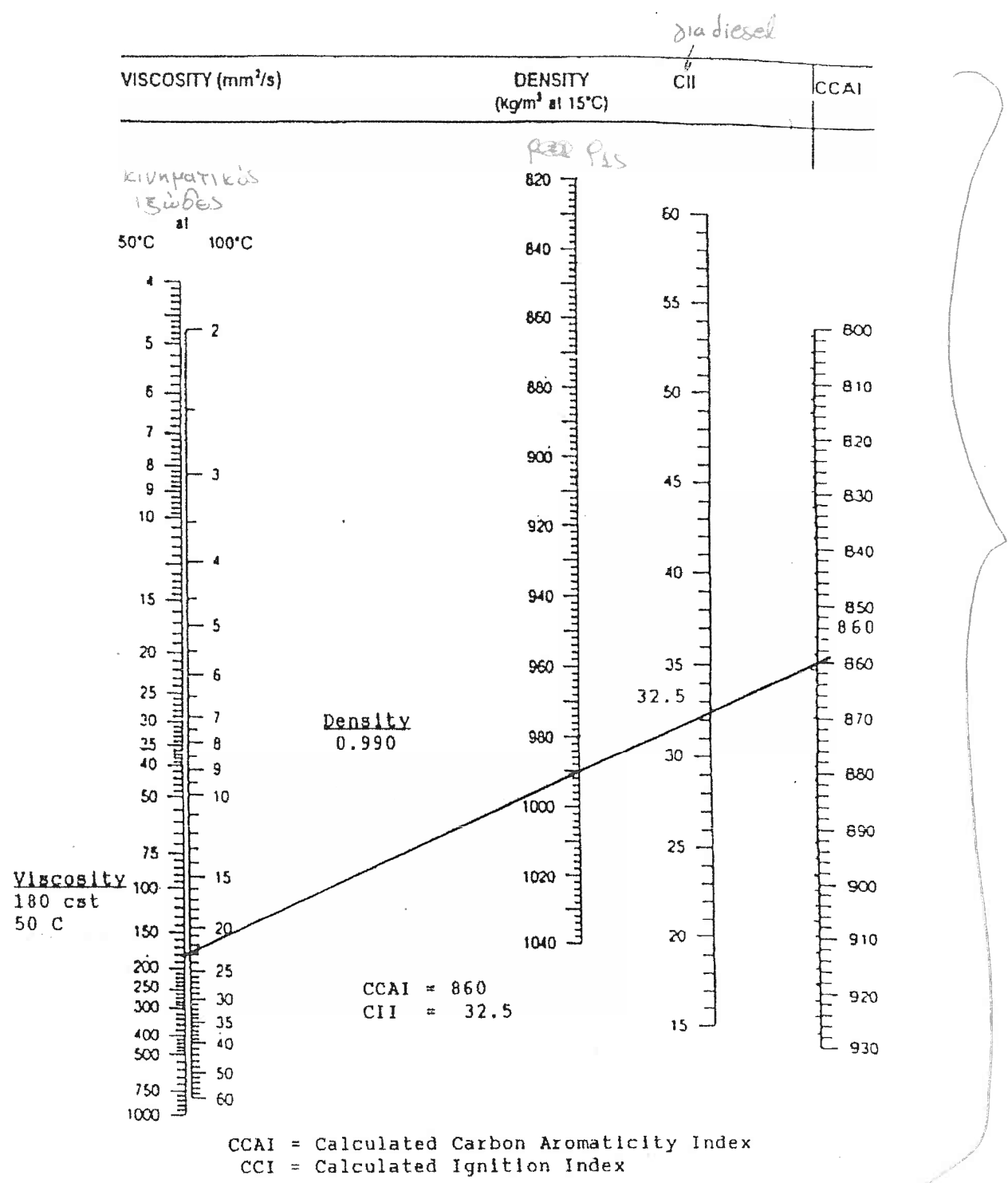
Όταν η τιμή του δείκτη CCAI υπερβαίνει το 850-870 χρειάζεται προσοχή διότι θα έχουμε επιβράδυνση της ανάφλεξης και χειρότερηση της ποιότητας ανάφλεξης με τα γνωστά επακόλουθα όπως υψηλή πίεση, θορυβώδη λειτουργία, μείωση της ισχύος κ.λ.π. Γενικά στα καύσιμα ο συνδυασμός υψηλής πυκνότητας και μικρού ιξώδους αυξάνει το δείκτη CCAI.

Όταν παίρνουμε ένα καύσιμο τι μας δίνεται;
 Διεξάδες 3) πυκνότητα στους 15°C
 III

505

έστω 180 cst είναι 180 cst στους 50°C

Επίσης μια άλλη ένδειξη για την συμπεριφορά των καυσίμων ναυτιλίας, ειδικότερα για MGO/MDO, είναι και ο δείκτης CII (Calculated Ignition Index) που υπολογίζεται από το νομογράφημα, όπως ο δείκτης CCAI, με βάση την



Σχ. 6-14 Νομογράφημα για τον Υπολογισμό των Δεικτών CCAI και CII από την Πυκνότητα και το Ιξώδες

πυκνότητα και ιξώδες του καυσίμου ή από την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση:

$$CII = 275,985 - (0,254565) d + 23,708 \log \log (v + 0,7)$$

όπου, d η πυκνότητα (kg/m^3) και v το κινηματικό ιξώδες (cSt) στους 50°C .

Από το νομογράφημα του Σχ.6-14 προκύπτει ότι καύσιμο με κινηματικό ιξώδες 180 cSt στους 50°C και πυκνότητα $0,990 \text{ gr/cm}^3$ έχει $CCAI=860$ και $CII=32,5$. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι απαιτήσεις ποιότητας ανάφλεξης των υπολειμμάτων στις μεγάλες νηζελομηχανές καθορίζονται πρώτιστα από τον τύπο των μηχανών και, σημαντικότερα, από τους όρους λειτουργίας των μηχανών αυτών. Οι παράγοντες των καυσίμων επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά ανάφλεξης σε μια πολύ μικρότερη έκταση. Για τον λόγο αυτό κανένα γενικό όριο για την ποιότητα ανάφλεξης δεν μπορεί να εφαρμοστεί, δεδομένου ότι μια τιμή που μπορεί να είναι προβληματική σε μια μηχανή μπορεί να αποδώσει αρκετά ικανοποιητικά σε πολλές άλλες περιστάσεις. Έτσι μετά τον υπολογισμό του δείκτη $CCAI$ ο μηχανικός πρέπει να κρίνει την αποδοχή εκείνων των καυσίμων για την αποτελεσματική λειτουργία της μηχανής.

Σημειώνεται ότι οι δείκτες $CCAI$ και CII δίνουν απλά μία ένδειξη της ποιότητας ανάφλεξης και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως απόλυτα αξιόπιστη μέθοδος για το χαρακτηρισμό ενός ναυτιλιακού καυσίμου.

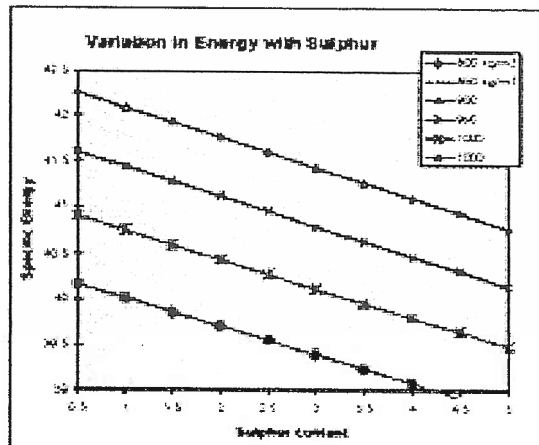
6-14 Θερμογόνος Δύναμη

Το θερμικό περιεχόμενο είναι μια βασική ιδιότητα ενός καυσίμου. Είναι μια μέτρηση της ενέργειας που ελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Ο όρος που χρησιμοποιείται είναι *θερμογόνος δύναμη (specific energy)* και προσδιορίζεται με χρήση ειδικού θερμιδόμετρου σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-240. Εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μάζα ή όγκου καυσίμου (MJ/kg , kcal/kg BTU/lb). Η *θερμογόνος δύναμη* αναφέρεται ως *ανώτερη* και ως *κατώτερη*, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση. Στην πράξη λαμβάνεται συνήθως η κατώτερη. Η διαφορά τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο το οποίο παράγει ένα ποσοστό νερού που δεν αποδίδει θερμότητα. Το νερό αυτό για να μετατραπεί σε υδρατμό απορροφά ένα ποσό θερμότητας που υπολογίζεται σε 600 kcal/kg .

Στα καύσιμα ναυτιλίας η *θερμογόνος δύναμη* επηρεάζεται εκτός από την περιεκτικότητα σε άνθρακα και υδρογόνο και από την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, νερό και τέφρα.

Για τον προσδιορισμό της *θερμογόνου δύναμης*, όταν δεν είναι δυνατός ο πειραματικός προσδιορισμός της, χρησιμοποιούνται διαγράμματα και

εμπειρικές σχέσεις (βλ. Σχ.6-15).



Σχ. 6-15 Διάγραμμα για Υπολογισμό της Θερμογόνου Δύναμης (MJ/kg) από την Πυκνότητα (975-990 kg/m³) και την Περιεκτικότητα σε Θείο (2-4%β/β)

Για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης στις ντηζελομηχανές, Q_N (MJ/kg), και στους λέβητες, Q_G (MJ/kg), ισχύουν οι παρακάτω εμπειρικές σχέσεις:

$$Q_N = (46,704 - 8,802d^2 \cdot 10^4 + 3.167d^4)[1 - 0,01(x+y+s)] + 0,01(9,420s - 2,449x)$$

$$Q_G = (52,190 - 8,802d^2 \cdot 10^4)[1 - 0,01(x+y+s)] + 9,420(0,01s)$$

όπου, d η πυκνότητα στους 15°C (kg/m³), x η περιεκτικότητα σε νερό (% β/β), y η περιεκτικότητα σε τέφρα (% β/β) και s η περιεκτικότητα σε θείο (% β/β).

6-15 Αδιάλυτα Υπολείμματα

Το αδιάλυτα υπολείμματα (*sediment*) που εμφανίζονται στα καύσιμα ναυτιλίας είναι κυρίως ανόργανης προέλευσης και δημιουργούνται μετά από την επεξεργασία που υφίσταται το πετρέλαιο στα διυλιστήρια. Τα υπολείμματα αυτά είναι συνήθως άμμος και άλλα σώματα τα οποία δεν προέρχονται από το καύσιμο π.χ. σκουριά, σωματίδια μετάλλων, ακαθαρσίες. Επίσης μπορεί να εμφανιστούν και οργανικά υπολείμματα από τη συσσωμάτωση των ολεφινών της πυρόλυσης ή από βακτηριακή δράση.

Τα αδιάλυτα υπολείμματα προκαλούν λάσπη και συμβάλουν στη φραγή των φίλτρων των δικτύων διανομής και μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα εξαιτίας διάβρωσης και φθοράς του συστήματος ψεκασμού.

Τα αδιάλυτα υπολείμματα απομακρύνονται στις δεξαμενές κατακάθισης και αποθήκευσης, στα φίλτρα και στον φυγοκεντρικό καθαρισμό.

Κεφάλαιο Έβδομο

Καύση

7-1 Εισαγωγή

Σκοπός της καύσης είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο σε θερμική ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντίδραση των στοιχείων του καυσίμου με οξυγόνο οπότε εκλύεται θερμότητα, που ονομάζεται θερμότητα καύσης και προέρχεται από τη διαφορά της χημικής ενέργειας που εμπεριέχεται στο καύσιμο και αυτής που εμπεριέχεται στα προϊόντα καύσης.

Η καύση είναι αυθόρμητη διεργασία κατά την οποία ένα μέρος της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ενέργεια και η θερμική ενέργεια που παραλαμβάνουμε κατά την καύση είναι οπωσδήποτε ενεργειακά υποβιβασμένη σε σχέση με τη χημική ενέργεια που περιέχει το καύσιμο. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία στην οποία παραλαμβάνεται η θερμότητα τόσο καλύτερη ποιοτικά είναι η παραλαμβανόμενη θερμική ενέργεια δηλαδή τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει.

Για την μεγιστοποίηση λοιπόν του ενεργειακού βαθμού απόδοσης της καύσης δηλαδή της μετατροπής της χημικής ενέργειας των καυσίμων σε θερμική ενέργεια, όλες οι προσπάθειες πρέπει να αποβλέπουν στην απόληψη όσο το δυνατόν περισσότερης θερμότητας σε όσο το δυνατό σε μεγαλύτερη θερμοκρασία.

7-2 Εξισώσεις Καύσης

Με τον όρο καύση εννοούμε την χημική αντίδραση κατά την διάρκεια της οποίας ένα καύσιμο οξειδώνεται και αποδεσμεύεται μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Το οξειδωτικό μέσο που χρησιμοποιείται στις διεργασίες καύσης είναι ο αέρας, για προφανείς λόγους (δεν κοστίζει τίποτα και είναι άμεσα διαθέσιμος).

Ο αέρας είναι μίγμα αζώτου, οξυγόνου, αργού και μικρών ποσών άλλων αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα, νέου, ηλίου και υδρογόνου. Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει και κάποια ποσότητα υδρατμού ή υγρασίας, η οποία εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και το χρόνο. Ο αέρας που δεν περιέχει υδρατμό ονομάζεται ξηρός αέρας.

Στην ανάλυση των διεργασιών καύσης επειδή τα άλλα αέρια που υπάρχουν σε ίχνη στον αέρα αγνοούνται, ο ξηρός αέρας μπορεί να θεωρηθεί ως δυαδικό μίγμα που αποτελείται από 79% άζωτο και 21% οξυγόνο (κατά όγκο σύσταση). Η αντίστοιχη κατά βάρος σύσταση είναι 77% N₂ και 23% O₂.

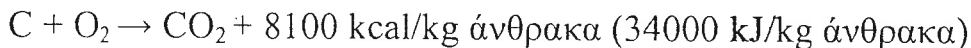
Στις συνήθεις θερμοκρασίες καύσης, το άζωτο συμπεριφέρεται ως αδρανές αέριο και δεν αντιδρά με άλλα χημικά στοιχεία. Αλλά ακόμη και τότε, η

παρουσία του αζώτου επηρεάζει σημαντικά το ενεργειακό αποτέλεσμα μίας διεργασίας καύσης, επειδή το άζωτο συνήθως εισέρχεται στο θάλαμο καύσης σε μεγάλες ποσότητες σε χαμηλές θερμοκρασίες και εξέρχεται σε σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες, απορροφώντας μεγάλο κλάσμα της χημικής ενέργειας που αποδεσμεύεται από το καύσιμο κατά τη διάρκεια της καύσης. Στην ανάλυση που ακολουθεί, το άζωτο θεωρείται ότι παραμένει τελείως αδρανές. Όμως, πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όπως εκείνες που συναντώνται σε μηχανές εσωτερικής καύσης, ένα μικρό κλάσμα του αζώτου αντιδρά με οξυγόνο, σχηματίζοντας επικίνδυνα αέρια όπως το οξειδίο του αζώτου.

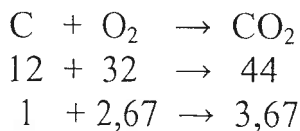
Ο αέρας που εισέρχεται σε ένα θάλαμο καύσης κανονικά περιέχει κάποια ποσότητα υγρασίας. Για τις περισσότερες διεργασίες καύσης, η υγρασία στον αέρα μπορεί να θεωρηθεί ως αδρανές αέριο, όπως το άζωτο. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όμως, κάποια ποσότητα υδρατμού διασπάται σε H_2 και O_2 όπως επίσης, σε H , O και OH^- .

Κάθε καύσιμο περιέχει βασικά τρία καύσιμα στοιχεία, τον άνθρακα (C), το υδρογόνο (H) και το θείο (S), και η καύση συνίσταται στη χημική ένωση του οξυγόνου με τα καύσιμα αυτά στοιχεία. Οι βασικές χημικές εξισώσεις της καύσης είναι:

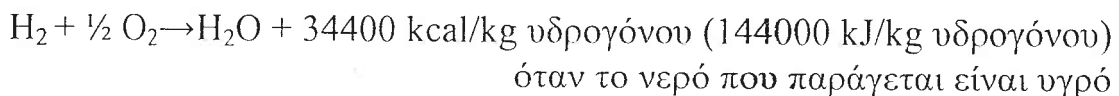
– *Καύση άνθρακα*



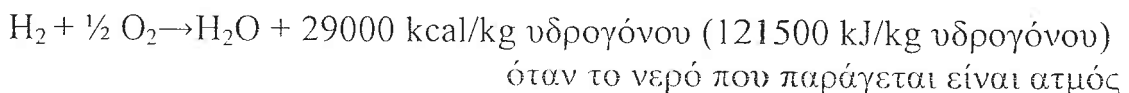
Η παραπάνω εξίσωση παριστάνει την τέλεια καύση του C σε CO_2 κατά την οποία αποδίδονται 8100 kcal/kg άνθρακα (σε ΚΣ). Αν σε αυτή τοποθετηθούν οι ατομικές μάζες των στοιχείων $C=12$ και $O=16$ προκύπτει ότι, για να καεί τελείως 1 kg άνθρακα χρειάζεται 2,67 kg οξυγόνο και από την καύση αυτή παράγονται 3,67 kg CO_2 .



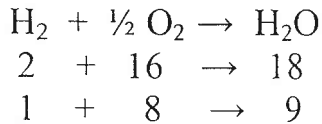
– *Καύση υδρογόνου*



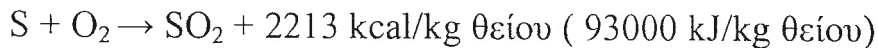
ή



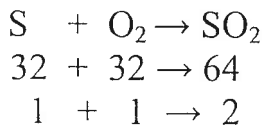
Η παραπάνω εξίσωση παριστάνει την καύση του υδρογόνου κατά την οποία αποδίδονται 34400 kcal/kg άνθρακα (σε ΚΣ), όταν το νερό που παράγεται είναι υγρό, ή 29000 kcal/kg υδρογόνου (σε ΚΣ), όταν το νερό που παράγεται είναι ατμός. Αν σε αυτή τοποθετηθούν οι ατομικές μάζες των στοιχείων $H=1$ και $O=16$ προκύπτει ότι, για να καεί 1 kg υδρογόνου χρειάζεται 8 kg οξυγόνο και από την καύση αυτή παράγονται 9 kg νερό.



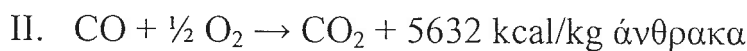
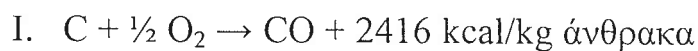
– Καύση θείου



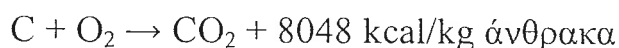
Η παραπάνω εξίσωση παριστάνει την καύση του θείου κατά την οποία αποδίδονται 2213 kcal/kg άνθρακα (σε ΚΣ). Αν σε αυτή τοποθετηθούν οι ατομικές μάζες των στοιχείων $S=32$ και $O=16$ προκύπτει ότι για να καεί 1 kg θείο χρειάζεται 1 kg οξυγόνο και από την καύση αυτή παράγονται 2 kg SO_2 .



Ο μηχανισμός της καύσης είναι πολύπλοκος και υπάρχουν διάφορες θεωρίες σχετικά με τις ενδιάμεσες αντιδράσεις που γίνονται. Η θερμότητα που εκλύεται όμως εξαρτάται μόνο από τα τελικά προϊόντα και είναι ανεξάρτητη από τις ενδιάμεσες αντιδράσεις. Ένα απλό παράδειγμα είναι η καύση του άνθρακα προς CO και στη συνέχεια του CO σε CO_2 .



ή αθροιστικά,



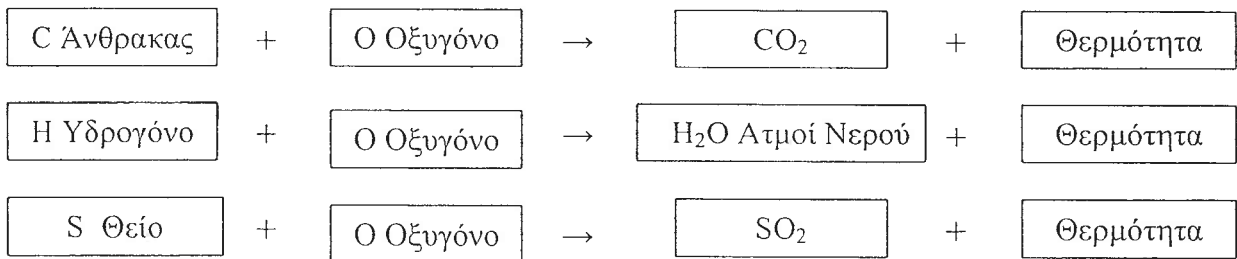
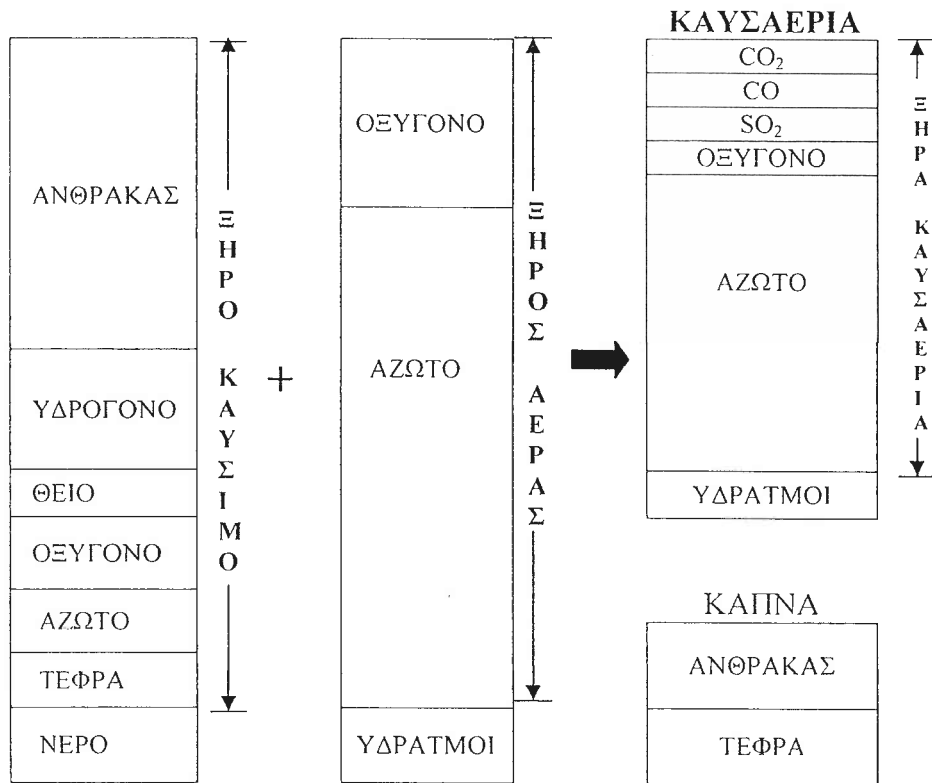
Δηλαδή, είτε θεωρήσουμε η καύση του άνθρακα γίνεται με τα δύο επί μέρους βήματα I και II, είτε απευθείας προς CO_2 η θερμότητα που εκλύεται συνολικά είναι η ίδια.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε τη μεγάλη σημασία που έχει η καύση του καυσίμου να ολοκληρωθεί μέσα στην εστία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1

Σχηματική Απεικόνιση της Καύσης

ΚΑΥΣΙΜΟ + ΑΕΡΑΣ ➔ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΥΣΗΣ + ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ



7-3 Περίσσεια Αέρα - Συντελεστής Περίσσειας

Όταν μια καύσιμη ουσία καίγεται πλήρως με τόσο μόνο οξυγόνο όσο θεωρητικά χρειάζεται για τις χημικές αντιδράσεις, τότε έχουμε μια Πλήρη Στοιχειομετρική Καύση. Πλήρη επειδή δεν παραμένουν άκαυστα όπως άνθρακας, υδρογονάνθρακες ή μονοξείδιο του άνθρακα και στοιχειομετρική επειδή δεν υπάρχει καθόλου περίσσεια οξυγόνου. Το καύσιμο στην περίπτωση αυτή έχει αποδώσει το μέγιστο της θερμικής ενέργειας που θα μπορούσε να αποδώσει.

Εάν στα προϊόντα της καύσης υπάρχουν άκαυστα όπως άνθρακας, μονοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες, τότε έχουμε μια Ατελή Καύση. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή το καύσιμο αποδίδει ένα μέρος μόνο της θερμαντικής του ικανότητας.

Τέλος, εάν στην καύση παρέχεται περισσότερο οξυγόνο από όσο στοιχειομετρικά απαιτείται για την πλήρη καύση, τότε έχουμε *περίσσεια οξυγόνου*.

Σε βιομηχανικές εστίες, όσο καλή και αν είναι η ανάμιξη αέρα-καυσίμου, δεν είναι δυνατό να έχουμε πλήρη καύση με το στοιχειομετρικό μόνο οξυγόνο. Για πλήρη καύση θα πρέπει να υπάρχει *περίσσεια αέρα*. Αν ο αέρας που παρέχεται είναι στην πραγματικότητα είναι, W , ενώ ο στοιχειομετρικά απαιτούμενος αέρας είναι, W_0 , τότε η επί τοις εκατό περίσσεια αέρα είναι:

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = \frac{W - W_0}{W_0} 100$$

Η περίσσεια αέρα εκφράζεται και ως συντελεστής περίσσειας, λ :

$$\lambda = \frac{W}{W_0}$$

Η σχέση μεταξύ επί τοις εκατό περίσσειας και συντελεστή περίσσειας αέρα είναι:

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = 100 (\lambda - 1)$$

Περίσσεια αέρα 25% π.χ. σημαίνει ότι στην καύση τροφοδοτείται 25% περισσότερος αέρας από ότι θεωρητικά απαιτείται για πλήρη καύση. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής περίσσειας είναι $\lambda=1,25$.

Η περίσσεια αέρα που απαιτείται για να εξασφαλιστεί η τέλεια καύση κυμαίνεται από 10% μέχρι 100%. Ανάλογα με το είδος του καυσίμου σε γενικές γραμμές καθορίζεται για στερεά καύσιμα μέχρι 10%, για υγρά καύσιμα 10-20% και για αέρια καύσιμα 5-10%.

7-4 Θερμοκρασία Φλόγας

Η θερμική απόδοση της καύσης μπορεί να εκφραστεί με τον τύπο:

$$\text{Θερμική Απόδοση Καύσης} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

όπου, T_1 η απόλυτη θερμοκρασία των καυσαερίων και T_2 η απόλυτη θερμοκρασία της φλόγας.

Η θερμότητα που παραλαμβάνεται από την καύση είναι ανάλογη της διαφοράς $T_2 - T_1$. Είναι προφανές ότι για δεδομένη θερμοκρασία καυσαερίων, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της φλόγας τόσο περισσότερη είναι η θερμότητα που παραλαμβάνεται, αλλά συγχρόνως τόσο περισσότερη ενέργεια περιέχει.

Η μέγιστη θερμοκρασία φλόγας θα μπορούσε θεωρητικά να επιτευχθεί με τέλεια στοιχειομετρική καύση με καθαρό οξυγόνο. Η καύση με αέρα δίνει θερμοκρασία φλόγας οπωσδήποτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική, ενώ όσο αυξάνεται η περίσσεια του αέρα τόσο ελαττώνεται η θερμοκρασία φλόγας. Εκτός από τη βελτιστοποίηση της περιόδου του αέρα καύσης η θερμοκρασία της φλόγας μπορεί να αυξηθεί και από την προθέρμανση του.

7-5 Αναλογία Αέρα προς Καύσιμο (AFR)

Η αναλογία αέρα προς καύσιμο (AFR, Air-Fuel Ratio) εκφράζει την ποσότητα του αέρα που απαιτείται για την καύση της μονάδας βάρους του καυσίμου και, φυσικά, εξαρτάται από τη σύνθεση του καυσίμου και τις συνθήκες καύσης. Διακρίνουμε:

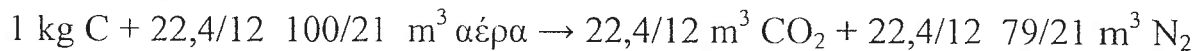
- Την θεωρητική τιμή AFR, που εξαρτάται από τη σύνθεση του καυσίμου
- Την πραγματική AFR, που εξαρτάται από την περίσσεια αέρα, που χρησιμοποιείται για την καύση

7-6 Υπολογισμός της AFR

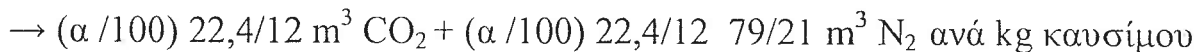
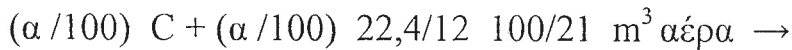
Η ολική κατά όγκο στοιχειομετρική ποσότητα του αέρα (θεωρ. AFR) που απαιτείται για την καύση εξαρτάται από τη χημική σύσταση του καυσίμου και υπολογίζεται από τις εξισώσεις καύσης αφού λάβουμε υπόψη ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας, που παρέχει το οξυγόνο για την καύση, αποτελείται από 21% οξυγόνο και 79% άζωτο (% κατά όγκο σύσταση).

Από τις χημικές εξισώσεις έχουμε:

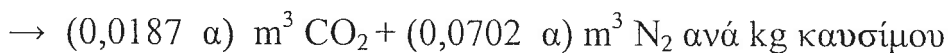
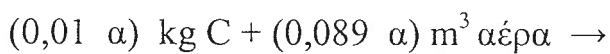
– Για τον άνθρακα:



Εάν το καύσιμο περιέχει α% C, έχουμε αντίστοιχα:

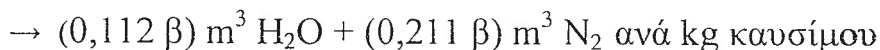
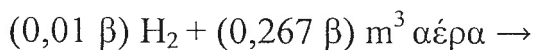


ή



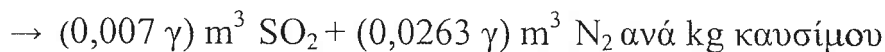
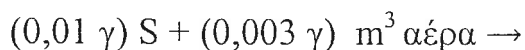
– Για το υδρογόνο:

Εάν το καύσιμο περιέχει β% υδρογόνο, έχουμε αντίστοιχα:

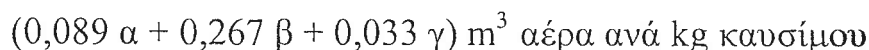


– Για το θείο:

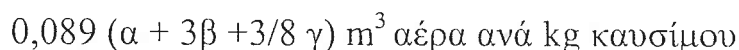
Εάν το καύσιμο περιέχει γ% θείο, έχουμε αντίστοιχα:



Οπότε, σύμφωνα με τα παραπάνω η ολική κατά όγκο στοιχειομετρική ποσότητα του αέρα που απαιτείται για την καύση προκύπτει ότι είναι:



ή



Η ολική κατά βάρος στοιχειομετρική ποσότητα του αέρα που απαιτείται για την καύση, αφού λάβουμε υπόψη ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας που παρέχει το

οξυγόνο για την καύση αποτελείται κατά βάρος από 23% οξυγόνο και 77% άζωτο, με αντίστοιχους υπολογισμούς προκύπτει ότι είναι:

$$(0,116 \alpha + 0,348 \beta + 0,0435 \gamma) \text{ kg αέρα ανά kg καυσίμου}$$

Η πραγματική ποσότητα του αέρα (πραγ. AFR) βρίσκεται αν οι παραπάνω τιμές, δηλ. οι τιμές του (θεωρ. AFR) πολλαπλασιαστούν κάθε φορά επί το συντελεστή περίσσειας, λ.

7-7 Έλεγχος της Καύσης με Ανάλυση των Καυσαερίων

Από την ανάλυση των καυσαερίων προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα της καύσης. Συγκεκριμένα όταν η ανάλυση καυσαερίων δείξει ότι τα καυσαέρια περιέχουν:

- Μονοξείδιο του άνθρακα ή άλλα άκαυστα χωρίς οξυγόνο σημαίνει ότι γίνεται ατελής καύση εξαιτίας μικρής παροχής αέρα στο θάλαμο καύσης
- Μονοξείδιο του άνθρακα και άλλα άκαυστα και συγχρόνως οξυγόνο, σημαίνει ότι αυτό μπορεί να οφείλεται σε:
 - α. Μικρή παροχή αέρα στο θάλαμο καύσης, ενώ συγχρόνως εισρέει δευτερογενής αέρας από διαρροές (όταν ο θάλαμος καύσης λειτουργεί σε μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση)
 - β. Κανονική παροχή αέρα αλλά με κακό διασκορπισμό καυσίμου και κακή ανάμιξη αέρα-καυσίμου
- Μικρή σχετικά περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα με αυξημένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο, σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη περίσσεια αέρα

Η ανάλυση των καυσαερίων γίνεται με τη συσκευή ORSAT με την οποία προσδιορίζονται το CO_2 , CO , O_2 και από τη διαφορά το N_2 . Τα αποτελέσματα π.χ. προσδιορισθέν CO_2 , προσδιορισθέν O_2 , εκφράζονται ως επί τοις εκατό κατά όγκο στα ξηρά καυσαέρια. Όταν δικαιολογείται οικονομικά, σε μεγαλύτερα συστήματα, τοποθετούνται αναλυτές οξυγόνου που δίνουν με απευθείας μέτρηση μια συνεχή ένδειξη της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε οξυγόνο.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την συσκευή ORSAT ως προσδιορισθέν διοξείδιο του άνθρακα (πρ. CO_2) είναι το άθροισμα των ποσοστών του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου:

$$(\text{πρ. } \text{CO}_2) = \text{CO}_2 + \text{SO}_2 \% \text{ στα ξηρά καυσαέρια}$$

Το μέγιστο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια, για ένα δεδομένο καύσιμο, επιτυγχάνεται όταν η καύση γίνεται με το στοιχειομετρικό αέρα. Όταν ο προσδιορισμός του διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια γίνει με τη συσκευή ORSAT ως μέγιστο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα (max. CO₂) ορίζεται το μέγιστο άθροισμα των ποσοστών διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου, δηλαδή:

$$(\text{max. CO}_2) = \text{CO}_2 + \text{SO}_2 \text{ \% στα ξηρά καυσαέρια}$$

Το (max. CO₂) εξαρτάται μόνο από τη σύσταση του καυσίμου και ως ποσοστό κατά όγκο επί των ξηρών καυσαερίων μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$(\text{max. CO}_2) = \frac{21C + 7,875S}{C + 2,37H + 0,375S}$$

όπου, C, S, H το κλάσμα βάρους του άνθρακα, του θείου και του υδρογόνου στο καύσιμο (% κατά βάρος / 100).

Το (max. CO₂), το (πρ. CO₂) και το (πρ. O₂) ως ποσοστά επί τοις εκατό κατά όγκο επί των ξηρών καυσαερίων συνδέονται με την παρακάτω σχέση, που ισχύει για πλήρη καύση ανεξάρτητα από την περίσσεια του αέρα:

$$(\text{max. CO}_2) = \frac{(\text{πρ. CO}_2)}{1 - \frac{(\text{πρ. O}_2)}{21}}$$

Εάν λοιπόν είναι άγνωστη η σύσταση του καυσίμου τότε μπορούμε να υπολογίσουμε το (max. CO₂) από την παραπάνω σχέση προσδιορίζοντας το (πρ. CO₂) και το (πρ. O₂) ως ποσοστά επί των ξηρών καυσαερίων με τη συσκευή ORSAT. Βεβαίως η ανάλυση αυτή πρέπει να δείξει μηδέν CO διαφορετικά η καύση δεν είναι πλήρης.

Από την παραπάνω σχέση είναι προφανές ότι για ένα δεδομένο καύσιμο και για πλήρη καύση οι τιμές του (πρ. CO₂) και (πρ. O₂) έχουν μεταξύ τους μια σταθερή σχέση ανεξάρτητα από την περίσσεια του αέρα. Αυτό φαίνεται και στο Σχ.7-1 που δίνει τη σχέση του (πρ. CO₂) και του (πρ. O₂) μεταξύ τους και καθενός με την περίσσεια του αέρα στα μαζούτ Ελληνικών προδιαγραφών.

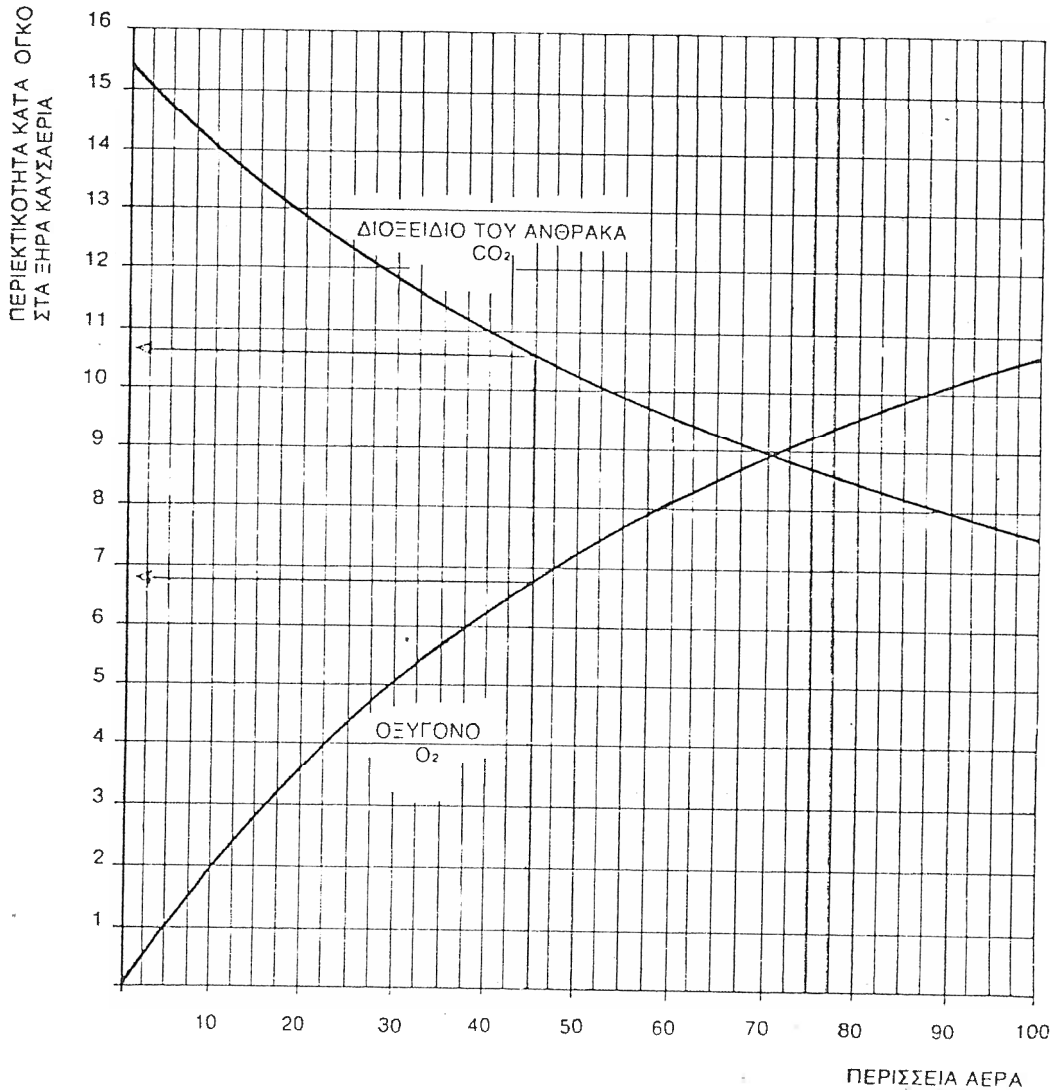
7-8 Προσδιορισμός της Περίσσειας του Αέρα από το CO₂

Για καύση με αέρα λιγότερο από το στοιχειομετρικό το (πρ. CO₂) είναι λιγότερο από το (max. CO₂), επειδή η καύση δεν είναι πλήρης και κατά

συνέπεια στα καυσάερα υπάρχουν άκαυστα. Για καύση με περίσσεια αέρα το (πρ. CO_2) είναι λιγότερο από το (max. CO_2) επειδή τα καυσάερα αραιώνονται με την περίσσεια του αέρα. Όταν γνωρίζουμε το (πρ. CO_2) και το (max. CO_2) ο ακριβής προσδιορισμός του συντελεστή περίσσειας αέρα γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$\lambda = \frac{(\text{max. } CO_2)}{(\text{πρ. } CO_2)} \left[\frac{1 + \frac{3H}{100C + 37,5S} (\text{πρ. } CO_2)}{1 + \frac{3H}{100C + 37,5S} (\text{max. } CO_2)} \right]$$

όπου, C, S, H το κλάσμα βάρους του άνθρακα, του θείου και του υδρογόνου στο καύσιμο (% κατά βάρους / 100).



Σχ. 7-1 Σχέση Διοξειδίου του Άνθρακα, Οξυγόνου και Περίσσειας Αέρα για Μαζούτ 3500

Για γρήγορους υπολογισμούς ή όταν η σύσταση του καυσίμου δεν είναι γνωστή, οι συντελεστές που περιέχονται στις αγκύλες μπορούν να παραληφθούν, οπότε:

$$\lambda = \frac{(\max.CO_2)}{(\pi\rho.CO_2)}$$

ή

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = \left[\frac{(\max.CO_2)}{(\pi\rho.CO_2)} - 1 \right] 100$$

Επίσης ένας ακριβέστερος τύπος για τον προσδιορισμό της περίσσειας του αέρα, όταν είναι γνωστό μόνο το διοξείδιο του άνθρακα των ξηρών καυσαερίων δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = \frac{7900(\max.CO_2 - \pi\rho.CO_2)}{\pi\rho.CO_2(100 - \max.CO_2)}$$

7-9 Προσδιορισμός της Περίσσειας του Αέρα από το O₂

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις το οξυγόνο προσδιορίζεται απευθείας στα καυσαέρια με αναλυτές οξυγόνου που στηρίζονται στις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του αερίου αυτού. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερη ρύθμιση της καύσης μετρώντας ένα στοιχείο που υπάρχει στα καυσαέρια σε σχετικά μικρές αναλογίες και συνδέεται απευθείας με την περίσσεια του αέρα καύσης. Το οξυγόνο που προσδιορίζεται με αυτό τον τρόπο αναφέρεται στο *σύνολο των καυσαερίων* συμπεριλαμβανομένων και των υδρατμών. Στην περίπτωση αυτή η περίσσεια του αέρα καύσης για *υγρά καύσιμα* δίδεται από τον τύπο:

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = \frac{105(\pi\rho.O_2)'}{21 - (\pi\rho.O_2)'}$$

όπου, το $(\pi\rho.O_2)'$ αναφέρεται στο σύνολο των καυσαερίων.

Όταν η περιεκτικότητα του οξυγόνου αναφέρεται στα ξηρά καυσαέρια (όπως όταν η ανάλυση γίνεται με τη συσκευή ORSAT) η περίσσεια του αέρα καύσης δίνεται από την σχέση:

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = \frac{(\pi\rho.O_2)}{0,266(\pi\rho.N_2) - (\pi\rho.O_2)} 100$$

7-10 Προσδιορισμός της Περίσσειας του Αέρα σε Ατελή Καύση

Όταν τα προϊόντα της καύσης περιέχουν άκαυστα αέρια, όπως CO και σπανιότερα H₂, η περίσσεια του αέρα μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\text{Περίσσεια αέρα, \%} = \frac{(\text{πρ.}O_2) - 0,5(\text{πρ.}CO_2 + \text{πρ.}H_2)}{0,266(\text{πρ.}N_2) - (\text{πρ.}O_2) + 0,5(\text{πρ.}CO + \text{πρ.}H_2)} 100$$

7-11 Απώλειες Ενέργειας σε Σύστημα Καύσης

Οι σπουδαιότερες απώλειες ενέργειας σένα σύστημα καύσης οφείλονται σε απώλειες με τα καυσαέρια και σε απώλειες μεταφοράς θερμότητας από τα εξωτερικά τοιχώματα. Οι απώλειες με τα καυσαέρια μπορούν να ταξινομηθούν στη θερμότητα που απαγάγουν τα ξηρά καυσαέρια, στη θερμότητα που απαγάγουν οι υδρατμοί (λανθάνουσα) και στις απώλειες που οφείλονται σε ατελή καύση (όπως όταν υπάρχει CO ή άκαυστος άνθρακας στα καυσαέρια). Οι υδρατμοί που υπάρχουν στα καυσαέρια προέρχονται από το υδρογόνο του καυσίμου, από την υγρασία του καυσίμου και από την υγρασία του αέρα καύσης.

Από τις απώλειες με τα καυσαέρια, ορισμένες μπορούν να μειωθούν σχετικά εύκολα, όπως π.χ. οι απώλειες που οφείλονται στη θερμότητα που απαγάγει η περίσσεια του αέρα καύσης (ελαχιστοποιούνται με τη σωστή ρύθμιση του αέρα). Άλλες απώλειες είναι αναπόφευκτες και είναι αδύνατο να μειωθούν όπως π.χ. η θερμότητα που απαγάγει το νερό που προέρχεται από το υδρογόνο του καυσίμου. Άλλες απώλειες τέλος, θα μπορούσαν να μειωθούν αλλά αυτό είναι οικονομικά και ενεργειακά ασύμφορο, όπως π.χ. η θερμότητα που απάγεται με το νερό που προέρχεται από την υγρασία του καυσίμου, ή την υγρασία του αέρα καύσης, δεδομένου ότι η απομάκρυνση της υγρασίας αυτής είναι πιθανό να στοιχίζει περισσότερο από την τελική οικονομία που θα επιτευχθεί.

Οι θερμικές απώλειες από τα τοιχώματα οφείλονται σε θερμική ακτινοβολία και μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον. Και οι δύο αυτές απώλειες μπορούν να μειωθούν σχετικά εύκολα με την τοποθέτηση της κατάλληλης μόνωσης.

Γενικά, οι απώλειες που μπορούν να περιοριστούν προέρχονται από κακό σχεδιασμό ή κακές ενέργειες και παραλείψεις κατά τη λειτουργία του συστήματος παραγωγής θερμότητας. Οι κυριότερες από τις αιτίες που προκαλούν τις απώλειες αυτές είναι:

- Κακή περίσσεια αέρα καύσης
- Έλλειψη προθέρμανσης του αέρα
- Εισροές αέρα

- Αποθέσεις στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας
- Κακή ρύθμιση του καυστήρα
- Κακή προθέρμανση του καυσίμου
- Ανεπαρκής, φθαρμένη ή κακοτοποθετημένη μόνωση
- Υπερβολικό ή πολύ μικρό φορτίο

Από τα παραπάνω αίτια:

Την εισροή του αέρα την προκαλεί η υποπίεση στο θάλαμο καύσης εξαιτίας ελκυσμού που δημιουργεί η καμινάδα. Είναι λοιπόν δυνατόν να εισρέει αέρας μετά το μέτωπο καύσης, που απάγει σημαντικά ποσά θερμότητας προς το περιβάλλον μειώνοντας το βαθμό απόδοσης ενώ δεν προσφέρει τίποτα στην καύση. Την εισροή αέρα μπορούμε να την διαπιστώσουμε με ανάλυση των καυσαερίων.

Οι αποθέσεις που παρατηρούνται σε κλιβάνους θέρμανσης στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας είτε από την πλευρά της καύσης, είτε από την πλευρά του ρευστού αυξάνουν την αντίσταση στη διέλευση θερμότητας από το χώρο καύσης προς το ρευστό που θερμαίνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων και των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον, με αντίστοιχη μείωση του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης.

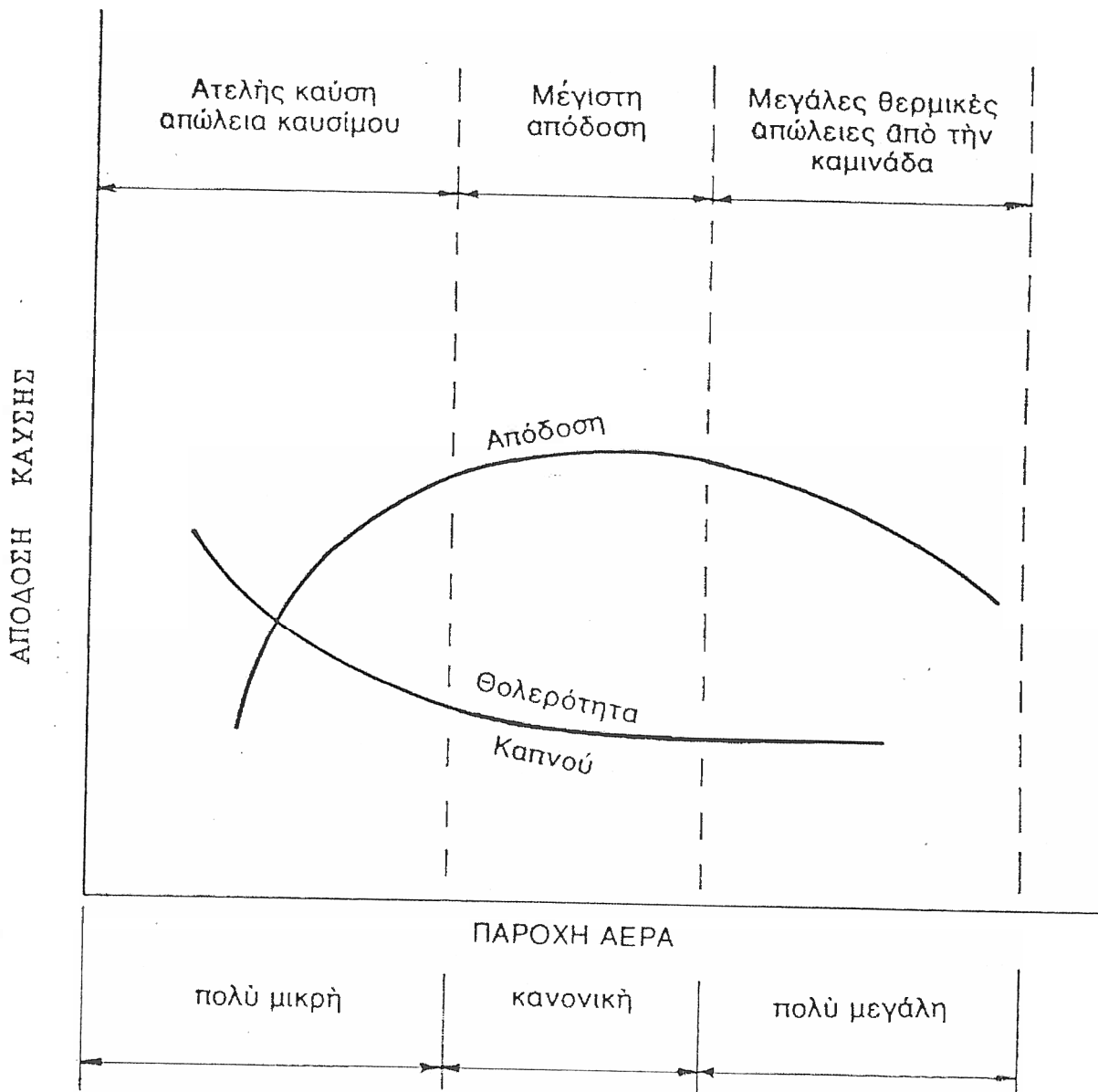
Η προθέρμανση του καυσίμου και η ρύθμιση του καυστήρα παίζουν σημαντικό ρόλο στη σωστή καύση και επομένως και στο βαθμό απόδοσης. Όσο και αν προσπαθήσουμε να ρυθμίσουμε την περίσσεια του αέρα για να μετριάσουμε τις απώλειες από την καμινάδα το αποτέλεσμα δεν θα είναι ικανοποιητικό αν το καύσιμο δεν φθάνει στον καυστήρα στη σωστή θερμοκρασία και αν ο καυστήρας δεν είναι ρυθμισμένος έτσι που να επιτυγχάνεται όσο γίνεται καλύτερη ανάμιξη αέρα-καυσίμου. Όσο καλύτερη ανάμιξη αέρα-καυσίμου επιτυγχάνουμε τόσο μικρότερη περίσσεια αέρα απαιτείται για καλή καύση. Αν η προθέρμανση του καυσίμου είναι χαμηλότερη από την κανονική, η ποσότητα του καυσίμου που περνά από τα ανοίγματα των ακροφυσίων είναι μικρότερη από ότι θα έπρεπε για τη σωστή αναλογία αέρα καυσίμου, ενώ συγχρόνως το καύσιμο είναι περισσότερο παχύρευστο, με αποτέλεσμα να γίνεται κακός διασκορπισμός. Αν πάλι η προθέρμανση είναι πολύ μεγάλη το καύσιμο είναι υπερβολικά λεπτόρευστο και η ποσότητα του είναι αντικανονικά μεγάλη.

7-12 Αριστοποίηση της Περίσσειας του Αέρα

Η σημαντικότερη αιτία απωλειών θερμότητας στην καύση είναι η λειτουργία με κακή αναλογία αέρα-καυσίμου.

Σε μια εγκατάσταση όσο καλός και αν είναι ο διασκορπισμός του καυσίμου, δεν είναι δυνατό να πετύχουμε τέλεια καύση με τον αέρα που απαιτείται

στοιχειομετρικά μόνο, αλλά χρειάζεται πάντα κάποια περίσσεια αέρα. Όσο μεγαλώνει όμως η παροχή του αέρα τόσο αυξάνεται και η θερμότητα που απάγεται προς το περιβάλλον με τα καυσαέρια. Η επίδραση της παροχής του αέρα καύσης στο βαθμό απόδοσης μιας εγκατάστασης παραγωγής θερμότητας από καύση φαίνεται στο Σχ.7-2. Σε μικρές παροχές αέρα έχουμε ατελή καύση και απώλεια άκαυστων με τα καυσαέρια, ενώ σε μεγάλες παροχές αέρα, έχουμε απώλειες θερμότητας με τα καυσαέρια. Η τάση σε

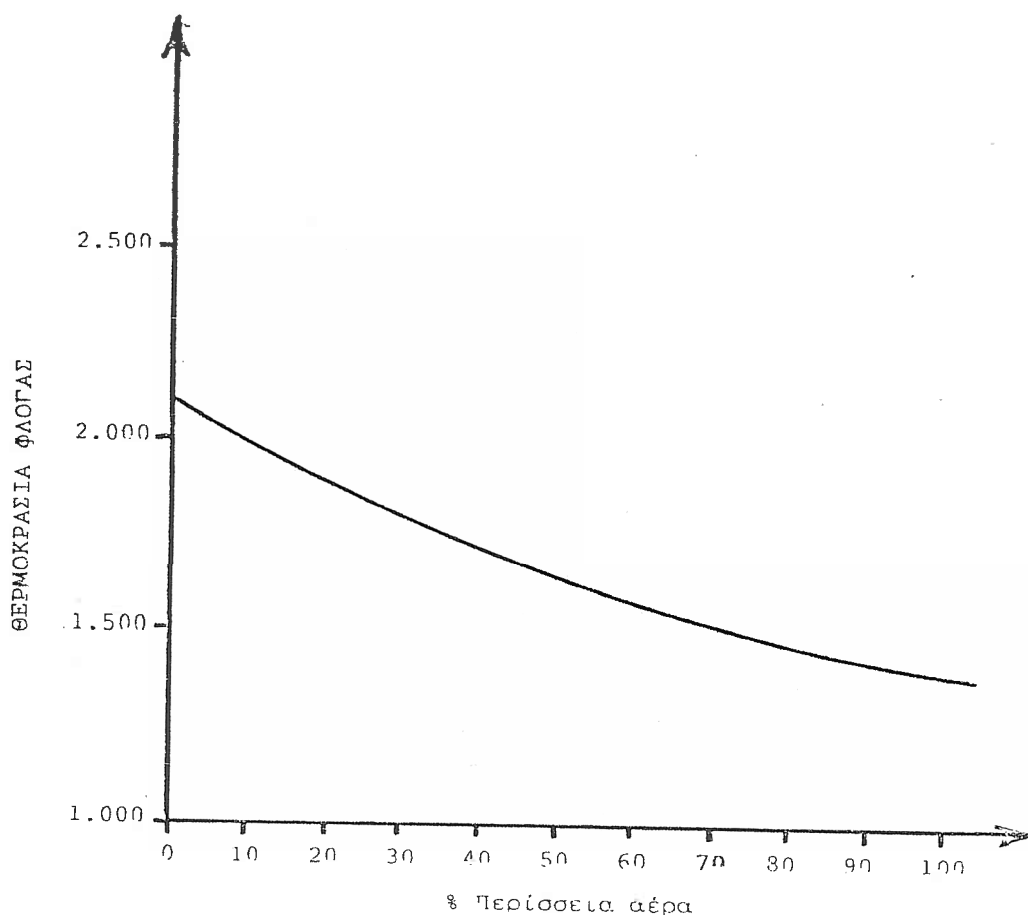


Σχ. 7-2 Επίδραση της Παροχής του Αέρα στην Απόδοση Καύσης

συνήθεις εγκαταστάσεις είναι η λειτουργία με μεγαλύτερη περίσσεια αέρα από ότι πραγματικά χρειάζεται, και αυτό βασικά επειδή, η μικρή περίσσεια αφενός μεν προκαλεί λειτουργικές δυσκολίες και αφετέρου είναι εύκολα αντιληπτή εξαιτίας του καπνού που παράγεται. Οπωσδήποτε η μικρή περίσσεια αέρα έχει πολύ δυσμενέστερη επίδραση στο βαθμό απόδοσης από ότι η μεγάλη περίσσεια, επειδή η ατελής καύση περιορίζει την έκλυση χημικής ενέργειας του καυσίμου. Αν λάβουμε υπόψη τη διαφορά της θερμότητας που εκλύεται από την καύση ενός χιλιόγραμμου άνθρακα προς μονοξείδιο του άνθρακα αντί προς διοξείδιο, υπολογίζεται ότι για κάθε 1% CO στα καυσαέρια έχουμε περίπου 4% απώλειες καυσίμου.

Σε συστήματα καύσης με σταθερή παροχή αέρα, η περίσσεια του αέρα και η απόδοση της καύσης επηρεάζονται και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης ή αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, μειώνουν την πυκνότητα του αέρα άρα και το παρεχόμενο στην καύση βάρος οξυγόνου (για σταθερό όγκο παροχής αέρα). Σε μειωμένη παροχή οξυγόνου οδηγεί επίσης η αύξηση της υγρασίας του αέρα.

Μια άλλη δυσμενής επίδραση της μεγάλης περισσειας του αέρα καύσης είναι η μείωση της θερμοκρασίας της φλόγας. Το Σχ.7-3 δείχνει την επίδραση της περισσειας του αέρα στη θερμοκρασία της φλόγας για καύσιμο μαζούτ.



Σχ. 7-3 % Περίσσεια Αέρα

Όπως έχει προαναφερθεί η επίδραση της θερμοκρασίας της φλόγας στο βαθμό απόδοσης είναι σημαντική, επειδή στο χώρο της καύσης η θερμότητα που μεταβιβάζεται με ακτινοβολία επηρεάζεται από την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας της φλόγας.

Η βέλτιστη περίσσεια του αέρα που δίνει το μέγιστο βαθμό απόδοσης, είναι η ελάχιστη περίσσεια για την οποία έχουμε πλήρη καύση. Αυτό συμπίπτει με τη μέγιστη περιεκτικότητα των καυσαερίων σε διοξείδιο του άνθρακα. Οι σωστές ενέργειες λοιπόν στη ρύθμιση της περισσειας του αέρα καύσης πρέπει να αποβλέπουν στην μεγιστοποίηση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε διοξείδιο του άνθρακα και στην ελαχιστοποίηση του μονοξειδίου του άνθρακα.

Η βέλτιστη περίσσεια του αέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι βασικότεροι από τους οποίους είναι το είδος του καυστήρα, ο διασκορπισμός που επιτυγχάνεται, το μέγεθος και η διαμόρφωση του θαλάμου καύσης κ.τ.λ. Όταν είναι δυνατό, η βέλτιστη περίσσεια του αέρα που δίνει τη μέγιστη απόδοση καύσης πρέπει να προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε εγκατάσταση.

Γενικά, σε κοινές εγκαταστάσεις καύσης, περίσσεια αέρα 20% περίπου θεωρείται αρκετά ικανοποιητική για μαζούτ, ενώ θα ήταν δύσκολο να επιτευχθεί συνεχής ομαλή λειτουργία με λιγότερο από 15% περίσσεια αέρα χωρίς αυτόματα συστήματα ελέγχου και ρυθμίσεων.

Κεφάλαιο Ογδοο

Παραλαβή και Χειρισμός του Καυσίμου

8-1 Εισαγωγή

Η διαδικασία παραλαβής πετρελαίου ή "πετρέλευση" αρχίζει με την επαφή με τους προμηθευτές και τελειώνει μετά την παράδοση του καυσίμου.

Επειδή στα καύσιμα ναυτιλίας χρησιμοποιούνται υπολείμματα καυσίμων, που έχουν μεγάλη πυκνότητα, περισσότερα ασφαλτένια, περισσότερο θείο, βανάδιο, αλουμίνιο κ.λ.π., παρουσιάζονται αυξημένα προβλήματα και αμφισβητήσεις μεταξύ των ιδιοκτητών πλοίων, των προμηθευτών καυσίμων και των ναυλωτών.

Μερικά προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με μια λογική τακτική παραλαβής του καυσίμου, με αυξημένη δυνατότητα χειρισμού (εξοπλισμού: διαχωριστές, δεξαμενές κατακάθισης κ.λ.π.) του καυσίμου επάνω στο πλοίο και με τη χρήση του test kit.

Επίσης οι προδιαγραφές, που υπάρχουν π.χ. ISO (ISO 8217), BSI, CIMAC βοηθούν στην διαδικασία αυτή και αποτελούν την βάση για μια σωστή πετρέλευση. Στη διαμόρφωση των προδιαγραφών συμβάλλουν και οι διεθνείς οργανισμοί, που ασχολούνται περισσότερο με μεθόδους ανάλυσης των καυσίμων και λιπαντικών π.χ. SAE, ASTM, IP.

8-2 Παραγγελία και Παραλαβή του Καυσίμου

Όταν δίνεται παραγγελία για καύσιμα εκτός από την ποσότητα θα πρέπει να καθοριστεί ο τύπος, η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου ούτως ώστε αυτό να πληροί τις ανάγκες της μηχανής του πλοίου. Συνήθως επιλέγεται το καύσιμο με το μεγαλύτερο ιξώδες, εφόσον υπάρχει η προϋπόθεση της δυνατότητας χειρισμού και καθαρισμού του επάνω στο πλοίο.

Δυστυχώς δεν επαρκεί πια να προσδιορίζεται μόνο το ιξώδες το οποίο, αν και είναι μια σημαντική ιδιότητα, δεν δίνει ένδειξη για τα άλλα χαρακτηριστικά του καυσίμου (πυκνότητα, θείο, νερό, τέφρα, ανθρακούχο υπόλειμμα, συμβατότητα, αλουμίνιο, βανάδιο), τα οποία είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία τόσο της κύριας μηχανής όσο και των βοηθητικών μηχανών.

Έτσι ο Α' μηχανικός, χρησιμοποιώντας τις συστάσεις του κατασκευαστή για την κάθε μηχανή και τη δυνατότητα της μονάδας καθαρισμού / χειρισμού, πρέπει να μελετήσει τις προδιαγραφές και να διαλέξει την κατηγορία του καυσίμου, που είναι πιο κοντά στις απαιτήσεις της μηχανής του πλοίου. Στη συνέχεια ο καπετάνιος μαζί με τον Α' μηχανικό θα πρέπει να φροντίζουν

ώστε τα καύσιμα που παραλαμβάνει το πλοίο σε κάθε λιμάνι να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές και για το σκοπό αυτό να ελέγχουν το Bunker Delivery Receipt (BDR).

Στο BDR καταγράφονται οι παρακάτω παράγοντες:

- Η θέση και ο χρόνος του ανεφοδιασμού
- Λεπτομέρειες για το καύσιμο που θα παραδοθεί
- Την θερμοκρασία παραλαβής του καυσίμου (που είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της ποσότητας παραλαβής)
- Την πυκνότητα του καυσίμου στην τυποποιημένη θερμοκρασία αναφοράς
- Τους αριθμούς σφραγίδων των δειγμάτων

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή πριν υπογραφεί το BDR να αναφέρεται σε αυτό μόνο για τον όγκο του καυσίμου προσθέτοντας, εάν είναι απαραίτητο, τις λέξεις "για τον όγκο μόνο - το βάρος θα καθοριστεί μετά τη μέτρηση της πυκνότητας σε αντιπροσωπευτικό δείγμα" (for volume only - weight to be determined after density testing of representative sample).

Την διαδικασία ανεφοδιασμού πρέπει να παρακολουθεί ο ίδιος ο Α' μηχανικός αλλά και να λαμβάνει προ, κατά και μετά την πετρέλευση όλα τα απαραίτητα μέτρα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Να προσδιοριστούν σε ποιες διαδοχικά δεξαμενές θα γίνει ο εφοδιασμός, ποια είναι η στάθμη της κάθε δεξαμενής και μέχρι ποια στάθμη θα πληρωθεί. Επίσης θα πρέπει να διαχωριστούν, όσο είναι εφικτό, τα καύσιμα από διαφορετικές παραδόσεις
- Να γίνει έλεγχος της σωστής θέσης των επιστομίων και να ελεγχθούν όλοι οι σωλήνες εξαερισμού των δεξαμενών που θα γίνει η πετρέλευση
- Να ελεγχθεί η μονάδα καταμέτρησης και ο αγωγός τροφοδοσίας
- Κατά το χρόνο ανεφοδιασμού να γίνονται συνεχής μετρήσεις και επαληθεύσεις των δεξαμενών που χρησιμοποιούνται
- Να μην γίνονται εργασίες φλόγας στη γύρω περιοχή
- Σε τακτά χρονικά διαστήματα να ελέγχεται η σύνδεση του ελαστικού αγωγού παροχής, προς αποφυγή διαρροών
- Να γίνεται δειγματοληψία σύμφωνα με τη μέθοδο που έχει συμφωνηθεί
- Οι δεξαμενές να μην πληρώνονται πάνω από το 90% της χωρητικότητας τους και σε όσες δεξαμενές πλησιάζουν το 70-80% της χωρητικότητας των να περιορίζεται ο ρυθμός παροχής. Στις δεξαμενές που για οποιοδήποτε λόγο πρέπει να πληρωθούν πλήρως θα πρέπει να διακόπτεται η πετρέλευση και να συμπληρώνονται με την βαρύτητα
- Στην τελευταία δεξαμενή ή δεξαμενές εφοδιασμού να αφήνεται περιθώριο για τα καύσιμα της μάνικας

- Μετά το τέλος του ανεφοδιασμού να γίνεται έλεγχος για το στεγανό κλείσιμο των επιστομίων πετρέλευσης, για το βύθισμα του πλοίου και νέα μέτρηση όλων των δεξαμενών
- Να γίνει ακριβής υπολογισμός της ποσότητας που παραλήφθηκε
- Να γίνει συμπλήρωση του ημερολογίου

8-3 Δειγματοληψία

Η σωστή δειγματοληψία αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της παράδοσης των καυσίμων. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι δειγματοληψίας, που όλες βασίζονται στη μέθοδο ASTM D-4057. Σκοπός της δειγματοληψίας είναι:

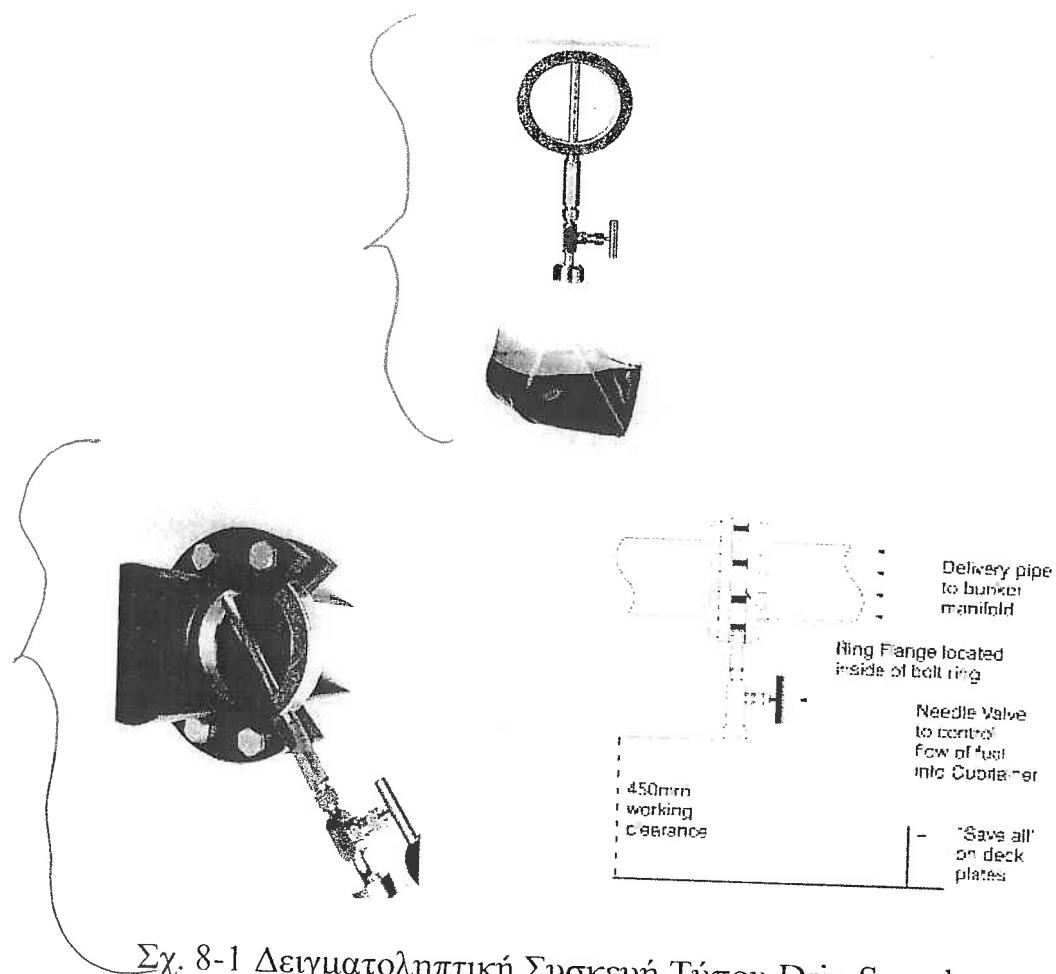
- Να ελεγχθεί η τιμή της πυκνότητας προκειμένου να γίνει ακριβής υπολογισμός της ποσότητας παραλαβής. Για το σκοπό αυτό πρέπει να μετρηθεί και η θερμοκρασία παραλαβής του καυσίμου
- Σε περίπτωση που θα προκύψει ανωμαλία στη λειτουργία της μηχανής, μέχρι την κατανάλωση του παραληφθέντος καυσίμου, να μπορεί να γίνει εργαστηριακός έλεγχος είτε για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία του προμηθευτή είτε για να ξεκινήσουν οι διαδικασίες για διαμαρτυρία (claim) και αξιώσεις

Σε γενικές γραμμές η αποζημίωση και οι αξιώσεις που αφορούν την κακή ποιότητα θα αναγνωριστούν από τους προμηθευτές εφόσον έχουν τηρηθεί οι βασικές διαδικασίες δειγματοληψίας. Οι ιδιοκτήτες πριν αρχίσουν τις διαδικασίες για αποζημίωση θα πρέπει να είναι απόλυτα σίγουροι ότι το δείγμα που έχουν στην κατοχή τους αντιπροσωπεύει πλήρως το καύσιμο που παρέλαβε το πλοίο και έχει παρθεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Για τον λόγο αυτό το δείγμα πρέπει πάντοτε λαμβάνεται, σε συνεργασία με τον υπεύθυνο της παράδοσης, κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης.

Ο πιο αντιπροσωπευτικός τρόπος να λαμβάνεται το δείγμα κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης είναι η χρησιμοποίηση μιας δειγματοληπτικής συσκευής τύπου drip sampler (σταλαγματιάς). Μια πρόσθετη δαπάνη για την τοποθέτηση αυτόματων δειγματοληπτικών συσκευών δεν κρίνεται απαραίτητη επειδή η σύγκριση των αναλύσεων από δείγματα των δειγματοληπτικών συσκευών τύπου drip sampler και των αυτόματων δειγματοληπτικών συσκευών δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές.

Η καλύτερη θέση για τη λήψη ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος είναι το σημείο αλλαγής ιδιοκτησίας του καυσίμου δηλ. το τέλος της μάνικας παράδοσης.

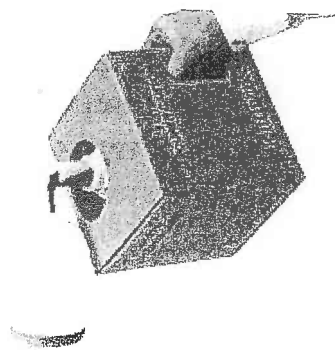
Ο σωλήνας μέσα στη βαλβίδα των δειγματοληπτικών συσκευών πρέπει πάντοτε να καθαρίζεται πριν από τη χρήση με καθαρά καύσιμα αποστάγματα. Η χρήση διαλυτών με χαμηλό σημείο ανάφλεξης δεν



Σχ. 8-1 Δειγματοληπτική Συσκευή Τύπου Drip Sampler
και Τρόπος Εγκατάσταση της

συστήνεται για τον καθαρισμό της δειγματοληπτικής συσκευής. Η σωστή δειγματοληψία απαιτεί βραδεία πλήρωση κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης ενός δοχείου με χωρητικότητα 4-5 lit.

Στη συνέχεια, μετά από ανάδευση, πρέπει να πληρωθούν τα φιαλίδια του δείγματος, που είναι ειδικά και προμηθεύονται από τον προμηθευτή, να σφραγιστούν και να υπογραφούν παρουσία του επιθεωρητή (surveyor), του καπετάνιου και του Α' μηχανικού.



Σχ. 8-2 Πλήρωση των Φιαλιδίων του Δείγματος

Ο ακριβής αριθμός των φιαλιδίων εξαρτάται από τον τελικό προορισμό. Για να καλυφθούν όλες οι πιθανότητες συνιστάται να λαμβάνονται από την παράδοση τέσσερα αντιπροσωπευτικά δείγματα. Συγκεκριμένα:

- Ένα δείγμα για τον προμηθευτή
- Ένα δείγμα για το πλοίο (από το οποίο μπορεί να γίνουν και οι σχετικές αναλύσεις μέσα στο πλοίο, εάν υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός)
- Δύο δείγματα για τον επιθεωρητή. Το ένα που θα σταλεί για ανάλυση και το άλλο για φύλαξη σε περίπτωση έφεσης

Όταν δεν υπάρχει επιθεωρητής αρκούν τρία δείγματα. Η διανομή θα είναι, δύο στο πλοίο και ένα στο προμηθευτή.

Η πρώτη γρήγορη διάγνωση της ποιότητας του καυσίμου που παραλήφθηκε, όπως το ιξώδες, η περιεκτικότητα σε νερό, η πυκνότητα και η συμβατότητα μπορεί να γίνει επάνω στο πλοίο με τη χρήση του test kit. Για τον λόγο αυτό τα όργανα του test kit, παρόλο που δεν είναι μεγάλης ακρίβειας, βοηθούν τον Α' μηχανικό να εντοπίσει γρήγορα και αποτελεσματικά πιθανά σοβαρά λάθη. Πολλές φορές παραδίδονται στον Α' Μηχανικό, μαζί με την παράδοση των αποδείξεων προμήθειας, και σφραγισμένα δείγματα καυσίμου τα οποία πάρθηκαν χωρίς την παρουσία του Α' μηχανικού ή κάποιου εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου του. Στην περίπτωση αυτή, επειδή τόσο η προέλευση των δειγμάτων όσο και η μέθοδος δειγματοληψίας είναι άγνωστοι, θα πρέπει να αναγράφεται επάνω στα δείγματα "Μόνο για παραλαβή-Δειγματοληψία από άγνωστη πηγή" (for receipt only-source unknown).

Επίσης δεν πρέπει να υπογραφούν από τον Α' μηχανικό δείγματα στα οποία δεν τηρήθηκαν οι σχετικές διαδικασίες δειγματοληψίας.



Σχ. 8-3 Αναγκαίος Εξοπλισμός (Test Kit) για την Ανάλυση του Καυσίμου

8-4 Δίκτυο του Καυσίμου

Τα πλοία ανεφοδιάζονται τα υγρά καύσιμα συνήθως από σταθμούς αποθήκευσης ή από πλωτά μέσα (μπάριτζες). Μέσα στο πλοίο το πετρέλαιο αποθηκεύεται σε βαθιές δεξαμενές (deep tanks) και σε δεξαμενές αποθήκευσης (bunker tanks ή storage tanks). Από τις δεξαμενές αυτές το πετρέλαιο μεταφέρεται με αντλίες μετάγγισης στις δεξαμενές κατακάθισης (settling tanks), στον φυγοκεντρικό καθαρισμό και στη συνέχεια στις δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης (day tanks ή service tanks). Η μεταφορά του καυσίμου με άντληση πρέπει να γίνεται με σιγανό τρόπο ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία γαλακτώματος.

Ένα πλοίο πρέπει να διαθέτει δεξαμενές αποθήκευσης κατάλληλες για να εφοδιαστεί με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμων. Η θερμοκρασία του καυσίμου στις δεξαμενές αποθήκευσης πρέπει να διατηρείται τουλάχιστον 10 °C πιο πάνω από το σημείο ροής του καυσίμου. Το σοβαρότερο πρόβλημα ως προς την καθαρότητα του πετρελαίου στις δεξαμενές αποθήκευσης είναι ο κίνδυνος μόλυνσης από το θαλάσσιο νερό που οδηγεί στην δημιουργία γαλακτώματος. Για τον λόγο αυτό οι δεξαμενές αυτές, που εναλλακτικά χρησιμοποιούνται και για θαλασσέρματα, πρέπει να καθαρίζονται καλά και να στεγνώνονται προτού χρησιμοποιηθούν.

Οι δεξαμενές κατακάθισης προσφέρουν το πρώτο στάδιο καθαρισμού του πετρελαίου. Στις δεξαμενές αυτές το πετρέλαιο παραμένει αρκετό χρόνο, ώστε να κατακαθίσουν οι ξένες προσμίξεις (λάσπη, μέταλλα κ.τ.λ.) που στη συνέχεια θα απομακρυνθούν. Για το λόγο αυτό οι δεξαμενές κατακάθισης έχουν πυθμένα επικλινή με κρουνό αποστράγγισης. Επειδή η κατακάθιση γίνεται μόνο με τη βαρύτητα απαραίτητη προϋπόθεση είναι η απόλυτη ηρεμία του καυσίμου. Οι δεξαμενές κατακάθισης πρέπει να έχουν θερμομόνωση και η θερμοκρασία τους να διατηρείται σταθερά στους 60 °C καθώς σε αυτή την θερμοκρασία διευκολύνεται η κατακάθιση. Η αποτελεσματικότητα της κατακάθισης εξαρτάται από το σχεδιασμό των δεξαμενών, από τη θέρμανση του καυσίμου και το διαθέσιμο χρόνο για κατακάθιση. Συνήθως απαιτούνται δύο δεξαμενές κατακάθισης ώστε εάν προκύψει κάποιο πρόβλημα να υπάρχει η δεύτερη δεξαμενή και επιπλέον να αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος κατακάθισης.

Η δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τα ίδια χαρακτηριστικά της δεξαμενής κατακάθισης και να διαθέτει σύστημα θέρμανσης. Η χωρητικότητα της πρέπει να είναι τέτοια ώστε το καύσιμο που περιέχει να επαρκεί για να καλύψει τις κύριες και βοηθητικές μηχανές, με πλήρες φορτίο, για ένα εικοσιτετράωρο. Επειδή το πετρέλαιο στη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης έρχεται από την μονάδα διαχωρισμού (διαχωριστές), για να μην σταματήσει η τροφοδοσία της μηχανής στην περίπτωση προβλήματος στην μονάδα καθαρισμού επιβάλλεται να υπάρχουν

δύο δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης.

Όταν το καύσιμο φθάσει στη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης είναι πια κατάλληλο για χρήση από τη μηχανή με μόνη φροντίδα τη διόρθωση της θερμοκρασίας του για να αποκτήσει το ευνοϊκότερο ιξώδες έγχυσης.

8-5 Μηχανήματα και Συσκευές που Εξυπηρετούν το Δίκτυο Καυσίμου

ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ

Με την κατακάθιση δεν είναι δυνατό να απομακρυνθεί όλη η ποσότητα νερού και των προσμίξεων π.χ. άμμος, σκόνη, σκουριά και λοιπά κατάλοιπα της διύλησης που περιέχει το καύσιμο. Για τον λόγο αυτό ο βασικός καθαρισμός του καυσίμου γίνεται με φυγοκεντρική επεξεργασία στους διαχωριστές. Έτσι το καύσιμο μετά από τη δεξαμενή κατακάθισης οδηγείται με την βοήθεια των αντλιών αναρρόφησης, αφού περάσει από φίλτρο και προθερμαντήρα, στον *φυγοκεντρικό καθαριστή* και στη συνέχεια καταθλίβεται στη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης.

Η λειτουργία των διαχωριστών βασίζεται στην αρχή της φυγόκεντρης δύναμης, η οποία επιταχύνει τον αποχωρισμό των ανεπιθύμητων στερεών και υγρών σωμάτων από το καύσιμο, όταν υπάρχει έστω και μια μικρή διαφορά ειδικού βάρους. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την εργασία αυτή λέγονται *φυγοκεντρικοί αποχωριστές* (centrifugal separators) και διακρίνονται σε:

- Φυγοκεντρικούς καθαριστές (purifiers) που συγκρατούν από το καύσιμο βασικά το νερό αλλά και τα ξένα σωματίδια, με σχετικά μεγαλύτερες διαστάσεις
- Φυγοκεντρικούς διαυγαστές (clarifiers) που αφαιρούν από το καύσιμο τα ξένα σωματίδια με μικρότερες διαστάσεις και κυρίως τα ασφαλτικά συσσωματώματα του πετρελαίου

Για καλύτερα αποτελέσματα και οι δύο διαχωριστές πρέπει να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα σε σειρά δηλ. πρώτα ο καθαριστής και στη συνέχεια ο διαυγαστής. Από τους τύπους των φυγοκεντρικών καθαριστών οι συνηθέστεροι είναι οι καθαριστές τύπου De Laval.

Τα κύρια εξαρτήματα του εξοπλισμού ενός φυγοκεντρικού καθαριστή είναι:

- Ο διανομέας
- Το σώμα της λεκάνης
- Το κέλυφος του διαχωριστή

- Οι θυρίδες
- Η πλήρης σειρά δίσκων, που έχουν κωνικό σχήμα και στην περιφέρεια φέρουν οπές
- Ο δίσκος κορυφής
- Ο δίσκος βαρύτητας

Η κυριότεροι διαφορές των διαυγαστών σε σχέση με τους καθαριστές είναι ότι αντί για δίσκο βαρύτητας φέρουν στεφάνη εκροής, ο άνω δίσκος είναι χωρίς λαιμό και οι δίσκοι δεν φέρουν οπές στην περιφέρεια. Επίσης στον διαυγαστή έχουμε δύο εκροές, μία για το νερό και μία για το πετρέλαιο, ενώ στον καθαριστή μία εκροή για το πετρέλαιο.

Κατά τον φυγοκεντρικό καθαρισμό από τα ανοίγματα του διανομέα και των ενδιαμέσων δίσκων γίνεται ο διαχωρισμός του πετρελαίου από το νερό και τη λάσπη. Μέσα στην λεκάνη του διαχωριστή δημιουργούνται τρεις διαφορετικές ζώνες. Τον ακραίο εξωτερικό χώρο της λεκάνης καταλαμβάνει η ζώνη της λάσπης, το ενδιάμεσο χώρο η ζώνη του νερού και τον εσωτερικό χώρο η ζώνη του πετρελαίου. Οι ζώνες του νερού και του πετρελαίου αυξομειώνονται όταν μετατοπίζεται η διαχωριστική τους επιφάνεια. Είναι λοιπόν επόμενο, η διαχωριστική επιφάνεια πετρελαίου-νερού, όταν χρησιμοποιείται πετρέλαιο μεγαλύτερης πυκνότητας, να εκτινάσσεται σε μεγαλύτερη ακτίνα, με αποτέλεσμα μια ποσότητα πετρελαίου να παρασύρεται μαζί με το νερό. Ο καλός καθαρισμός του καυσίμου προϋποθέτει η διαχωριστική επιφάνεια (γραμμή) πετρελαίου-νερού (διάμετρος της γραμμής) να είναι εκτός της διαμέτρου της ομάδας των δίσκων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση του καταλλήλου δίσκου βαρύτητας, που προσαρμόζεται στην υποδοχή που φέρνει το κέλυφος του καθαριστή. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του πετρελαίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του δίσκου βαρύτητας.

Η λάσπη που εκτοξεύεται στη περίμετρο της λεκάνης σε τακτικά διαστήματα, που εξαρτώνται από το είδος και τη ποιότητα του καυσίμου, πρέπει να καθαρίζεται.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το διαχωρισμό είναι:

- Διαφορά ειδικού βάρους. Η φυγόκεντρος δύναμη επενεργεί σε όλα τα σώματα (υγρά και στερεά) ανάλογα με το ειδικό βάρος. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των ειδικών βαρών (λάσπης-νερού-πετρελαίου) τόσο ευκολότερος είναι ο διαχωρισμός. Το κλασσικό σύστημα των διαχωριστών επαρκεί για καύσιμα με μέγιστη πυκνότητα $0,991 \text{ kg/m}^3$.
- Μέγεθος μορίων. Όσο πιο μικρά είναι τα μόρια, επειδή δημιουργούν μια κολλώδης κατάσταση που εμποδίζει τον διαχωρισμό, τόσο πιο δύσκολα απομακρύνονται.

- Θερμοκρασία διαχωρισμού-Ιξώδες. Όσο ρευστότερο είναι το υγρό τόσο πιο καλότερος είναι ο διαχωρισμός. Για τον λόγο αυτό η θερμοκρασία του καυσίμου, που ρυθμίζει το ιξώδες, στο διαχωριστή πρέπει να είναι σταθερή στους 98 ± 2 °C. Δεν επιτρέπεται όμως μεγαλύτερη γιατί θα εξατμίζεται το νερό.
- Παροχή καυσίμου-Χρόνος διαχωρισμού. Όσο πιο μικρότερη είναι η παροχή καυσίμου τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο καθαρισμός. Εάν ο διαχωρισμός δεν είναι επαρκής πρέπει να μειωθεί η παραγωγή. Γενικά η παροχή του διαχωριστή πρέπει να καλύπτει την καθημερινή ποσότητα που απαιτείται από την μηχανή και μάλιστα ο διαχωριστής πρέπει να υπερβαίνει κατά 40% τη δυναμικότητα αυτή, ώστε να μη λειτουργεί στο μέγιστο φορτίο του.
- Η απόσταση μεταξύ των δίσκων του καθαριστή.
- Η σωστή εκλογή του δίσκου βαρύτητας. Ο δίσκος βαρύτητας (gravity disk) ποικίλλει ανάλογα με την πυκνότητα του καυσίμου στους 60 °F καθώς και την θερμοκρασία φυγοκεντρικού καθαρισμού. Για την σωστή επιλογή του δίσκου πρέπει να αντλούνται πληροφορίες από το εγχειρίδιο του διαχωριστή, όπου αναφέρει την κατάλληλη εσωτερική διάμετρο του δίσκου για το ανάλογο ειδικό βάρος του καυσίμου και την θερμοκρασία. Σε περίπτωση έλλειψης εγχειριδίου με την κυκλοφορία του καυσίμου τίθεται σε λειτουργία ο διαχωριστής. Εάν παρατηρηθεί ότι το πετρέλαιο εξέρχεται από την πλευρά του νερού τοποθετείται ο μικρότερος σε διάμετρο δίσκος και επαναλαμβάνεται η λειτουργία. Εάν και πάλι από την δίοδο του νερού εξέρχεται καύσιμο, συνεχίζεται η διαδικασία μέχρι να σταματήσει η εκροή καυσίμου από την δίοδο του νερού.
- Ο τρόπος διάταξης του συστήματος του φυγοκεντρικού καθαριστή. Συγκεκριμένα υπάρχουν τρεις δυνατότητες:
 1. Ένας αποχωριστής
 2. Δύο αποχωριστές στη σειρά, συνήθως ένας καθαριστής που ακολουθείται από ένα διαυγαστή
 3. Δύο αποχωριστές τοποθετημένοι παράλληλα

Η πιο συνηθισμένη μονάδα φυγοκεντρικού καθαρισμού είναι δύο όμοιοι διαχωριστές να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε παράλληλο δίκτυο, ώστε ο ένας να εξυπηρετεί την κατανάλωση, ενώ ο άλλος να βρίσκεται σε ετοιμότητα. Σε περίπτωση παραλαβής κακής ποιότητας καυσίμου συνιστάται η παράλληλη λειτουργία και των δύο με μειωμένη παροχή.

ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ

Η προθέρμανση του καυσίμου γίνεται για πολλούς λόγους και σε πολλές φάσεις της διακίνησης του, από τις δεξαμενές μέχρι τις αντλίες έγχυσης, με ατμό ή ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Στις δεξαμενές η προθέρμανση γίνεται για την επιτάχυνση της καθίζησης των ξένων προσμίξεων. Επειδή η προθέρμανση ευνοεί το σχηματισμό ανθρακούχων καταλοίπων ασφαλικής βάσης, που εμφανίζονται στις δεξαμενές υπό μορφή λάσπης, χρησιμοποιούνται χημικά πρόσθετα. Τα χημικά αυτά πρόσθετα που διατίθενται στο εμπόριο με το γενικό όνομα Fuel Oil Treatment, εμποδίζουν τον σχηματισμό της λάσπης και έτσι περιορίζουν τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την άντληση και διακίνηση του πετρελαίου και που οφείλονται στην παρουσία της λάσπης.

Η προθέρμανση συνεχίζεται σε όλο το δίκτυο για να επιτευχθεί το ιξώδες που θα εξασφαλίσει την κατάλληλη αντλητικότητα του καυσίμου. Στους φυγοκεντρικούς καθαριστές η προθέρμανση αποβλέπει στη μείωση της πυκνότητας του καυσίμου, σε τιμές στις οποίες η λειτουργία τους είναι πιο αποδοτική. Στο σύστημα έγχυσης η προθέρμανση γίνεται για να αποκτήσει το καύσιμο το ευνοϊκότερο ιξώδες για καλό διασκορπισμό.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του καυσίμου μπορεί να συνεχιστεί μέχρι ενός ορίου. Ο περιορισμός στην θερμοκρασία προθέρμανσης επιβάλλεται για τη διατήρηση του νερού, το οποίο είναι δυνατόν να περιέχει το καύσιμο, σε υγρή κατάσταση οπότε και θα είναι δυνατός ο διαχωρισμός του από τη μάζα του καυσίμου κατά την φυγοκέντρωση. Η ατμοποίηση του νερού θα έχει ως αποτέλεσμα την παραμονή του μέσα στο καύσιμο και, στη συνέχεια, την είσοδο του στη μηχανή.

ΦΙΛΤΡΑ

Με την τοποθέτηση των φίλτρων στο δίκτυο αποχωρίζονται από το πετρέλαιο τα διάφορα ανεπιθύμητα σωματίδια. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων υλικών, που έχουν πόρους και σχισμές διαφόρου μεγέθους και προσανατολισμού. Οι διατάξεις των ανοιγμάτων στα φίλτρα πρέπει είναι στο ίδιο μέγεθος, με το μέγεθος των ακαθαρσιών που πρέπει να συγκρατούν.

Τα φίλτρα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

- Διηθητικά Φίλτρα: Αποτελούνται από το περίβλημα, που συνήθως έχει κυλινδρικό σχήμα και από τη γόμωση, που περιέχει υλικά ικανά να συγκρατήσουν τις ξένες προσμίξεις. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως νήματα, υφάσματα ή φυτικές ίνες τα οποία όταν κορεστούν από τις

ακαθαρσίες αντικαθίστανται ή καθαρίζονται με διαλυτικά υγρά και τοποθετούνται ξανά.

- Μεταλλικά φίλτρα: Αποτελούνται από διάτρητους δίσκους ή μεταλλικά πλέγματα τοποθετημένα το ένα επάνω στο άλλο. Το πετρέλαιο καθώς διέρχεται μέσα από τα μεταλλικά φίλτρα καθαρίζεται εναποθέτοντας τις ξένες ύλες πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες. Οι αποστάσεις των οπών ή των ανοιγμάτων των μεταλλικών φίλτρων, καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ των δίσκων εξαρτώνται από τη θέση του φίλτρου στο δίκτυο, από το είδος και την ποιότητα του καυσίμου που θα καθαριστεί και από το βαθμό καθαρισμού που επιδιώκεται. Ειδική περίπτωση μεταλλικών φίλτρων αποτελούν τα αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα, που έχουν ευρύτερη χρησιμοποίηση σε πολλά δίκτυα καυσίμων.

Τα κυριότερα σημεία στα οποία πρέπει να τοποθετηθούν φίλτρα είναι:

- Πριν από την αντλία μετάγγισης που βρίσκεται μεταξύ των κύριων δεξαμενών και των δεξαμενών χρήσης
- Πριν από τους φυγοκεντρικούς καθαριστές
- Πριν από την αντλία έγχυσης

ΟΜΟΙΟΓΕΝΝΟΠΟΙΗΤΗΣ

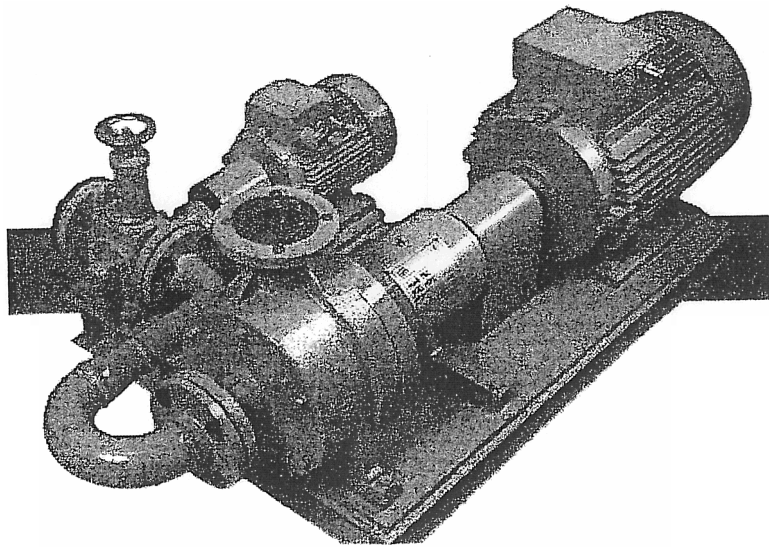
Ο ομοιογεννοποιητής (homogenizer) διασπά τα στερεά και ειδικότερα τα ασφατένια και τα αναμιγνύει ισομερώς σε όλη τη μάζα του καυσίμου. Η διάσπαση των ασφατενίων σε μέγεθος μέχρι και τα 5 μm (από αρχικό μέγεθος 100 μm), που είναι κάτω από το μέγιστο μέγεθος που οι κατασκευαστές μηχανών συστήνουν για την αποδοτική λειτουργία:

- Επιτρέπει στα ασφατένια να περάσουν από τον φυγοκεντρικό καθαριστή και να μην αποβληθούν
- Δημιουργεί πιο ομοιογενή καύσιμα, που οι εγχυτήρες μπορούν να ψεκάσουν σε λεπτότερα σταγονίδια
- Αναμιγνύει και ομογενοποιεί, συγχρόνως, τα κατάλοιπα της διύλισης, που υπάρχουν στα καύσιμα και έτσι ο φυγοκεντρικός καθαρισμός τους γίνεται ευκολότερα

Επίσης με τον ομοιογεννοποιητή μπορεί να προστεθεί στα καύσιμα γλυκό νερό και να σχηματιστούν γαλακτώματα πετρελαίου-νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ναυτικές πετρελαιομηχανές. Στην διαδικασία αυτή, το νερό εισάγεται στη γραμμή καυσίμων ακριβώς μπροστά από τον ομοιογεννοποιητή.

Είναι γνωστό από ερευνητικά προγράμματα ότι η παρουσία νερού (εξαρτάται από το είδος της μηχανής, περίπου μέχρι 15%) στα καύσιμα των ΜΕΚ υπό μορφή γαλακτωμάτων έχει θετικά αποτελέσματα καθώς παρατηρείται:

- Μείωση στην κατανάλωση του καυσίμου
- Μειωμένες τιμές αιθάλης
- Μειωμένη θερμοκρασία καυσαερίων



Σχ. 8-4 Ομοιογεννοποιητής

8-6 Καθαρισμός των Δεξαμενών Καυσίμων

Ο καθαρισμός των δεξαμενών καυσίμων πρέπει να γίνεται επειδή στον πυθμένα των δεξαμενών, στη μάζα που δεν είναι δυνατό να αντληθεί, κατακάθονται οι ξένες προσμίξεις (λάσπη, μέταλλα, ασφαλτένια κ.λ.π.), των οποίων μάλιστα η στάθμη, επειδή συνεχίζεται η συσσώρευση τους, διαρκώς ανεβαίνει. Έτσι, όταν η στάθμη των προσμίξεων αυτών φθάσει σε κάποιο σημείο είναι δυνατόν να αντληθούν και να οδηγηθούν στην μονάδα φυγοκεντρικού καθαρισμού, με συνέπεια ο καθαρισμός του καυσίμου, στον διαχωριστή, να μην είναι επαρκής.

Το πόσο συχνά απαιτείται καθαρισμός θα το κρίνει ο Α' μηχανικός που γνωρίζει καλύτερα τον εξοπλισμό του πλοίου, την κατασκευή και τα θερμαντικά στοιχεία των δεξαμενών.

Κεφάλαιο Ένατο

Λίπανση - Προέλευση Λιπαντικών

9-1 Εισαγωγή

Τα λιπαντικά αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της βιομηχανίας πετρελαίου. Η κατανάλωση των λιπαντικών, συγκριτικά με τα καύσιμα, παρόλο που είναι πολύ μικρή, περίπου 1% των καυσίμων, η σπουδαιότητα τους είναι μεγάλη, διότι η σωστή λίπανση του μηχανολογικού εξοπλισμού αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της προληπτικής συντήρησης του.

Η κύρια αποστολή των λιπαντικών με την γενική σημασία του όρου, είναι η παρεμβολή τους μεταξύ μεταλλικών επιφανειών που συνεργάζονται σε στενή επαφή και η μείωση ή η ελαχιστοποίηση της τριβής και της φθοράς. Με την ευρύτερη όμως σημασία δρουν ως "μεταφορείς" χημικών πρόσθετων όπως αντιτριβικών, αντιδιαβρωτικών, αντιοξειδωτικών, αντιαφριστικών, απορρυπαντικών, αλκαλικών κ.λ.π. ανάλογα με το είδος της εφαρμογής, προκειμένου να αντιμετωπιστούν και άλλες απαιτήσεις ή ειδικές περιπτώσεις λίπανσης.

Τριβή είναι η δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ δύο σωμάτων, από τα οποία το ένα μετακινείται επάνω στο άλλο που θεωρείται ακίνητο. Όταν τα σώματα βρίσκονται σε επαφή και το ένα κινείται επάνω στο άλλο, υπάρχει μια κάθετη δύναμη από το ένα σώμα στο άλλο και συγχρόνως αναπτύσσεται μια δύναμη αντίστασης που εφάπτεται στην επιφάνεια επαφής των δύο αυτών σωμάτων, που ονομάζεται τριβή.

Έχουμε την τριβή ολίσθησης που αναπτύσσεται, όταν ένα σώμα ολισθαίνει (γλιστράει) πάνω σε μία επιφάνεια και την τριβή κύλισης, όταν το σώμα κυλάει πάνω στην επιφάνεια. Η τριβή ολίσθησης είναι μεγαλύτερη από την τριβή κύλισης.

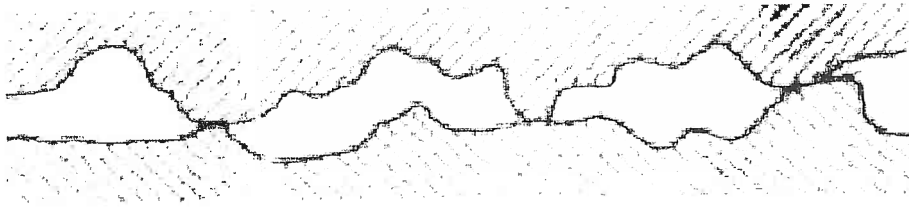
Μέτρο της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ δύο επιφανειών είναι ο συντελεστής τριβής, μ . Δηλαδή το πηλίκο F/B , της ελάχιστης δύναμης F , που απαιτείται για να υπερνικηθεί η αντίσταση τριβής, που προβάλλει σώμα βάρους B , όταν ολισθαίνει ή κυλάει σε μια επιφάνεια, προς το βάρος B .

$$\mu = \frac{F}{B}$$

Ο συντελεστής τριβής κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 1,5 ανάλογα με το υλικό και τη φύση των επιφανειών που τρίβονται.

Η τριβή έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση και απώλεια ενέργειας με την μορφή θερμότητας καθώς και την φθορά των επιφανειών των σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή.

Εάν παρατηρήσουμε δύο μεταλλικές επιφάνειες με τη βοήθεια π.χ. μικροσκοπίου θα διαπιστώσουμε ότι, ανεξάρτητα από την ποιότητα επεξεργασία τους, δεν είναι απόλυτα λείες και ότι αποτελούνται από "κορυφές" και "κοιλιάδες". Αν κατά την διάρκεια της κίνησης οι δύο επιφάνειες έρθουν σε επαφή, τότε η κίνηση τους εμποδίζεται εξαιτίας της εμπλοκής των επιφανειακών ανωμαλιών, αναπτύσσεται μεταξύ τους θερμότητα, που δεν διανέμεται ομοιόμορφα πάνω στην φαινομενική επιφάνεια επαφής αλλά τοπικά πάνω σε ορισμένες ανωμαλίες της. Η θερμοκρασία των ανωμαλιών αυτών αυξάνει τοπικά με συνέπεια να εμφανίζεται το φαινόμενο της αφαίρεσης υλικού από τις τριβόμενες επιφάνειες (δηλ. το κόψιμο των ανωμαλιών και μεταφορά υλικού από τις κορυφές στις κοιλιάδες) το οποίο ονομάζουμε φθορά.



Σχ. 9-1 Επιφάνεια Επαφής δύο Στερεών Σωμάτων

Κάθε προσπάθεια που γίνεται με σκοπό τη μείωση της τριβής και την ελάττωση της φθοράς ονομάζεται *λίπανση*. Η λίπανση πραγματοποιείται με τη παρεμβολή ενός κατάλληλου υλικού μεταξύ των τριβόμενων επιφανειών, το οποίο μειώνει το συντελεστή τριβής, αφαιρεί τη θερμότητα που αναπτύσσεται εξαιτίας τριβής και προστατεύει τις μεταλλικές επιφάνειες από τις διαβρώσεις. Είναι ευνόητο ότι η μείωση του συντελεστή τριβής έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των αντιστάσεων, την αύξηση του μηχανικού βαθμού απόδοσης και τη μείωση των φθορών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των τριβόμενων επιφανειών ονομάζονται λιπαντικά. Η σωστή λίπανση των διαφόρων μηχανών, που αποβλέπει στη ελαχιστοποίηση του συντελεστή τριβής με την παρεμβολή λιπαντικού, εξασφαλίζει:

- Ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία του μηχανήματος
- Μειωμένο κόστος συντήρησης, επισκευών και ανταλλακτικών
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του μηχανήματος
- Εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας περιορισμού των απωλειών από τριβές

Σήμερα μέσα στον όρο λιπαντικά αναφέρονται και υλικά που δεν επιτελούν λίπανση με την παραπάνω έννοια. Τέτοια είναι τα "λιπαντικά" μεταφοράς θερμότητας, τα διηλεκτρικά, τα λάδια διεργασιών κ.λ.π.

Η σημασία της λίπανσης έχει ενισχυθεί τα τελευταία χρόνια που η εφαρμογή πιο σύγχρονων τεχνολογιών στην κατασκευή μηχανημάτων, έχει δώσει στη χρήση μηχανήματα πολύ υψηλής απόδοσης. Οι πολύπλοκες και απαιτητικές αυτές κατασκευές λειτουργούν σε συνθήκες πολύ υψηλότερης φόρτισης και καταπονήσεων. Η εξέλιξη αυτή απαιτεί για την λίπανση αυτών των μηχανημάτων λιπαντικά ανάλογα υψηλής τεχνολογίας.

Ένα λιπαντικό και ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται, πρέπει να έχει μερικές από τις παρακάτω ιδιότητες:

- Να μειώνει τον συντελεστή τριβής
- Να αντιστέκεται στην οξείδωση
- Να απορροφά τους κραδασμούς
- Να προστατεύει από τις χαμηλές και τις υψηλές θερμοκρασίες
- Να λειτουργεί ως μέσο μετάδοσης ενέργειας
- Να στεγανοποιεί τα εφραπτόμενα κινούμενα μέρη της μηχανής
- Να αφαιρεί τα κατάλοιπα της καύσης
- Να προσφέρει ηλεκτρική μόνωση

9-2 Είδη Λιπαντικών

Τα λιπαντικά διακρίνονται στα παρακάτω είδη:

• Αέρια Λιπαντικά

Πρακτικά χρησιμοποιείται μόνο ο αέρας όπου έχουμε μικρά φορτία και πολύ υψηλό αριθμό στροφών (π.χ. πολύστροφα κοπτικά μηχανήματα, κυκλοφορητές αερίων, δυναμόμετρα, αεροστρόβιλοι) και στις περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών όπου τα συνήθη λιπαντικά διασπώνται ή όπου πρέπει να αποφεύγεται η επαφή τους με την ύλη που κατεργάζεται.

• Υγρά Λιπαντικά

Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται υλικά από υδροποιημένα αέρια μέχρι συνθετικά παρασκευαζόμενα υγρά. Τα συνηθέστερα υγρά λιπαντικά είναι τα εξής:

α. *Νερό*. Παρουσιάζει μικρή λιπαντική ικανότητα αλλά μεγάλη ψυκτική ικανότητα και έχει μεγάλη σταθερότητα στις συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος (πάνω φυσικά από 0 °C). Παρουσιάζει πρόβλημα στην χρήση του επειδή διαβρώνει τις μεταλλικές επιφάνειες.

β. *Ορυκτέλαια*. Είναι μίγμα υδρογονανθράκων που περιέχουν σε διάλυση

μικρές ποσότητες στερεών ή υγρών συστατικών, τα λεγόμενα βελτιωτικά πρόσθετα, με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων του λιπαντικού, ή την δημιουργία νέων ιδιοτήτων. Είναι προϊόντα απόσταξης υπό κενό του αργού πετρελαίου. Συνδυάζουν όλες τις ιδιότητες των λιπαντικών σε ικανοποιητικό βαθμό. Οι ιδιότητες τους ρυθμίζονται κατά την παρασκευή τους με κατάλληλες επεξεργασίες. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ενώ με τα βελτιωτικά πρόσθετα που περιέχουν, αποκτούν καλή συμπεριφορά ως προς τα υλικά για τη λίπανση των οποίων χρησιμοποιούνται.

γ. *Συνθετικά Λιπαντικά*. Πρόκειται για προϊόντα που παρασκευάζονται με χημική σύνθεση, η οποία μπορεί να είναι πολυμερισμός ή αντίδραση δύο ενώσεων, όπως ενός οξέος και αλκοόλης για την παρασκευή εστέρα. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται σταθερή ποιότητα του λιπαντικού και ανεξαρτοποίηση από τις πηγές προμήθειας πρώτων υλικών.

• Ημιστερεά Λιπαντικά

Πρόκειται για ζωικά και φυσικά λίπη και έλαια και σαπωνοποιημένα λίπη (στερεάς ή ημιστερεάς δομής). Κατά τη χρήση τους παίρνουν υγρή μορφή και συμπεριφέρονται ως υγρά. Διακρίνονται για την άριστη λιπαντική τους ικανότητα εξαιτίας του μικρού συντελεστή τριβής. Παρουσιάζουν το μειονέκτημα της αστάθειας και της διαβρωτικότητας εξαιτίας της εύκολης οξειδωσης τους. Για αυτό τον λόγο είναι επιζήμια η παρατεταμένη χρήση τους.

Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα λιπαντικά λίπη (γράσσα): Πρόκειται για κολλοειδή μίγματα ορυκτελαίων που υπό την επίδραση στερεοποιητικών ουσιών (παχυντών) μετατρέπονται σε μάζα στερεής ή ημιστερεής κατάστασης. Για την παρασκευή του πήγματος χρησιμοποιούνται συνήθως σάπωνες ανώτερων λιπαρών οξέων, ανόργανα μέσα και πολυμερή. Τα περισσότερα λιπαντικά λίπη παράγονται από σάπωνες ασβεστίου, νατρίου, αργιλίου, λιθίου, βαρίου, καλίου και μολύβδου.

• Στερεά Λιπαντικά

Τα στερεά λιπαντικά δεν τήκονται κατά τη χρήση τους και δρουν ως ένα στερεό στρώμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των μεταλλικών επιφανειών που κινούνται. Η λιπαντική τους ικανότητα οφείλεται στο στρωματικό πλέγμα της δομής τους, επειδή τα διάφορα στρώματα αποσχιζόμενα ολισθαίνουν με μικρό συντελεστή τριβής. Συνήθη στερεά λιπαντικά είναι τα εξής: γραφίτης, διθειούχο μολυβδαίνιο, οξείδια του μολύβδου, μίκα, ταλκ, άσβεστος, πλαστικά κ.λ.π.

9-3 Ορυκτέλαια

Τα ορυκτέλαια (mineral oils) οφείλουν το όνομα τους στο αργό πετρέλαιο, από το οποίο προέρχονται. Παρασκευάζονται με απόσταξη υπό κενό του υπολείμματος της ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου. Τα πλευρικά προϊόντα της απόσταξης υπό κενό, υφίστανται κατάλληλες επεξεργασίες για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους και αποτελούν τα βασικά έλαια από τα οποία παρασκευάζονται με κατάλληλη ανάμιξη τα ορυκτέλαια. Ο καλύτερη κατηγορία αργού πετρελαίου για την παραγωγή λιπαντικών είναι τα πετρέλαια παραφινικής βάσης και ακολουθούν τα πετρέλαια ναφθενικής βάσης. Τα παραφινικής βάσης ορυκτέλαια έχουν εξαιρετική αντίσταση στην οξείδωση, πολύ χαμηλές μεταβολές στο ιξώδες, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και υπάρχει ελαχιστοποίηση των επικαθήσεων και της λάσπης. Τα ναφθενικής βάσης λάδια έχουν υψηλότερο ειδικό βάρος, μικρότερο σημείο ανάφλεξης και χαμηλότερο Δείκτη Ιξώδους από τα παραφινέλαια.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Διακρίνονται δύο κατηγορίες βασικών λαδιών, ανάλογα με την προσέλευση τους. Συγκεκριμένα έχουμε βασικά λάδια από:

- α) Πρωτογενή απόσταξη αργού πετρελαίου
- β) Αναγέννηση ή επαναδιύλιση χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων από κατάλληλη επεξεργασία

Τα πρωτογενή βασικά λάδια προκύπτουν από:

- Κλάσματα της απόσταξης υπό κενό του υπολείμματος της ατμοσφαιρικής απόσταξης (natural stocks)
- Εξευγενισμό υπολειμμάτων, οπότε λαμβάνονται διαυγή λάδια (bright stocks)
- Ανάμιξη των κλασμάτων απόσταξης υπό κενό με διαυγή λάδια

Η πρωτογενή απόσταξη του αργού πετρελαίου και η απόσταξη υπό κενό έχουν αναπτυχθεί στο Κεφ.2.

Τα χρησιμοποιημένα και αλλοιωμένα λάδια ξαναχρησιμοποιούνται, αφού πρώτα καθαριστούν και επαναδιυλιστούν, με αναθέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες, για να ανακτήσουν τα αρχικά τους χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται με χημικά πρόσθετα ή/και γίνονται μίγματα με καινούργια λάδια (blends).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω η βασική διεργασία παραγωγής πρωτογενών βασικών λαδιών είναι η απόσταξη υπό κενό. Από αυτή τη

διεργασία λαμβάνονται τα πλευρικά κλάσματα τα οποία έχουν κατάλληλη περιοχή απόσταξης και το κατάλληλο ιξώδες για τη χρήση για την οποία προορίζονται. Οι τρεις βασικές ιδιότητες των ορυκτελαίων που ρυθμίζονται στη μονάδα απόσταξης υπό κενό είναι το σημείο ανάφλεξης, το ιξώδες και το χρώμα.

Στη συνέχεια τα πλευρικά κλάσματα της απόσταξης υπό κενό, ανάλογα με τη φύση τους, υφίστανται εκλεκτική εκχύλιση με τους κατάλληλους διαλύτες με σκοπό κάθε φορά την απομάκρυνση των αρωματικών υδρογονανθράκων, που έχουν χαμηλό δείκτη ιξώδους, και τον εξευγενισμό του βασικού λαδιού. Μετά τις εκχυλίσεις παράγονται τα ουδέτερα εξευγενισμένα λάδια (solvent natural stocks) με ιξώδες από 13 μέχρι 500 cSt στους 40 °C.

Για να προκύψουν τα κατάλληλα για χρήση λάδια γίνονται και άλλες κατεργασίες εξευγενισμού οι κυριότερες των οποίων είναι:

- Αποπαραφίνωση. Με την κατεργασία αυτή το λάδι απαλλάσσεται από τις βαριές παραφίνες ώστε να μειωθεί το σημείο ροής.
- Απασφάλτωση. Με την απασφάλτωση απομακρύνεται η άσφαλτος με αποτέλεσμα τη βελτίωση του χρώματος του προϊόντος καθώς και της περιεκτικότητας του σε μέταλλα και ασφαλτένια.
- Υδρογόνωση. Με την διεργασία αυτή γίνονται αντιδράσεις αποθείωσης, απαζώτωσης και υδρογόνωσης με αποτέλεσμα την απόληψη προϊόντος με καλό χρώμα και σταθερότητα.

Ακολουθούν τα τελικά στάδια της παραγωγής των λιπαντικών λαδιών που είναι η ανάμιξη των κατεργασμένων βασικών λαδιών μεταξύ τους για να παραχθεί ένα λάδι με το επιθυμητό ιξώδες και με τις επιθυμητές βασικές ιδιότητες και η ανάμιξη με τα πρόσθετα (τελικό στάδιο).

Τα πρόσθετα είναι οργανικές ή οργανομεταλλικές χημικές ενώσεις, που χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των λαδιών, ενώ παράλληλα προσδίδουν στα τελικά προϊόντα τις ιδιότητες εκείνες και τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την κάθε εφαρμογή τους.

Τα βασικά λάδια (base oil) που παράγονται αποτελούν την κύρια ουσία των ορυκτελαίων (λαδιών) και των λιπών (γράσσων) και διαιρούνται:

- Στα ελαφρά που είναι συνήθως για καύσιμα
- Στα λεπτόρευστα λιπαντέλαια μικρών μηχανημάτων
- Στα κανονικά ορυκτέλαια μηχανών
- Στα βαριά υπολείμματα που έχουν μεγάλο ιξώδες και χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά για οδοντωτούς τροχούς-βαλβολίνες

9-4 Συνθετικά Λιπαντικά

Οι σύγχρονοι κινητήρες λειτουργούν κάτω από πολύ έντονες συνθήκες και δημιουργούν αυξημένες ανάγκες λίπανσης, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με τα συμβατικά λιπαντικά. Η συνεχής μείωση των ορυκτελαίων σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις για υψηλής ποιότητας λιπαντικά (όπως μικρές μεταβολές του ιξώδους και καλές ιδιότητες λίπανσης σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, χημική και θερμική σταθερότητα, αντίσταση στη γήρανση, στην οξείδωση και στην ακτινοβολία) οδήγησε στην ανάπτυξη των συνθετικών λιπαντικών.

Σύμφωνα με τον ορισμό της ASTM τα συνθετικά λάδια (synthetic lubricants) είναι προϊόντα χημικών αντιδράσεων διαφόρων συστατικών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Παρασκευάζονται είτε από επιλεγμένους υδρογονάνθρακες καθορισμένης μοριακής μορφής, είτε με συνδυασμό και σύνθεση μίας ή περισσότερων χημικών ενώσεων, έτσι ώστε η σύσταση του τελικού προϊόντος να είναι δεδομένη. Με αυτό τον τρόπο παρασκευής οι ιδιότητες των συνθετικών λιπαντικών είναι καθορισμένες και μάλιστα αρκετές φορές έχουν ιδιότητες που τα ορυκτέλαια δεν μπορούν να αποκτήσουν, ακόμη και αν ενισχυθούν με πρόσθετα.

Οι κυριότερες κατηγορίες των χημικών ενώσεων από τις οποίες παρασκευάζεται τα συνθετικά λιπαντικά είναι:

- Συνθετικοί Υδρογονάνθρακες (SHF ή SHC). Είναι καθαροί υδρογονάνθρακες, που παρασκευάζονται από παράγωγα του φυσικού πετρελαίου. Οι βασικότεροι τύποι αυτής της κατηγορίας είναι οι πολυαλφαολεφίνες και τα αλκυλοβενζόλια.
- Οργανικοί Εστέρες. Οι οργανικοί εστέρες προκύπτουν από την αντίδραση μιας αλκοόλης και ενός οργανικού οξέος και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ως λιπαντικά αεροπορίας.
- Εστέρες Διβασικών Οξέων και Εστέρες Πολυυδρικής Αλκοόλης.
- Πολυγλυκόλες.
- Φωσφατικοί Εστέρες. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη αντοχή στην ανάφλεξη και χρησιμοποιούνται ως πυρίμαχα υδραυλικά υγρά, σε συστήματα βιομηχανικών και αεροπορικών εφαρμογών.

Το βασικότερο πλεονέκτημα των συνθετικών λιπαντικών έναντι των ορυκτελαίων είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών, εφόσον παρουσιάζουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά ροής στις χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλη σταθερότητα (ανθεκτικότητα στην οξείδωση) στις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης τα συνθετικά λιπαντικά βελτιώνουν την απόδοση του μηχανολογικού εξοπλισμού, συμβάλλουν δηλαδή στην εξοικονόμηση ενέργειας, και έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής,

περίπου τετραπλάσιο των ορυκτελαίων, με αποτέλεσμα να απαιτούνται λιγότερα σταματήματα της μηχανής για συντήρηση, λιγότερες δαπάνες για αγορά λιπαντικού και τελικά μικρότερο κόστος συντήρησης. Ακόμη η μηχανή διατηρείται καθαρότερη και δεν παρουσιάζει φθορές, με αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερες αντικαταστάσεις φθαρμένων ανταλλακτικών. Αυτή ακριβώς η συμπεριφορά των συνθετικών λιπαντικών, παρά την πολύ υψηλότερη αξία τους, τα επέβαλε σε όλες τις ειδικές εφαρμογές π.χ. αεροπορία αλλά και επεκτείνει καθημερινά τη χρήση τους σε πολλούς τομείς (αυτοκίνητα, βιομηχανία, ναυτιλία).

Οι ιδιότητες των συνθετικών λιπαντικών βελτιώνονται με τη χρήση πρόσθετων. Ειδικοί τύποι πρόσθετων αναπτύχθηκαν έτσι ώστε να επηρεάζουν την συμπεριφορά των συνθετικών λιπαντικών. Επίσης είναι δυνατή η ανάμιξη, κατά την παραγωγή, ενός συνθετικού λιπαντικού και ενός ορυκτελαίου. Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται ως συνθετικό λιπαντικό αν η περιεκτικότητά του σε ορυκτέλαιο είναι κάτω από 14%.

Εκτός από αυτά που προαναφέρθηκαν, άλλα πλεονεκτήματα των συνθετικών λιπαντικών σε σχέση με τα ορυκτέλαια είναι:

- Χαμηλό Σημείο Ροής
- Υψηλός Δείκτης Ιξώδους
- Χαμηλότερη Τάση Ατμών
- Υψηλότερο Σημείο Ανάφλεξης

Επίσης παρασκευάζονται και τα ημισυνθετικά λιπαντικά. Τα ημισυνθετικά λιπαντικά είναι κυρίως παραφινικής βάσης ορυκτέλαια που σε συνδυασμό με τα επιπλέον βήματα που ακολουθούνται στην αρχική επεξεργασία και τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται, έχουν χημική σύνθεση σχεδόν όμοια με αυτήν των συνθετικών λιπαντικών. Τα ημισυνθετικά λάδια χρησιμοποιούνται σε κάθε τύπο κινητήρα, μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου και λαδιού και έχουν εξαιρετική συμπεριφορά σε ψυχρά κλίμακα.

9-5 Λιπαντικά Λίπη (Γράσσα)

Σύμφωνα με την ASTM ως λιπαντικό λίπος ή γράσσο ορίζεται ένα στερεό ή ημίρευστο προϊόν που προέρχεται από τη διασπορά ενός παχυντή μέσα σε ένα υγρό λιπαντικό. Στο προϊόν αυτό μπορεί να περιέχονται και άλλα συστατικά, που ονομάζονται πρόσθετα ή βελτιωτικά, τα οποία του προσδίδουν ιδιαίτερες ιδιότητες.

Το γράσσο μπορούμε να το θεωρήσουμε ως ένα μηχανισμό λίπανσης, το κύριο σώμα του οποίου είναι ένας "κλωβός" με μορφή σπόγγου που σχηματίζεται από τις ίνες του παχυντή. Ο "κλωβός" εγκλωβίζει και συγκρατεί το υγρό λιπαντικό που λιπαίνει τις συνεργαζόμενες επιφάνειες. Η αποστολή

λοιπόν του παχυντή είναι η διατήρηση μίας σταθερής και διαπερατής κατασκευής που λειτουργεί ως δεξαμενή του υγρού λιπαντικού. Έτσι ο παχυντής επιτρέπει τη ροή του υγρού λιπαντικού προς τις κρίσιμες περιοχές όταν ενεργούν φορτία και την επαναπορρόφηση του στη κατάσταση ηρεμίας. Κατά συνέπεια είναι ευνόητο ότι η λίπανση με γράσσο επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με το υγρό λιπαντικό που περιέχεται στον παχυντή. Ανάλογα με τη περίπτωση το 70-95% των γράσσων αποτελείται από το υγρό λιπαντικό και τα πρόσθετα, ενώ το 5-30% από το παχυντή. Το υγρό λιπαντικό των γράσσων, του οποίου η ποιότητα και η ρευστότητα επηρεάζει άμεσα τις λιπαντικές και μηχανικές ιδιότητες των γράσσων, μπορεί να είναι:

- Ορυκτέλαιο. Στα γράσσα χρησιμοποιούνται ορυκτέλαια παραφινικής ή ναφθενικής βάσης. Τα πρώτα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην οξείδωση ενώ τα δεύτερα παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά στις χαμηλές θερμοκρασίες.
- Συνθετικό λάδι. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι συνθετικών λαδιών που χρησιμοποιούνται στη παραγωγή των γράσσων είναι οι πολυαλφαολεφίνες, οι φωσφορικοί εστέρες και οι πολυγλυκόλες. Τα γράσσα από πολυαλφαολεφίνες χαρακτηρίζονται για την εξαιρετική τους συμπεριφορά στις χαμηλές θερμοκρασίες, την αντοχή τους στις υψηλές θερμοκρασίες και τη μακροβιότητα τους σε πολύ δυσμενείς συνθήκες. Τα γράσσα από φωσφορικούς εστέρες χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Τέλος τα γράσσα από πολυγλυκόλες παρουσιάζουν αυξημένη αντιτριβική προστασία και υψηλό Δείκτη Ιξώδους.

Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται γράσσα από ορυκτέλαια γιατί συνδυάζουν πολύ καλή ποιότητα σε λογική τιμή. Σε όσες περιπτώσεις έχουμε ακραίες θερμοκρασίες (π.χ. αεροπορικές εφαρμογές με θερμοκρασίες λειτουργίας από -70 μέχρι 200 °C) χρησιμοποιούνται γράσσα από συνθετικά λιπαντικά που έχουν όμως πολύ μεγαλύτερο κόστος.

Ο παχυντής δίνει στα γράσσα την υφή τους καθώς και άλλες ιδιότητες όπως η αντοχή στο νερό, η συνεκτικότητα κ.λ.π. Για τη παραγωγή των γράσσων χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες παχυντών:

- *Οργανικοί Παχυντές (Σάπωνες)*. Είναι οργανομεταλλικές ενώσεις που προκύπτουν από τη χημική αντίδραση λιπαρών οξέων (προερχομένων από φυτικά ή ζωικά) και μεταλλικής βάσης. Το ή τα μέταλλα που περιέχονται στους σάπωνες είναι καθοριστικά για τη συμπεριφορά του γράσσου, για αυτό και τα γράσσα χαρακτηρίζονται από τα μέταλλα του

σάπωνα που χρησιμοποιείται ως παχυντής (π.χ. γράσσα λιθίου, ασβεστίου, νατρίου κ.λ.π.). Αξίζει να σημειωθεί ότι το 99% των γράσσων που χρησιμοποιούνται σήμερα παρασκευάζονται από σάπωνες.

- *Ανόργανοι Παχυντές*. Είναι ανόργανες ενώσεις αργλικής (μπεντονίτες, μοντοριλλονίτες) ή πυριτικής σύστασης (Silica Aerogel), οι οποίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε εφαρμογές που τα συμβατικά γράσσα δεν μπορούν να καλύψουν (π.χ. πολύ υψηλές θερμοκρασίες). Έχουν μέτρια ρεολογική συμπεριφορά, πολύ υψηλό σημείο στάξης, σημαντικό κόστος και όταν καίγονται αφήνουν 6-12% στάχτη.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ

Η παρασκευή των γράσσων ακολουθεί κατά κανόνα ασυνεχή μέθοδο και πρακτικά δεν είναι τίποτε άλλο παρά η διαδικασία διασκορπισμού του παχυντή μέσα στο υγρό λιπαντικό και η προσθήκη των βελτιωτικών. Σε ορισμένες περιπτώσεις η εταιρεία παρασκευής προμηθεύεται το παχυντή έτοιμο και το προσθέτει στο λάδι για να φτιάξει το γράσσο. Στις περισσότερες όμως εγκαταστάσεις παρασκευής γράσσων και ειδικά για τα γράσσα με οργανικούς παχυντές, η διαδικασία περιλαμβάνει και τη παρασκευή του παχυντή.

Σε γενικές γραμμές η πλήρης διαδικασία παρασκευής ενός γράσσου περιλαμβάνει πέντε στάδια:

- Σαπωνοποίηση. Γίνεται σε αυτόκλειστα δοχεία όπου σε ένα μέρος από την απαιτούμενη ποσότητα λαδιού διαλύονται τα λιπαρά οξέα και στη συνέχεια προστίθεται η μεταλλική βάση.
- Διασπορά - Ξήρανση. Γίνεται σε ένα δοχείο με ισχυρή θέρμανση και ταυτόχρονη προσθήκη λαδιού, η οποία συνεχίζεται μέχρι το προϊόν να αποκτήσει τις απαιτούμενες ρεολογικές ιδιότητες.
- Ψύξη - Ομογενοποίηση - Προσθήκη Βελτιωτικών. Προσθέτοντας τα διάφορα βελτιωτικά γίνεται αργή ανάδευση και ο ρυθμός ψύξης εξαρτάται από το τύπο και τη ποιότητα του γράσσου.
- Απαέρωση. Απομακρύνεται ο αέρας που ενδεχόμενα έχει εγκλειστεί στο γράσσο.
- Φιλτράρισμα. Γίνεται πριν από τη συσκευασία για να κατακρατηθούν τα ξένα σώματα που έχουν αναμιχθεί με το γράσσο κατά τη διαδικασία παραγωγής.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα γράσσα είναι τα ακόλουθα:

- Να εξασφαλίζουν τη λίπανση έτσι ώστε να προστατεύονται από τη φθορά οι τριβόμενες επιφάνειες
- Να προστατεύουν τις τριβόμενες επιφάνειες από την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος (υγρασία, σκόνη κ.λ.π.)
- Να εμφανίζουν αντοχή στις θερμικές και στις μηχανικές καταπονήσεις (τοπικές υπερφορτίσεις, απότομες αλλαγές ταχύτητας κ.λ.π.)
- Να μην οξειδώνονται
- Να εξασφαλίζουν τη στεγανοποίηση του συστήματος
- Να διατηρούν για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τις αρχικές τους ιδιότητες
- Να μην μεταβάλλονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά με τη παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων νερού
- Να μεταφέρονται με πίεση σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να μεταβάλλονται οι αρχικές τους ιδιότητες (κεντρικό σύστημα λίπανσης)
- Να διατηρούν τη συνεκτικότητα τους σχεδόν αμετάβλητη στις χαμηλές θερμοκρασίες

Στις διάφορες ειδικές περιπτώσεις τα γράσσα πρέπει να έχουν και άλλα επιπλέον χαρακτηριστικά, όπως το να αντέχουν στην ακτινοβολία, να μην εκτινάζονται, να μη διαλύονται από τα πετρελαιοειδή (αντλίες στις εγκαταστάσεις χημικών και πετρελαιοειδών) κ.λ.π.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ

Τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα των γράσσων σε σχέση με τα λάδια είναι τα παρακάτω:

- Τα συστήματα και οι συσκευές γρασσαρίσματος είναι πολύ απλούστερες και φθηνότερες
- Παρέχουν πολύ καλή προστασία σε μηχανισμούς που λειτουργούν σε υγρασία και σκόνη
- Χρησιμοποιούνται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, σε συστήματα που λειτουργούν μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς συντήρηση και σε περιπτώσεις που έχουμε μικρή ταχύτητα σε συνδυασμό με πολύ υψηλό φορτίο

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ

Τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα των γράσσων σε σχέση με τα λάδια είναι τα ακόλουθα:

- Επειδή έχουν πολύ μικρή ικανότητα ροής παρουσιάζουν μειωμένη δυνατότητα απαγωγής της θερμότητας από το σύστημα
- Για τον ίδιο ακριβώς λόγο αδυνατούν να απομακρύνουν τα ξένα σώματα που μολύνουν το σύστημα
- Παρουσιάζουν αλλαγή της δομής τους (γίνονται μαλακότερα ή σκληρότερα) με το χρόνο

ΕΙΔΗ ΓΡΑΣΣΩΝ εστώς ύλης αλλά κρίσιμο

Τα γράσσα χαρακτηρίζονται από το μέταλλο του σάπωνα που χρησιμοποιείται ως παχυντής. Τα κυριότερα είδη των γράσσων είναι τα ακόλουθα:

- Γράσσα Ασβεστίου (Ca). Έχουν μαλακή και βουτυρώδη υφή, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με θερμοκρασία λειτουργίας 50-60 °C, πρέπει να συμπληρώνονται ή να αλλάζουν συχνά γιατί η δομή τους δεν είναι πολύ σταθερή, έχουν κακή αντλησιμότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες και καλή λιπαντική ικανότητα σε υγρό περιβάλλον. Είναι κατάλληλα στα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), στα έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα), στις αρθρώσεις, στα πλαίσια αυτοκινήτων κ.λ.π.
- Γράσσα Νατρίου (Na). Έχουν ινώδη μορφή, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 110 °C, έχουν μέτρια αντλησιμότητα, καλή λιπαντική ικανότητα σε υγρό περιβάλλον και πολύ καλή συμπεριφορά στη προστασία κατά της οξείδωσης και της σκουριάς. Είναι κατάλληλα στα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), στα έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα), στις αρθρώσεις κ.λ.π.
- Γράσσα Αργιλίου (Al). Έχουν απαλή και κολλώδη υφή, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με θερμοκρασία λειτουργίας 80-85 °C, έχουν κακή αντλησιμότητα, πολύ υψηλό κόστος παραγωγής, πολύ καλή λιπαντική ικανότητα σε υγρό περιβάλλον και πολύ καλή πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες. Είναι κατάλληλα στους οδοντωτούς τροχούς, στις αλυσίδες, στις αρθρώσεις, στα συρματόσχοινα κ.λ.π.
- Γράσσα Λιθίου (Li). Έχουν βουτυρώδη υφή, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 120 °C, έχουν πολύ καλή

αντλησιμότητα, σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής, πολύ καλή λιπαντική ικανότητα σε υγρό περιβάλλον, εξαιρετική συμπεριφορά σε εφαρμογές με μεγάλα φορτία και πολύ ικανοποιητική μηχανική σταθερότητα. Οι πολύ καλές τους ιδιότητες τα έχουν επιβάλλει στις περισσότερες εφαρμογές και έτσι κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας αγοράς. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται μεικτοί σάπωνες Li-Ca και Li-Na για τη βελτίωση της απόπλυσης από το νερό και της ρεολογίας του γράσσου, ενώ ορισμένες φορές προσθέτονται και σάπωνες μολύβδου για την ενίσχυση του γράσσου κατά της φθοράς. Τα γράσσα Li είναι κατάλληλα στα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), στα έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα), στις αρθρώσεις κ.λ.π. Τα γράσσα Li-Ca είναι επί πλέον κατάλληλα στους οδοντωτούς τροχούς, στις αλυσίδες, στις αρθρώσεις, στα πλαίσια αυτοκινήτων κ.λ.π.

- Γράσσα Βαρίου (Ba). Έχουν ινώδη μορφή, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 130 °C, έχουν καλή αντοχή στην απόπλυση από νερό, καλές μηχανικές ιδιότητες και σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής. Είναι κατάλληλα στα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), στα έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα), στις αρθρώσεις, στα έλαστρα κ.λ.π.
- Γράσσα Σύμπλοκου Σάπωνα. Ο σύμπλοκος σάπωνας προέρχεται από το συνδυασμό ενός απλού σάπωνα κι ενός άλατος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός παχυντή με ινώδη μορφή και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Τα γράσσα αυτά χαρακτηρίζονται από συνδυασμούς ιδιοτήτων που δεν μπορούν να βρεθούν στα γράσσα απλού ή μικτού σάπωνα. Τα πιο συνηθισμένα είναι:
 - α. Σύμπλοκα γράσσα ασβεστίου (με άλατα Ca)
 - β. Σύμπλοκα γράσσα λιθίου (με άλατα Li)
 - γ. Σύμπλοκα γράσσα αργιλίου (με άλατα Al)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΣΣΩΝ

Τα γράσσα έχουν την ιδιότητα να συμπεριφέρονται ως στερεά σώματα μέχρις ότου υποβληθούν σε διατμητικές τάσεις και στη συνέχεια να συμπεριφέρονται ως ρευστά. Τότε το ιξώδες τους είναι παραπλήσιο με το ιξώδες του υγρού λιπαντικού (ορυκτελαίου ή συνθετικού λαδιού) από το οποίο έχουν σχηματιστεί.

Σε γενικές γραμμές τα γράσσα χρησιμοποιούνται στις παρακάτω εφαρμογές:

- Σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας που αποκλείουν τη χρήση των ορυκτελαίων
- Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες σε συνδυασμό με υψηλά φορτία

- Σε μηχανισμούς που λειτουργούν σε υγρασία και σκόνη
- Σε σημεία λίπανσης που είναι δύσκολα προσιτά, οπότε η συχνή αναλίπανση δημιουργεί προβλήματα
- Όταν δεν είναι δυνατή η απόλυτη στεγανοποίηση του συστήματος, με αποτέλεσμα να έχουμε παρουσία νερού ή σκόνης (ανοικτοί οδοντωτοί τροχοί, εξωτερικοί χώροι κ.λ.π.)

9-6 Συνθήκες και Μηχανισμοί Λίπανσης

Η λίπανση επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μιας λιπαντικής μεμβράνης, πολύ μικρού πάχους, μεταξύ των δύο στερεών επιφανειών, που βρίσκονται σε επαφή και κινούνται με διαφορετική ταχύτητα, με σκοπό το τέλειο διαχωρισμό τους. Κάτω από ελαφρά ή μέτρια φορτία και σχετικά υψηλές ταχύτητες, τα υγρά λιπαντικά με το κατάλληλο ιξώδες που είναι το μέτρο αντίστασης κατά της τριβής, προσφέρουν την επιθυμητή αντοχή στη λιπαντική μεμβράνη. Στην περίπτωση που έλθει σε επαφή μέταλλο με μέταλλο δημιουργούνται εκδορές, ρωγμές, φθορά, τριβή και αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία.

Ανάλογα με το πάχος του στρώματος του λιπαντικού, που σημαίνει το είδος της λιπαντικής μεμβράνης, διακρίνουμε τα παρακάτω είδη λίπανσης:

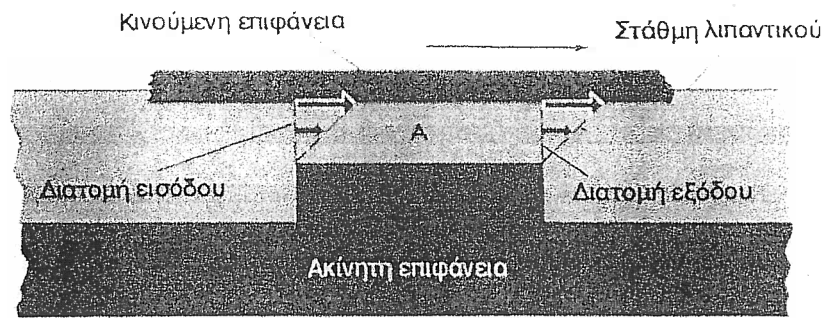
• Υδροδυναμική Λίπανση

Στην υδροδυναμική λίπανση το λάδι παρεμβάλλεται με πίεση που αποκτάται υδροδυναμικά μεταξύ των επιφανειών τριβής, και που οφείλεται στην αντίσταση ροής που προβάλλει το λιπαντικό, με αποτέλεσμα να αποχωρίζεται η μια επιφάνεια από την άλλη. Στην περίπτωση αυτή μειώνεται ο συντελεστής τριβής σε 0,001-0,03.

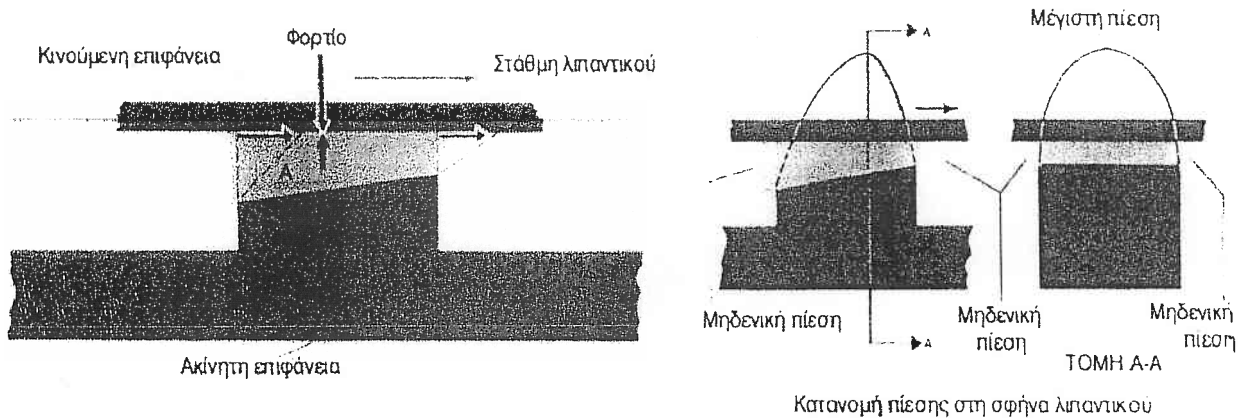
Η λιπαντική μεμβράνη που έχει αρκετό πάχος σχηματίζεται από τη κίνηση της μιας από τις δύο επιφάνειες που λιπαίνονται, κατά τη διάρκεια της οποίας παραμένουν διαχωρισμένες.

Στο Σχ. 9-2 θεωρούμε δύο παράλληλες επιφάνειες η μία από τις οποίες είναι ακίνητη. Παρατηρούμε ότι η ποσότητα του λιπαντικού που εισέρχεται μεταξύ των επιφανειών είναι ίση με αυτή που εξέρχεται. Έτσι η πίεση του λιπαντικού είναι ίση σε όλα τα σημεία της ροής του και επειδή είναι συνήθως μικρή, το σύστημα αυτό δεν μπορεί να δεχθεί μεγάλα φορτία.

Στη περίπτωση του Σχ. 9-3 που οι δύο επιφάνειες δεν είναι παράλληλες και η μία από αυτές είναι ακίνητη, παρατηρούμε ότι η ροή του λιπαντικού εμποδίζεται στην έξοδο, επειδή στο σημείο εκείνο η διατομή είναι μικρότερη.



Σχ. 9-2 Υδροδυναμική Λίπανση με Παράλληλες Επιφάνειες

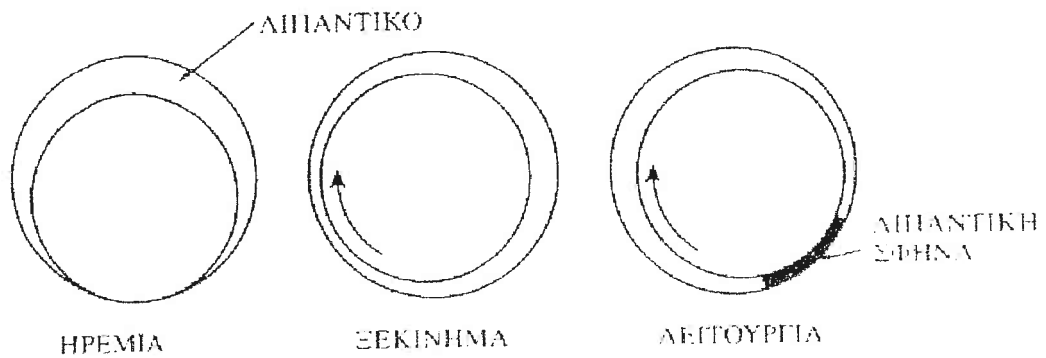


Σχ. 9-3 Υδροδυναμική Λίπανση σε Μη Παράλληλες Επιφάνειες

Με τη κίνηση της επάνω επιφάνειας όλο και περισσότερο λιπαντικό υποχρεώνεται να περάσει από τη διατομή της εισόδου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνέχεια η πίεση του λιπαντικού στην έξοδο. Έτσι η λιπαντική σφήνα που δημιουργείται μπορεί να δεχθεί μεγάλα φορτία διαχωρίζοντας τις επιφάνειες.

Η υδροδυναμική λίπανση παρατηρείται στα εγκάρσια έδρανα ολίσθησης και στα υδροδυναμικά αξονικά έδρανα ολίσθησης (βλ. Σχ. 9-4). Στα αξονικά έδρανα η επιφάνεια του τριβέα είναι κατάλληλα διαμορφωμένη, έτσι ώστε σε συνδυασμό με τη μετωπική επιφάνεια του στροφέα, να σχηματίζονται διάκενα που επιτρέπουν τη δημιουργία σφήνας λιπαντικού.

Η διαμόρφωση της επιφάνειας του τριβέα γίνεται με κινητά πλακίδια διατεταγμένα σε όλη την επιφάνεια ή με τη δημιουργία σφηνοειδών διακένων.

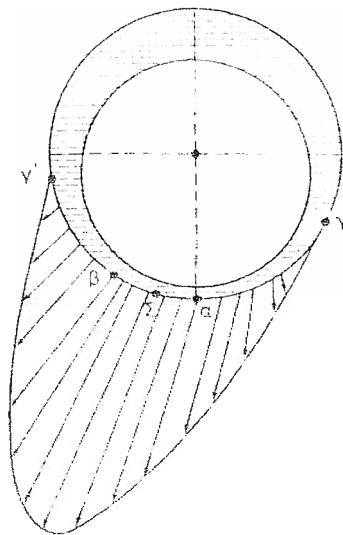


Σχ. 9-4 Υδροδυναμική Λίπανση Εδράνων

– Κατανομή των Πίεσεων

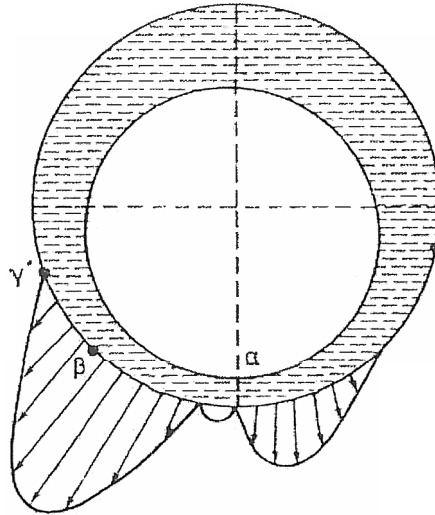
Η κατανομή των πιέσεων κατά μήκος της επιφάνειας ενός τριβέα φαίνεται στο πολικό διάγραμμα πιέσεων του Σχ. 9-5.

Η μέγιστη τιμή των πιέσεων αντιστοιχεί στο σημείο Σ , που βρίσκεται μεταξύ του σημείου α , όπου επενεργεί το φορτίο του άξονα και του σημείου β , όπου το στρώμα του λαδιού έχει το μικρότερο πάχος του. Και από τις δύο πλευρές του σημείου οι πιέσεις ελαττώνονται και μηδενίζονται στα σημεία γ και γ' .



Σχ. 9-5 Πολικό Διάγραμμα Πίεσεων σε ένα Τριβέα

Το πολικό διάγραμμα των πιέσεων σε τριβείς που φέρουν αύλακες έχει τη μορφή του Σχ. 9-6. Η πίεση κοντά στα σημεία που υπάρχει αυλάκι σχεδόν μηδενίζεται, ενώ η ολική πίεση γενικά είναι μικρότερη. Αυτό έχει ως συνέπεια να ελαττώνεται η ικανότητα του τριβέα να δέχεται ορισμένο φορτίο. Επομένως με τις αύλακες, που φέρουν οι τριβείς διανέμεται καλύτερα το λιπαντικό σε όλο το μήκος του τριβέα, δεν θα πρέπει όμως οι αύλακες να βρίσκονται στο τμήμα του τριβέα που δέχεται φορτίο.



Σχ. 9-6 Πολικό Διάγραμμα Πιέσεων σε ένα Τριβέα με Αύλακες

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μεταξύ του στροφέα και του τριβέα απαιτείται η ύπαρξη ορισμένων ελευθεριών, που θα επιτρέψουν το σχηματισμό της λιπαντικής σφήνας, που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία της πίεσης του στρώματος του λιπαντικού. Οι τιμές της ελευθερίας για κάθε τριβέα, καθώς και τα όρια στα οποία πρέπει να κυμαίνεται, καθορίζονται από τους κατασκευαστές και αναγράφονται στα εγχειρίδια των μηχανών. Οι τιμές αυτές πρέπει να τηρούνται από τους μηχανικούς γιατί ελευθερία μικρότερη από την κανονική παρεμποδίζει την υδροδυναμική λίπανση, και μεγαλύτερη από την κανονική προκαλεί κραδασμούς και μειώνει την πίεση του λαδιού.

• Υδροστατική Λίπανση

Στην υδροστατική πίεση το λιπαντικό προσάγεται με πίεση από το εξωτερικό σύστημα με μια αντλία στα σημεία που χρειάζεται, με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαία η σχετική κίνηση των επιφανειών που λιπαίνονται για την διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης.

Το σύστημα τροφοδοτεί συνεχώς τα σημεία λίπανσης με κατάλληλη ποσότητα (πίεση) λιπαντικού, ώστε οι δύο επιφάνειες να παραμένουν διαρκώς διαχωρισμένες.

Η υδροστατική λίπανση παρατηρείται στα κεντρικά συστήματα μεγάλων εδράνων, στροβιλομηχανών, τυμπάνων κ.λ.π.

• Οριακή Λίπανση

Η οριακή λίπανση χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό πάχος λιπαντικής μεμβράνης και οφείλεται κυρίως στο ότι οι φαινομενικά λείες επιφάνειες των μετάλλων παρουσιάζουν πάντοτε μικρές ανωμαλίες. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, δηλαδή στο ξεκίνημα ή στο σταμάτημα της μηχανής. Τότε η λιπαντική μεμβράνη γίνεται λεπτή έχοντας πάχος μόνο μερικά μόρια οδηγείται στην καταστροφή και δεν επιτρέπει το μόνιμο διαχωρισμό μεταξύ των τριβομένων επιφανειών, με αποτέλεσμα οι ανωμαλίες των μεταλλικών επιφανειών να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους σε μερικά σημεία.

Επειδή ο συνδυασμός υψηλής πίεσης και χαμηλής ταχύτητας προκαλεί μεγάλες τοπικές θερμοκρασίες στις τριβόμενες επιφάνειες και καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης, η υφή του λιπαντικού έχει τεράστια σημασία στη περίπτωση της οριακής λίπανσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα τα οποία σχηματίζουν στρώματα μεγάλης ανθεκτικότητας επάνω στην επιφάνεια των μετάλλων, ικανά να αντισταθούν στις υψηλές θερμοκρασίες και στα μεγάλα μηχανικά φορτία. Τα πρόσθετα που ονομάζονται συνήθως πρόσθετα υψηλών πιέσεων, είναι οργανικές ενώσεις με ενεργά συστατικά (θείο, χλώριο ή φώσφορο), οι οποίες αντιδρώντας με τις μεταλλικές επιφάνειες σχηματίζουν ανόργανα στρώματα (σουλφίδια, χλωρίδια ή φωσφίδια).

Η οριακή λίπανση έχει συντελεστή τριβής 0,05-0,15 και παρατηρείται στα εγκάρσια έδρανα ολίσθησης (ξεκίνημα - σταμάτημα), στις γλίστρες, στους οδηγούς και στα έδρανα των εργαλειομηχανών.

• Ελαστοϋδροδυναμική Λίπανση (Λίπανση Υψηλής Πίεσης)

Η ελαστοϋδροδυναμική λίπανση αποτελεί μία ενδιάμεση περίπτωση ανάμεσα στα προηγούμενα είδη λίπανσης (υδροδυναμική-οριακή) και είναι το είδος της λίπανσης που αφορά στα ρουλεμάν, στα γρανάζια και στα έκκεντρα. Στην ελαστοϋδροδυναμική λίπανση στοιχειώδης ποσότητα λιπαντικού εγκλωβίζεται στα σημεία επαφής κύλισης των ρουλεμάν ή στις γραμμές/καμπύλες επαφής γραναζιών δημιουργώντας ένα ελάχιστο πάχος λιπαντικής μεμβράνης.

Υπό την επενέργεια φορτίων οι επιφάνειες των στοιχείων ή γραναζιών στα σημεία επαφής παραμορφώνονται ελαστικά δημιουργώντας στοιχειώδης επιφάνειες. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των επιφανειών είναι πολύ μεγάλες με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ιξώδες του λιπαντικού και δεδομένου ότι το λιπαντικό ως υγρό είναι ασυμπίεστο, η λιπαντική μεμβράνη παραμένει μεταξύ των δύο επιφανειών κρατώντας τις διαχωρισμένες.

Έτσι η συνδυασμένη επίδραση της ελαστικότητας των επιφανειών και η αύξηση του ιξώδους του λιπαντικού υπό την επίδραση της πίεσης δίδουν ένα κτυπητό παράδειγμα συνεργασίας που οδηγεί στην αποκόλληση των συνεργαζομένων επιφανειών με τη δημιουργία της ελαστοϋδροδυναμικής λιπαντικής μεμβράνης.

9-8 Παράγοντες που Επιδρούν στη Λίπανση

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που επιδρούν στη λίπανση είναι:

- **Θερμοκρασία.** Η θερμοκρασία επιδρά άμεσα στις ιδιότητες του λιπαντικού και κυρίως στο ιξώδες, που είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό του. Με την θέρμανση το ιξώδες ελαττώνεται και πέρα από ένα ορισμένο όριο η ελάττωση του καθιστά την ύπαρξη της λιπαντικής μεμβράνης αμφίβολη.
- **Λιπαρότητα.** Είναι η ιδιότητα που σχετίζεται με την τιμή του συντελεστή τριβής. Μεγάλη λιπαρότητα σημαίνει λιπαντικά με μικρή τιμή συντελεστή τριβής, που έχει ευνοϊκή επίδραση στη λίπανση.
- **Φορτίο του Άξονα.** Επιδρά άμεσα στις συνθήκες λίπανσης των τριβέων, στους οποίους εδράζεται ο άξονας. Υψηλά φορτία ευνοούν την οριακή λίπανση. Για να αποφευχθεί αυτή πρέπει το λιπαντικό να έχει κατάλληλο ιξώδες, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος έκθλιψης της λιπαντικής μεμβράνης εξαιτίας φορτίου. Εκτός από το κατάλληλο ιξώδες στην περίπτωση της οριακής λίπανσης, απαιτείται και ενίσχυση του λιπαντικού με λάδια μεγάλης λιπαρότητας ή με ειδικά πρόσθετα.
- **Ταχύτητα Περιστροφής.** Με μεγάλα φορτία και υψηλές ταχύτητες οδηγούν σε υψηλές πιέσεις στις οποίες για να διατηρηθεί η λιπαντική μεμβράνη απαιτείται και ενίσχυση του λιπαντικού με πρόσθετα υψηλής πίεσης. Αντίθετα, σε χαμηλά φορτία και υψηλές ταχύτητες έχουμε συνήθως υδροστατική λίπανση.

Κεφάλαιο Δέκατο

Ιδιότητες και Ποιοτικός Έλεγχος των Λιπαντικών

10-1 Εισαγωγή

Οι κυριότερες κατηγορίες των ιδιοτήτων των λιπαντικών είναι:

- Λιπαντική Ικανότητα. Περιλαμβάνει το σύνολο των ιδιοτήτων που αναφέρονται στο σχηματισμό και στη διατήρηση παχιάς λιπαντικής μεμβράνης μεταξύ των δύο τριβομένων επιφανειών.
- Ψυκτική Ικανότητα. Αναφέρεται στην ικανότητα του να απαγάγει τη θερμότητα και να παρεμποδίζει την ανύψωση της θερμοκρασίας των τριβομένων επιφανειών.
- Σταθερότητα. Αναφέρεται στη σταθερότητα των ιδιοτήτων του λαδιού στις ξαφνικές μεταβολές των συνθηκών και στην αποφυγή αλλοίωσης της λιπαντικής μεμβράνης.
- Παθητικότητα - Αδράνεια - Μη Διαβρωτικότητα. Αποφυγή δημιουργίας κατά τη χρήση του λαδιού διαβρωτικών ενώσεων ενώ παράλληλα να παρέχει αντιδιαβρωτική προστασία έναντι εξωτερικών συνθηκών.
- Γαλακτωματοποιητικές, Απογαλακτωματοποιητικές, Μονωτικές, Καθαριστικές και Άλλες Ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές είναι ανάλογες με τη χρήση για την οποία προορίζεται το κάθε λιπαντικό.

10-2 Ορυκτέλαια

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες των ορυκτελαίων, που καθορίζονται και ελέγχονται από διεθνείς οργανισμούς πιστοποίησης (ASTM, IP, ISO, SAE) με πρότυπες μεθόδους ελέγχου, είναι οι ακόλουθες:

- Ιξώδες
- Δείκτης Ιξώδους
- Σημείο Θόλωσης - Σημείο Ροής
- Σημείο Ανάφλεξης - Σημείο Καύσης - Σημείο Αυτανάφλεξης
- Χρώμα
- Πυκνότητα
- Αριθμός Εξουδετέρωσης - Οξύτητα - Αλκαλικότητα

- Αντοχή στην Οξείδωση
- Τέφρα
- Αριθμός Απογαλακτωματοποίησης
- Εξανθράκωμα
- Αφρισμός
- Περιεκτικότητα σε Νερό
- Αδιάλυτα Υπολείμματα

• Ιξώδες

Το ιξώδες είναι το μέτρο της εσωτερικής τριβής ενός ρευστού και μας δείχνει την αντίσταση που παρουσιάζει το ρευστό κατά την ροή του. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του ρευστού (παχύρευστο ρευστό), ενώ για μικρό ιξώδες έχουμε μικρή αντίσταση (λεπτόρευστο ρευστό).

Κατά την επιλογή του καταλλήλου λιπαντικού για δεδομένη εφαρμογή, το ιξώδες είναι η ιδιότητα που πρέπει να ληφθεί πρώτη υπόψη. Πρέπει να είναι αρκετά υψηλό για να παρέχει κατάλληλα στρώματα λίπανσης, αλλά όχι τόσο υψηλό ώστε οι απώλειες τριβών στο λιπαντικό να είναι υπερβολικές.

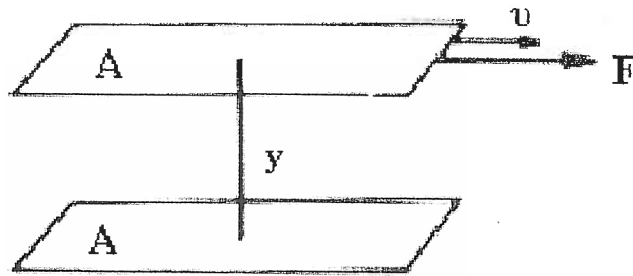
Το ιξώδες αναφέρεται ως απόλυτο ή δυναμικό, μ , και ως κινηματικό, ν . Η σχέση που συνδέει τα δύο ιξώδη μεταξύ τους είναι:

$$\nu = \mu / \rho$$

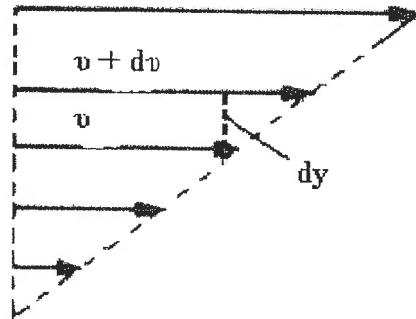
όπου, ρ η πυκνότητα του λιπαντικού.

Το ιξώδες ενός λιπαντικού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και την πίεση. Αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση του ιξώδους (αύξηση της ρευστότητας) ενώ αύξηση της πίεσης οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους (μείωση της ρευστότητας). Αντίθετη είναι η συμπεριφορά των λιπαντικών στις περιπτώσεις μείωσης της θερμοκρασίας και της πίεσης.

Το απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες ενός λιπαντικού ορίζεται ως η τάση απόσχισης ή διατμητική τάση, δηλαδή ως τάση για αποχωρισμό, με ταχύτητα ίση με τη μονάδα, υγρής στιβάδας πάχους ίσης με τη μονάδα. Στον ορισμό αυτό καταλήγουμε, αν θεωρήσουμε δύο παράλληλες επιφάνειες, $A \text{ cm}^2$ η κάθε μια, που απέχουν, $y \text{ cm}$, και ανάμεσα τους να υπάρχει ορυκτέλαιο. Αν όπως φαίνεται στο Σχ. 10-1 εφαρμόσουμε στην επάνω επιφάνεια δύναμη, F , και την κινήσουμε με ταχύτητα, v , προς τη διεύθυνση της δύναμης και σχετικά πάντοτε προς την ακίνητη επιφάνεια, θα έχουμε, όπως φαίνεται στο Σχ. 10-2, κατανομή ταχυτήτων dv/dy από την επάνω προς την ακίνητη κάτω επιφάνεια για τις ενδιάμεσες υγρές στιβάδες. Δηλαδή η ταχύτητα κίνησης αυξάνεται από μηδέν για την ακίνητη κάτω



Σχ. 10-1 Σχηματική Παράσταση της Εσωτερικής Τριβής Υγρού



Σχ. 10-2 Γραμμική Κατανομή Ταχυτήτων, dv/dy , για Στρωτή Ροή

επιφάνεια μέχρι την ανώτερη ταχύτητα της επάνω επιφάνειας. Απαιτείται, βέβαια ένα ποσό ενέργειας για αυτήν την κίνηση, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από της εσωτερική τριβή των απειροελάχιστων λεπτών στιβάδων του ορυκτελαίου που υπάρχει μεταξύ των δύο επιφανειών.

Με τις προϋποθέσεις για στρωτή ροή λιπαντικού, για κίνηση υγρών στιβάδων μόνο προς την διεύθυνση της δύναμης και ότι το λιπαντικό που εφάπτεται στην επάνω επιφάνεια κινείται μαζί της, ενώ το λιπαντικό που εφάπτεται στην κάτω επιφάνεια μένει ακίνητο, μπορούμε να εφαρμόσουμε τη σχέση του Νεύτωνα:

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{v}{y}$$

Από την σχέση αυτή ορίζεται ο συντελεστής, μ , δηλαδή το δυναμικό ή απόλυτο ιξώδες, που είναι η διατμητική τάση ή τάση απόσχισης, F/A , όταν επιφάνεια, A , πάχους ίσου με τη μονάδα κινείται με ταχύτητα, v , ίση με τη μονάδα. Η παραπάνω σχέση του Νεύτωνα παίρνει την διαφορική μορφή:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy}$$

Το μέγεθος, $\tau = F/A$, λέγεται τάση απόσχισης και το μέγεθος, dv/dy , ταχύτητα απόσχισης. Όταν η τάση απόσχισης είναι ανάλογη προς την ταχύτητα απόσχισης, τότε τα υγρά λέγονται "νευτώνεια". Στα "νευτώνεια" υγρά το δυναμικό ιξώδες μεταβάλλεται μόνο με τη θερμοκρασία. Υπάρχουν λιπαντικά λάδια και λίπη, που το ιξώδες τους εξαρτάται και από την τάση απόσχισης που εφαρμόζεται. Αυτά λέγονται "μη νευτώνεια" και λέμε, ότι παρουσιάζουν "πλαστικότητα". Για το ιξώδες τους χρησιμοποιείται ο όρος *φαινόμενο ή φαινομενικό ιξώδες*.

Η μονάδα μέτρησης του απόλυτου ή δυναμικού ιξώδους, μ , προκύπτει από την εξίσωση $\frac{F}{A} = \mu \frac{v}{y}$, αν γραφεί με την παρακάτω μορφή και αντικαταστήσουμε σε αυτήν τις μονάδες του κάθε μεγέθους στο σύστημα C.G.S.

$$\mu = \frac{F y}{A v} = \frac{\text{gr cm cm s}}{\text{s}^2 \text{ cm}^2 \text{ cm}} = \frac{\text{gr}}{\text{cm s}} = \text{poise}$$

Έτσι αν θέσουμε F σε gr cm/s^2 , y σε cm , A σε cm^2 και v σε cm/s προκύπτει ότι η μονάδα μέτρησης του απόλυτου ή δυναμικού ιξώδους, μ , στο σύστημα C.G.S. είναι το poise ($1 \text{ poise} = 1 \text{ gr/cm s}$).

Στην πράξη χρησιμοποιείται συνήθως το centipoise (cP):

$$1 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ poise}$$

Στο Διεθνές Σύστημα S.I. η μονάδα μέτρησης του απόλυτου ή δυναμικού ιξώδους, μ , είναι το pascal επί δευτερόλεπτο ($1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2 = 1 \text{ kg/m s}$). Το poise ισούται με το 1/10 του Pa s.

$$1 \text{ poise} = 0,1 \text{ Pa s}$$

και

$$1 \text{ cP (centipoise)} = 10^{-3} \text{ Pa s}$$

Η μονάδα μέτρησης του κινηματικού ιξώδους, ν , στο σύστημα C.G.S. είναι το stokes ($\nu = \mu/\rho = \text{gr cm}^3 / \text{cm s gr} = \text{cm}^2/\text{s} = \text{stokes}$), και στο σύστημα S.I. τα m^2 ανά δευτερόλεπτο (m^2/s).

$$\left. \begin{array}{l} \\ \text{και} \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} 1 \text{ St (stokes)} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \\ 1 \text{ cSt (centistokes)} = 10^{-2} \text{ St} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{array}$$

Στην περίπτωση μιγμάτων για το υπολογισμό του ιξώδους ενός μίγματος από τα ιξώδη των συστατικών του και την αναλογία ανάμιξης, χρησιμοποιείται η εξής σχέση:

$$x \log \log (v_A + 0,7) + (1-x) \log \log (v_B + 0,7) = \log \log (v_M + 0,7)$$

όπου, v_A το κινηματικό ιξώδες του συστατικού A (cSt), v_B το κινηματικό ιξώδες του συστατικού B (cSt), v_M το κινηματικό ιξώδες του μίγματος (cSt) και x η κατά όγκο αναλογία του συστατικού A στο μίγμα [$x = A / (A+B)$].

Οι συσκευές μέτρησης του ιξώδους λέγονται ιξωδόμετρα. Επειδή είναι ευχερέστερη η μέτρηση του ιξώδους έτσι ώστε να μην επηρεάζεται από την πυκνότητα του λιπαντικού, για τον χαρακτηρισμό των ορυκτελαίων χρησιμοποιείται το κινηματικό ιξώδες. Η μέτρηση του κινηματικού ιξώδους γίνεται με τη μέθοδο ASTM D-445. Στα ορυκτέλαια το ιξώδες μετριέται σε δύο θερμοκρασίες (40 °C και 100 °C, ή 100 και 210 °F).

Επίσης ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης του ιξώδους χρησιμοποιούνται και πρακτικές μονάδες μέτρησης όπως:

- Βαθμοί Engler (°E). Χρησιμοποιούνται στη Γερμανία και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες.
- Μονάδες Redwood I (s). Χρησιμοποιούνται στην Αγγλία.
- Μονάδες Redwood II (s). Χρησιμοποιούνται στην Αγγλία και ισούνται με 0,1 Redwood I.
- Μονάδες SSU (s). Χρησιμοποιούνται στις Η.Π.Α. [SSU (Seconds Saybolt Universal)]
- Μονάδες SSF (s) Χρησιμοποιούνται στις Η.Π.Α. και ισούνται με 0,1 SSU [SSF (Seconds Saybolt Furol)]

Η μετατροπή των ιξωδών στις διάφορες μονάδες, με τη προϋπόθεση ότι τα ιξώδη αναφέρονται στην ίδια θερμοκρασία, γίνεται με τη βοήθεια του νομογραφήματος της Σελ.78.

● Δείκτης Ιξώδους

Η αντίσταση του λαδιού στη μεταβολή του ιξώδους όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία εκφράζεται από το Δείκτη Ιξώδους (Viscosity Index, VI). Ο Δείκτης Ιξώδους εκφράζει την αντίσταση του λαδιού στη μεταβολή του

$V.I. = 180$ } το $V.I. = 180$ έχει μεγαλύτερο εφελκυστικό κριτήριο
 $V.I. = 80$ } αλλά είναι πιο αβριβό, βλέπεις την θερμοκρασία
166 ρευστότητα με την μεταβολή της θερμοκρασίας

ιξώδους όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία και είναι ένας αριθμός χωρίς μονάδες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο Δείκτης Ιξώδους, τόσο μικρότερη είναι η μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία. Επίσης η επίδραση της πίεσης είναι μεγαλύτερη στα λιπαντικά με μικρό Δείκτη Ιξώδους από ότι στα λιπαντικά με υψηλό Δείκτη Ιξώδους.

Ο προσδιορισμός του Δείκτη Ιξώδους γίνεται με τη μέθοδο ASTM D-2270. Για τη μέτρηση του δείκτη ιξώδους χρησιμοποιείται μια αυθαίρετη κλίμακα, από 0 μέχρι 100. Το μηδέν κατέχει ορυκτέλαιο ναφθениκής βάσης εξαιρετικά ευπαθές στις μεταβολές της θερμοκρασίας και το 100 ορυκτέλαιο παραφινικής βάσης πολύ λίγο ευαίσθητο στις αντίστοιχες μεταβολές θερμοκρασίας. Ειδικά επεξεργασμένα λάδια με χημικά πρόσθετα μπορεί να έχουν Δείκτη Ιξώδους 130 ή και μεγαλύτερο. Οι συνηθισμένοι Δείκτες Ιξώδους των εμπορικών ορυκτελαίων κυμαίνονται από 85 μέχρι 150, ενώ τα βασικά λάδια έχουν Δείκτη Ιξώδους από 75 μέχρι 95 και τα συνθετικά μεγαλύτερο από 150.

Σε εφαρμογές λίπανσης όπου η θερμοκρασία παραμένει λίγο πολύ σταθερή, ο Δείκτης Ιξώδους έχει μικρή σημασία. Όταν όμως η θερμοκρασία λειτουργίας μεταβάλλεται σε μια μεγάλη περιοχή πρέπει ο Δείκτης Ιξώδους, του λαδιού που θα χρησιμοποιηθεί, να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος, σε συμφωνία πάντα με τις υπόλοιπες ιδιότητες του λαδιού.

● Σημείο Θόλωσης – Σημείο Ροής

Ο έλεγχος της ρευστότητας ενός λαδιού σε χαμηλές θερμοκρασίες γίνεται με το σημείο θόλωσης και το σημείο ροής. Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στην κρυστάλλωση των παραφινών που περιέχονται στα ορυκτέλαια. Όταν τα ορυκτέλαια ψυχθούν κάτω από μια θερμοκρασία πήζουν και δεν εμφανίζουν χαρακτηριστικά ροής. Κατά την ψύξη του λαδιού η παραφίνη που περιέχεται σε αυτό αρχίζει να διαχωρίζεται με τη μορφή κρυστάλλων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και τελικά παγιδεύουν το λάδι και παρεμποδίζουν ή σταματούν τη ροή του.

Το σημείο θόλωσης είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται διαχωρισμός κρυστάλλων παραφίνης από το λάδι, όταν αυτό ψυχθεί. Το σημείο θόλωσης είναι συνήθως ανώτερο του σημείου ροής και διαφέρει για κάθε τύπο λαδιού (τα ναφθениκής βάσης ορυκτέλαια έχουν χαμηλότερο σημείο θόλωσης σε σχέση με τα παραφινικής βάσης ορυκτέλαια). Ο προσδιορισμός του σημείου θόλωσης γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-2500.

Το σημείο ροής δίνει τη θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός της παραφίνης είναι τόσο έντονος που δεν επιτρέπει το λάδι να είναι ρευστό, όταν ψυχθεί. Το σημείο ροής είναι μία χρήσιμη ένδειξη της κατώτερης θερμοκρασίας, στην οποία μπορεί να ρέει το λάδι στα συστήματα λίπανσης

με βαρύτητα. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των συνθετικών λιπαντικών, που είναι χημικές ενώσεις χωρίς παραφίνες, είναι το πολύ χαμηλό σημείο ροής τους. Ο προσδιορισμός του σημείου ροής γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-97.

Το σημείο θάλωσης και το σημείο ροής μειώνονται με διεργασίες αποπαραφίνωσης, όμως η μείωση του σημείου ροής κάτω από τους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι ασύμφορη. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται πρόσθετα.

• Σημείο Ανάφλεξης - Σημείο Καύσης - Σημείο Αυτανάφλεξης

Το *σημείο ανάφλεξης* είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αναφλέγονται οι ατμοί ενός θερμαινόμενου λαδιού παρουσία φλόγας. Το σημείο ανάφλεξης που προσδιορίζεται σε κλειστό δοχείο ονομάζεται *κλειστό σημείο ανάφλεξης* και είναι χαμηλότερο από εκείνο που προσδιορίζεται σε ανοικτό δοχείο και ονομάζεται *ανοικτό σημείο ανάφλεξης*. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για τον προσδιορισμό του σημείου ανάφλεξης είναι η ASTM D-93 και η ASTM D-92.

Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί την πρώτη ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά (καύσιμα) και μπορεί να συμβάλλει στην έγκαιρη διάγνωση μιας πιθανής διαρροής καυσίμου στο λιπαντικό καθώς τα πτητικά συστατικά (π.χ. ίχνη βενζίνης), που περιέχονται σε ένα λάδι, ελαττώνουν το σημείο ανάφλεξης ακόμη και όταν βρίσκονται σε πολύ μικρή αναλογία. Τέλος το σημείο ανάφλεξης έχει πολύ μεγάλη σημασία, από άποψη ασφάλειας, για τη μεταφορά και αποθήκευση των λαδιών, γιατί τα προϊόντα με χαμηλό σημείο ανάφλεξης είναι εύφλεκτα.

Το σημείο ανάφλεξης σχετίζεται με την πτητικότητα του λαδιού. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του λαδιού τόσο μεγαλύτερο είναι και το σημείο ανάφλεξης του. Κατά κανόνα τα ορυκτέλαια παραφινικής βάσης έχουν υψηλότερα σημεία ανάφλεξης (από $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι $265\text{ }^{\circ}\text{C}$), σε σύγκριση με τα ορυκτέλαια με το ίδιο ιξώδες αλλά ναφθενικής βάσης (από $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι $230\text{ }^{\circ}\text{C}$). Στην περίπτωση αυτή το σημείο ανάφλεξης χρησιμεύει ως στοιχείο ταυτότητας του λιπαντικού.

Όσο χαμηλότερο το σημείο ανάφλεξης ενός λαδιού τόσο πιο επικίνδυνο είναι επειδή πλησιάζει στο σημείο βρασμού, βγάζει αναθυμιάσεις και αυξάνεται η κατανάλωση του.

Το *σημείο καύσης* είναι μία θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη προηγούμενη, (από 5 μέχρι $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) στην οποία εκτός από τη στιγμιαία ανάφλεξη των ατμών του λαδιού με τη βοήθεια φλόγας, η καύση μπορεί να διατηρηθεί για πέντε τουλάχιστον δευτερόλεπτα.

Το *σημείο αυτανάφλεξης* είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί ενός λαδιού αναφλέγονται, παρουσία αέρα ή οξυγόνου, αλλά χωρίς τη

βοήθεια φλόγας. Το σημείο αυτανάφλεξης είναι πολύ μεγαλύτερο του σημείου ανάφλεξης.

- **Χρώμα**

Το χρώμα των ορυκτελαίων ποικίλει από διαφανές ή διαυγές μέχρι αδιαφανές ή μαύρο. Προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-1500.

Το χρώμα των λαδιών εξαρτάται από τον τύπο του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε, το ιξώδες, τη διαδικασία και το βαθμό εξευγενισμού και από την ποσότητα και το είδος των προσθέτων αλλά δεν επηρεάζει καθόλου τη ποιότητα ή τη συμπεριφορά του λαδιού. Κατά τη λειτουργία το χρώμα του λαδιού σκουραίνει. Αυτό σημαίνει ότι το λάδι έχει οξειδωθεί, έχει μολυνθεί ή τέλος έχει αναμιχθεί με ένα άλλο λάδι με πιο σκούρο χρώμα.

- **Πυκνότητα**

Η πυκνότητα ενός λαδιού είναι η μάζα της μονάδας όγκου του σε ορισμένη θερμοκρασία. Η πυκνότητα των ορυκτελαίων αυξάνει όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1298 με τη βοήθεια πυκνομέτρου, που είναι βαθμολογημένος πλωτήρας και κυμαίνεται μεταξύ 0,84 kg/l και 0,98 kg/l. Η τιμή της πυκνότητας που προσδιορίζεται, διορθώνεται στην πρότυπη θερμοκρασία των 15 °C. Η πυκνότητα μπορεί μερικές φορές να εκφραστεί ως σχετική πυκνότητα ή σε βαθμούς της πυκνομετρικής κλίμακας API. Η σχέση της κλίμακας API με την σχετική πυκνότητα είναι:

$$API(^{\circ}) = \frac{141,5}{SG_{60^{\circ}F}} - 131,5$$

όπου, $SG_{60^{\circ}F}$ η σχετική πυκνότητα 60°/60 °F.

Η πυκνότητα των λιπαντικών δεν δημιουργεί μεγάλες διαφορές στη λειτουργία. Οπωσδήποτε είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε αυτήν για την μετατροπή του όγκου σε μάζα καθώς και για την κατάλληλη εκλογή του δίσκου του φυγοκεντρικού καθαριστή. Επίσης η πυκνότητα χρησιμοποιείται στην ταυτοποίηση των λιπαντικών όταν είναι γνωστό το ιξώδες των λιπαντικών.

- Αριθμός Εξουδετέρωσης - Οξύτητα - Αλκαλικότητα

Ο αριθμός εξουδετέρωσης (neutralization number) εκφράζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα των ορυκτελαίων.

Η οξύτητα εκφράζεται με τον ισχυρό αριθμό οξύτητας (Strong Acid Number, SAN) και τον ολικό αριθμό οξύτητας (Total Acid Number, TAN).

Ο ισχυρός αριθμός οξύτητας, SAN, αφορά το σύνολο των ανόργανων οξέων που έχει το λάδι και είναι η ποσότητα (mgr) καυστικού καλίου (KOH) που απαιτείται για την εξουδετέρωση 1gr οξίνου (χρησιμοποιημένου) ορυκτελαίου. Ένα καλό λιπαντικό έχει από τη φύση του $SAN=0$ με επιτρεπόμενο όριο μέχρι $0,1 \text{ mgr KOH/gr}$.

Ο ολικός αριθμός οξύτητας, TAN, αφορά την ολική περιεκτικότητα σε οργανικά και ανόργανα οξέα που έχει το λάδι από τα οποία τα οργανικά (ασθενή) οξέα οφείλονται στην οξείδωση του κατά την χρήση του, και είναι, όπως και στην περίπτωση του ισχυρού αριθμού οξύτητας, η ποσότητα (mgr) καυστικού καλίου (KOH) που απαιτείται για την εξουδετέρωση 1gr οξίνου (χρησιμοποιημένου) ορυκτελαίου. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για τον ολικό αριθμό οξύτητας TAN είναι $0,3 \text{ mg KOH/gr}$. Όταν ο ολικός αριθμός οξύτητας TAN κατά τη χρήση του ορυκτελαίου αυξηθεί πάνω από το όριο αυτό, εξαιτίας παραγωγής οξίνων συστατικών, επιβάλλεται ο λεπτομερής φυγοκεντρικός καθαρισμός του.

Η αλκαλικότητα εκφράζεται με τον ολικό αριθμό αλκαλικότητας (Total Base Number, TBN) που είναι η ποσότητα (mgr) οξέος (ισοδυνάμου σε mgr KOH, συνήθως οξικού οξέος CH_3COOH) που απαιτείται για την εξουδετέρωση 1 gr αλκαλικού ελαίου.

Ένα ορυκτέλαιο πρέπει να έχει τη δυνατότητα να εξουδετερώνει τα όξινα συστατικά που παράγονται κατά τη χρήση του γιατί προκαλούν διαβρωτικές φθορές. Τα πρόσθετα που ενσωματώνονται στο λάδι κατά την παραγωγή του, αυξάνουν την αλκαλικότητα του και εξασφαλίζουν καλή απόδοση, καθαρότητα λειτουργίας και μείωση των επικαθήσεων. Με τη χρήση του λαδιού και την παραγωγή οξίνων συστατικών (το βασικό χαρακτηριστικό παραγωγής οξίνων συστατικών είναι το θείο) παρατηρείται μείωση των αλκαλικών συστατικών, τα οποία αντιδρούν με τα όξινα συστατικά (ισχυρά θειικά και νιτρικά οξέα) που παράγονται και τα εξουδετερώνουν. Κατά συνέπεια με τη χρήση ενός λαδιού παρατηρείται μείωση του TBN, με αντίστοιχη αύξηση του TAN.

Μείωση του TBN με αντίστοιχη αύξηση του TAN, σε σύγκριση με τις αρχικές τιμές (καινούργιου λιπαντικού), σημαίνει αύξηση της οξύτητας και απώλεια της αλκαλούχου ιδιότητας του λιπαντικού με συνέπεια το λιπαντικό να μη προστατεύει σωστά τα μέταλλα της μηχανής.

Με άλλα λόγια, η τιμή TBN είναι το μέτρο που εκφράζει κατά πόσο ένα λιπαντικό έχει την ικανότητα να εξουδετερώνει τα όξινα συστατικά που παράγονται κατά τη χρήση του, και να προστατεύει τις μηχανές από διαβρωτικές φθορές. ^{ΠΕΡΙΒΛΩΤΕΡΟ ΘΕΙΟ ΕΧΕΙ} Όσο χειρότερης ποιότητας είναι το καύσιμο που χρησιμοποιείται τόσο υψηλότερος βαθμός TBN του λιπαντικού απαιτείται.

Συγκεκριμένα τα αλκαλικά λιπαντικά με TBN μέχρι 15 mgr KOH/gr είναι κατάλληλα για μηχανές χωρίς ζύγωμα με χρησιμοποιούμενο καύσιμο MDO, τα μέσης αλκαλικότητας με TBN 15-39 mgr KOH/gr για μηχανές χωρίς ζύγωμα που χρησιμοποιούν HFO, και τα υψηλής αλκαλικότητας με TBN 40-100 mgr KOH/gr για μηχανές με ζύγωμα που χρησιμοποιούν βαριά καύσιμα (βλ.Κεφ.12).

Ο ολικός αριθμός οξύτητας (TAN) και ο ολικός αριθμός αλκαλικότητας (TBN) προσδιορίζονται με τις μεθόδους ASTM D-3339 και ASTM D-4739 αντίστοιχα.

⊖ pH

Το pH είναι η μαθηματική έκφραση της οξύτητας ή αλκαλικότητας. Αν και η τιμή του pH εξαρτάται από την θερμοκρασία, κατά προσέγγιση δεχόμαστε ότι παίρνει τιμές μόνο από 0 μέχρι 14.

Όταν το pH έχει τιμή μικρότερη από 7 εκφράζει τον βαθμό οξύτητας και όταν έχει τιμή μεγαλύτερη από 7 το βαθμό αλκαλικότητας. Όταν το pH έχει τιμή 7 σημαίνει ουδέτερο. Τιμή pH μικρότερη του 4 σημαίνει ύπαρξη ισχυρών οξέων, δηλαδή παρουσία δυνατής ανόργανης οξύτητας (SAN).

Η τιμή του pH μεταβάλλεται με την παρουσία νερού (αραιώση) και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση των αλκαλικών λιπαντικών.

⊙ Αντοχή στην Οξείδωση

Σε όλες σχεδόν της εφαρμογές λίπανσης τα λιπαντικά έρχονται σε επαφή με τον αέρα. Το οξυγόνο του αέρα και μάλιστα σε υψηλές θερμοκρασίες ευνοεί την οξείδωση του λιπαντικού και προκαλεί αλλοίωση των μορίων τους. Η αντοχή στην οξείδωση εξαρτάται από τον τύπο του βασικού λιπαντικού και από τις υπάρχουσες κάθε φορά συνθήκες λειτουργίας και ειδικότερα από την θερμοκρασία λειτουργίας.

Τα καλά εξευγενισμένα παραφινικά λιπαντικά έχουν υψηλή αντοχή στην οξείδωση, τα ναφθενικά εξαιτίας της παρουσίας των αρωματικών οξειδώνονται ταχύτερα ενώ τα συνθετικά λιπαντικά παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην οξείδωση. Η αντοχή στην οξείδωση των ορυκτελαίων ενισχύεται με κατάλληλα αντιοξειδωτικά πρόσθετα και προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-943.

Τα σοβαρότερα αποτελέσματα του φαινομένου της οξείδωσης είναι:

⊖ Δημιουργία λάσπης εξαιτίας πολυμερισμού των οξυγονούχων ενώσεων (οργανικά οξέα, εστέρες κ.τ.λ.). Η λάσπη επικάθεται στα τοιχώματα των κάρτερ και των κιβωτίων παρεμποδίζοντας την απαγωγή της θερμότητας.

- Αύξηση του ιξώδους που καθιστά το λάδι πιο παχύρευστο και δυσχεραίνει τη λίπανση.
- Αύξηση ανθρακούχων υπολειμμάτων. Τα υπολείμματα παρεμβάλλονται μεταξύ των τριβόμενων επιφανειών προκαλώντας φθορές.

• Τέφρα

Η τέφρα δημιουργείται κατά την καύση του λιπαντικού στο κύλινδρο της μηχανής από τα μεταλλικά στοιχεία που υπάρχουν στα πρόσθετα και από τα κατάλοιπα (οξειδία, σκόνη, μεταλλικά τεμαχίδια) που δημιουργούνται κατά τη χρήση του. Η τέφρα επικάθεται στα τριβόμενα μέρη και δημιουργεί πρόσθετες φθορές.

Ο προσδιορισμός της τέφρας γίνεται με τη μέθοδο ASTM D-482.

• Αριθμός Απογαλακτωματοποίησης

Κατά την διάρκεια της χρήσης πολλά ορυκτέλαια έρχονται σε επαφή με νερό. Οφείλουν λοιπόν να διαχωριστούν εύκολα από αυτό. Μέτρο αυτής της ιδιότητας είναι ο *αριθμός απογαλακτωματοποίησης* που προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-2711.

Γενικά στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει να αποφεύγεται η επαφή του ορυκτελαίου με νερό εξαιτίας σχηματισμού ανεπιθύμητων γαλακτωμάτων, λάσπης και καταστροφής των προσθέτων. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται συνήθως με την προσθήκη απογαλακτωματοποιητών.

• Εξανθράκωμα

Το *εξανθράκωμα* (*Ανθρακούχο Υπόλειμμα*) προσδιορίζει τη μικρή ποσότητα βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο λάδι και που κατά την διάρκεια της καύσης δεν οξειδώνονται πλήρως, αλλά πολυμερίζονται σχηματίζοντας ένα είδος αιθάλης.

Στα ορυκτέλαια, το εξανθράκωμα αυξάνει όσο αυξάνει και το ιξώδες τους και δείχνει την τάση τους να δημιουργούν ανθρακούχες αποθέσεις. Τα παραφινικής βάσης λάδια έχουν μεγαλύτερη τάση για σχηματισμό εξανθρακωμάτων από τα ναφθενικής βάσης λάδια. Για αυτό και χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές ναφθενικά λάδια, παρά το χαμηλό Δείκτη Ιξώδους τους. Η τιμή του εξανθρακώματος στα περισσότερα λιπαντέλαια δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,3% β/β ενώ για τα κυλινδρέλαια μπορεί να φθάσει το 3% β/β.

Οι δύο μέθοδοι μέτρησης του εξανθρακώματος είναι κατά Conradson (ASTM D-189) και Ramsbottom (ASTM D-524). Η τιμή του εξανθρακώματος ενός

λιπαντικού παρέχει επίσης ενδείξεις και για το βαθμό ρύπανσης ή αλλοίωσης που μπορεί να έχει υποστεί κατά την αποθήκευση του.

• Αφρισμός

Ο αφρισμός είναι ο εγκλωβισμός αέρα στη μάζα του ορυκτελαίου. Κατά τη διάρκεια της λίπανσης ανάμεσα στα λιπαντικά μέρη πρέπει να κυκλοφορεί το λιπαντικό. Αν το λάδι αφρίζει, τότε αντί για λιπαντικό κυκλοφορεί αέρας, για αυτό και ο αφρισμός είναι ανεπιθύμητος. Ο αφρισμός επιπλέον συμβάλλει στην οξείδωση του λιπαντικού, επηρεάζει τη λειτουργία της αντλίας λαδιού και προκαλεί σφάλματα στη μέτρηση της στάθμης του λαδιού στη δεξαμενή. Η τάση ενός ορυκτελαίου για αφρισμό καταπολεμείται με αντιαφριστικά πρόσθετα και προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-892.

• Περιεκτικότητα σε Νερό

Το νερό μπορεί να υπάρξει στο λάδι είτε ως διαχωρισμένη στιβάδα είτε σε αραίωση. Η ύπαρξη νερού στο ορυκτέλαιο πέρα από 0,2% β/ο είναι ανεπιθύμητη γιατί μειώνει τη λιπαντική ικανότητα, προκαλεί αστάθεια των χημικών πρόσθετων και συμβάλλει στην διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.

Το νερό είναι επίσης ένας σημαντικός μολυσματικός παράγοντας σε πολλά συστήματα λίπανσης, που δημιουργεί γαλακτοποίηση και αφρισμό. Στις δεξαμενές αποθήκευσης λιπαντικών η μόλυνση νερού μπορεί να οδηγήσει στην μικροβιολογική αύξηση, που διαμορφώνει τη ζύμη και τα βακτηρίδια, τα οποία πολύ γρήγορα φράζουν τα φίλτρα και διαβρώνουν το σύστημα. Για όλους τους παραπάνω λόγους το νερό πρέπει να απομακρύνεται το ταχύτερο δυνατό με φυγοκεντρικό καθαρισμό.

Το νερό όταν είναι σε σχετικά μεγάλες ποσότητες προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-95 και για μικρότερες ποσότητες με τη μέθοδο ASTM D-1744.

Η ύπαρξη νερού στο λιπαντικό μπορεί να οφείλεται σε διαρροή στο κύκλωμα λίπανσης, στη συμπύκνωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας και σε κακές συνθήκες αποθήκευσης (όρθια βαρέλια).

Η ύπαρξη θαλάσσιου νερού, που έχει ενισχυμένες διαβρωτικές ιδιότητες, στα λιπαντικά διαπιστώνεται από την ανίχνευση άλατος. Το μέγιστο όριο άλατος στα λιπαντικά είναι γενικά λιγότερο από 50 ppm και κατά προτίμηση μηδέν.

• Αδιάλυτα Υπολείμματα

Τα αδιάλυτα υπολείμματα γενικά αναφέρονται σε προϊόντα μολύνσεων όπως:

- Κατάλοιπα άνθρακα από ελλιπή καύση των καυσίμων και σε μια μικρότερη έκταση των λιπαντικών
- Οργανικά πολυμερή σώματα από την οξείδωση του λιπαντικού ή των καυσίμων
- Θειικά άλατα από την καύση του θείου των καυσίμων και την αντίδραση τους με τις πρόσθετες ουσίες TBN
- Ρινίσματα από φθορά, ακαθαρσίες
- Ασφαλτένια των καυσίμων IFO

Υψηλά επίπεδα αδιάλυτων αυξάνουν το ιξώδες, παρεμποδίζουν την λειτουργία των αντλιών και των φίλτρων και δημιουργούν αποθέσεις στις μεταλλικές επιφάνειες. Το όριο της επιτρεπόμενης παρουσίας αδιάλυτων είναι 0,1-2,5% β/β ανάλογα με το είδος του λιπαντικού και την εφαρμογή. Πέρα από το όριο αυτό η παρουσία τους είναι καταστροφική, γιατί παρεμβάλλονται μεταξύ των επιφανειών που συνεργάζονται και προκαλούν φθορές. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με τη μέθοδο ASTM D-893. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή δείγμα μεταχειρισμένου λιπαντικού αραιώνεται με πεντάνιο. Οι ουσίες που είναι αδιάλυτες στο πεντάνιο με φυγοκέντριση κατακάθονται. Αυτές οι αδιάλυτες ουσίες, που αποτελούνται από προϊόντα οξείδωσης του λιπαντικού, σκόνη, άνθρακα και μεταλλικά ρινίσματα από την τριβή γενικά αναφέρονται ως αδιάλυτα πεντανίου.

Στη συνέχεια προσθέτοντας τολουόλιο στα αδιάλυτα του πεντανίου διαλύουμε τα προϊόντα οξείδωσης, αφήνοντας τα υπόλοιπα. Η διαφορά μεταξύ των αδιάλυτων πεντανίου και τολουολίου είναι τα προϊόντα οξείδωσης που μπορούν να αφαιρεθούν με φυγοκεντρικό καθαρισμό.

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ

Τα πρόσθετα ή βελτιωτικά προσθέτονται στα βασικά λάδια με αντικειμενικό σκοπό τη βελτίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους. Με τα πρόσθετα επιτυγχάνουμε καλύτερη προστασία της επιφάνειας που λιπαίνεται, βελτίωση της απόδοσης του λαδιού και τέλος προστασία του ίδιου του λαδιού. Για τη κάλυψη των αναγκών σε κάθε περίπτωση λίπανσης χρησιμοποιούνται τα παρακάτω είδη πρόσθετων:

• Πρόσθετα του Δείκτη Ιξώδους

Η προσθήκη πολυμερών πρόσθετων-βελτιωτικών του Δείκτη Ιξώδους βοηθάει στην μείωση της μεταβολής του ιξώδους με τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά ροής των λιπαντικών (μεγαλώνοντας το Δείκτη Ιξώδους) και επιτρέπουν σωστή λίπανση σε όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του μηχανήματος.

Ο τρόπος λειτουργίας τους στηρίζεται στο ότι στις χαμηλές θερμοκρασίες περιτυλίσσονται καταλαμβάνοντας πολύ μικρό όγκο, διευκολύνοντας έτσι τη ροή του λαδιού, ενώ με την άνοδο της θερμοκρασίας εκτυλίσσονται προβάλλοντας μεγάλη αντίσταση στη ροή του λαδιού, με αποτέλεσμα να διατηρούν το ιξώδες υψηλό.

• Πρόσθετα Υψηλής Πίεσης

Τα πρόσθετα υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται όταν τα φορτία που ασκούνται σε δύο τριβόμενες επιφάνειες είναι τόσο μεγάλα, ώστε να συμβαίνει η αποκοπή της λιπαντικής μεμβράνης και έτσι να παρατηρείται επαφή μετάλλου με μέταλλο. Τα πρόσθετα υψηλής πίεσης αυξάνουν την αντοχή της λιπαντικής μεμβράνης ή αντιδρούν με τα μέταλλα σχηματίζοντας ένα λεπτό ισχυρό στρώμα που ελαχιστοποιεί την επαφή μετάλλου με μέταλλο (συνήθως είναι ενώσεις φωσφόρου, θείου και ψευδαργύρου).

• Αντιοξειδωτικά Πρόσθετα

Τα αντιοξειδωτικά πρόσθετα ελαττώνουν την τάση του λαδιού για οξείδωση και με αυτό τον τρόπο παρεμποδίζουν τη συνεχή μείωση του ιξώδους. Επιπρόσθετα επειδή τα προϊόντα οξείδωσης είναι στην πλειοψηφία τους όξινα και άρα διαβρωτικά, τα αντιοξειδωτικά ελαττώνουν την διάβρωση των μετάλλων σε πολλές περιπτώσεις.

• Απορρυπαντικά και Διασκορπιστικά Πρόσθετα

Τα απορρυπαντικά πρόσθετα δεν επιτρέπουν τη δημιουργία των καταλοίπων της καύσης (εξανθρακώματα) εξουδετερώνοντας τα όξινα συστατικά και εμποδίζοντας ταυτόχρονα τον πολυμερισμό τους. Τα διασκορπιστικά πρόσθετα διατηρούν σε διασπορά τις ουσίες που σχηματίζουν τη λάσπη μέσα στη μηχανή. Ενεργούν με το να απορροφούνται πάνω στην επιφάνεια των σωματιδίων της λάσπης εμποδίζοντας τα να σχηματίσουν συσσωματώματα μορίων. Με τον τρόπο αυτό τα απορρυπαντικά και τα διασκορπιστικά πρόσθετα βοηθούν στη διατήρηση της καθαρότητας του κινητήρα και στην αποτροπή διαφόρων επικαθήσεων σε συνεχή αιώρηση, ούτως ώστε να είναι δυνατό το φιλτράρισμα τους ή η αποβολή τους από τον κινητήρα, όταν το λάδι αντικαθίσταται.

• Πρόσθετα Ταπείνωσης του Σημείου Ροής

Τα πρόσθετα αυτά αντιδρούν με τους κρυστάλλους τις παραφίνης, κύρια αλλάζοντας το μέγεθος και το σχήμα τους. Με τον τρόπο αυτό μειώνουν το

σημείο ροής του λιπαντικού και διευκολύνουν κατά συνέπεια την ικανοποιητική λίπανση της μηχανής σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

• Αντιδιαβρωτικά Πρόσθετα

Τα αντιδιαβρωτικά πρόσθετα απορροφούνται στις μεταλλικές επιφάνειες και εμποδίζουν τα οξέα να τις προσβάλλουν μειώνοντας τη διάβρωση και τη φθορά. Ακόμη δεν επιτρέπουν στο νερό να έρχεται σε επαφή με τις μεταλλικές επιφάνειες και με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η δημιουργία της σκουριάς.

• Αντιαφριστικά Πρόσθετα

Τα αντιαφριστικά πρόσθετα εμποδίζουν την είσοδο των φυσαλίδων του αέρα στο λιπαντικό με το να μειώνουν την επιφανειακή του τάση, επιτυγχάνοντας το σπάσιμο τους. Επίσης συντελούν στην ένωση πολλών μικρών φυσαλίδων σε μεγαλύτερες, οι οποίες ανεβαίνουν πιο εύκολα στην επιφάνεια όπου και διαλύονται.

• Απογαλακτωματοποιητές

Οι απογαλακτωματοποιητές χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του νερού από το λάδι. Συμπληρωματικά οι απογαλακτωματοποιητές χρησιμοποιούνται για την παρεμπόδιση της διαβρωτικής δράσης του νερού με το σχηματισμό γαλακτώματος.

• Λιπαρά Πρόσθετα

Δίνουν στο λάδι προσκολλητικές ιδιότητες και διευκολύνουν τη λίπανση στις περιπτώσεις που είναι δύσκολη η διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης.

• Βακτηριοκτόνα Πρόσθετα

Εμποδίζουν τη δημιουργία βακτηριδίων και μικροβίων, τα οποία προκαλούν δυσάρεστες οσμές.

10-3 Λιπαντικά Λίπη (Γράσσα) ✕

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΛΙΠΩΝ

Οι ιδιότητες των γράσσων, που καθορίζονται και ελέγχονται από διεθνείς οργανισμούς πιστοποίησης (ASTM, IP, ISO, SAE) με πρότυπες μεθόδους

ελέγχου, είναι οι ακόλουθες:

- Συνεκτικότητα
- Φαινόμενο Ιξώδες
- Σημείο Στάξης
- Αντοχή στο Νερό
- Αντοχή στην Οξειδωση
- Αντοχή στην Υψηλή Πίεση
- Αντοχή στη Διάβρωση
- Αντοχή στο Διαχωρισμό του Λαδιού

• Συνεκτικότητα

Γενικά με τον όρο *συνεκτικότητα* ορίζεται η ικανότητα αντίστασης σε παραμόρφωση που εμφανίζει ένα πλαστικό υλικό, όταν εφαρμόζεται σε αυτό κάποια δύναμη. Στην περίπτωση των γράσσων είναι ένα μέτρο της υφής των (σκληρό ή μαλακό) και είναι ενδεικτική της ρεολογικής τους συμπεριφοράς. Η συνεκτικότητα για τα γράσσα είναι ιδιότητα ανάλογη με το ιξώδες στα λάδια και μεταβάλλεται και αυτή με τη θερμοκρασία και για αυτό πρέπει να αναφέρεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Ο προσδιορισμός της γίνεται έμμεσα με τη μέθοδο της διεισδυτικότητας του γράσσου με τη μέθοδο ASTM D-217.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο το δείγμα υπόκειται σε κατάλληλη προετοιμασία και ανάλογα με την προετοιμασία του δείγματος διακρίνουμε την αδιατάρακτη, την ακατέργαστη, την κατεργασμένη και την υπερκατεργασμένη διεισδυτικότητα.

Η πιο σημαντική τιμή είναι αυτή της κατεργασμένης διεισδυτικότητας που προδιαγράφει την καταπόνηση δείγματος του γράσσου σε 60 διπλούς κύκλους με τυποποιημένη συσκευή σύμφωνα με την ASTM. Η διεισδυτικότητα είναι το βάθος σε δέκατα του χιλιοστού που διεισδύει συγκεκριμένος μεταλλικός κώνος μέσα στο γράσσο. Οι βαθμίδες διεισδυτικότητας των γράσσων που έχουν καθοριστεί από την NLGI (National Lubricating Greases Institute) δίνονται στον Πίνακα 11-8.

• Φαινόμενο Ιξώδες

Η συνεκτικότητα μας δίνει πληροφορίες για την ευκολία της ροής του γράσσου από το λιπαντήρα στο έδρανο, δεν μας παρέχει όμως σημαντικές ενδείξεις σχετικά με τη δύναμη που απαιτείται για τη τροφοδότηση των σημείων λίπανσης με αντλία. Τις πληροφορίες αυτές καθώς και την αντίσταση τριβής που παρουσιάζει το γράσσο στα έδρανα μας τις δίνει το ιξώδες.

Τα γράσσα είναι μη νευτώνεια ρευστά που αρχίζουν να ρέουν μόνο όταν η τάση που εφαρμόζεται ξεπεράσει μια οριακή τιμή. Πάνω από αυτό το όριο ο ρυθμός ροής αυξάνεται ανάλογα με την τάση και το ιξώδες ελαττώνεται. Το ιξώδες στα μη νευτώνεια ρευστά ορίζεται ως *φαινόμενο ιξώδες* και μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και το ρυθμό διάτμησης, για αυτό πρέπει πάντα να αναφέρεται σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία και δοσμένο ρυθμό ροής.

Το φαινόμενο ιξώδες προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-1092. Σε θερμοκρασίες πάνω από 38 °C, που είναι το όριο της ASTM D-1092, μετριέται με την ASTM D-3232 TPM.

Το *σημείο διαρροής* ονομάζεται η ελάχιστη πίεση που απαιτείται για να αρχίσει η ροή του γράσσου. Όταν το σημείο διαρροής είναι υψηλό τα γράσσα είναι δύσχρηστα και απαιτούν λιπαντήρες υψηλής πίεσης.

• Σημείο Στάξης

Το *σημείο στάξης* είναι η θερμοκρασία στην οποία η πρώτη σταγόνα υλικού πέφτει από το διάκενο μιας κυψέλης δοκιμών κάτω από προδιαγεγραμμένες συνθήκες μέτρησης, δηλαδή είναι η θερμοκρασία διαχωρισμού του γράσσου σε σάπωνα και λάδι.

Το σημείο στάξης είναι ενδεικτικό μόνο της αντοχής του γράσσου στη διαρροή σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο ροής του. Δεν αποτελεί όμως ένδειξη για τη μέγιστη θερμοκρασία χρησιμοποίησης του γράσσου η οποία είναι πάντοτε μικρότερη από το σημείο στάξης.

Η συμπεριφορά του γράσσου στις υψηλές θερμοκρασίες εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι:

- Αν η λειτουργία σε υψηλή θερμοκρασία είναι συνεχής ή διακοπτόμενη
- Αν στη λειτουργία υπάρχουν περιοδικά περάσματα από υψηλές σε χαμηλές θερμοκρασίες και αντίστροφα
- Ο σχεδιασμός του μηχανισμού που λιπαίνεται με το γράσο
- Η σταθερότητα του γράσσου στην οξείδωση
- Η αντοχή του γράσσου στην εξάτμιση
- Η συχνότητα αλλαγής του γράσσου

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ποσότητα του σάπωνα καθορίζει τη συνεκτικότητα του γράσσου, ενώ η μεταλλική βάση του σάπωνα καθορίζει το σημείο στάξης αυτού.

Το σημείο στάξης προσδιορίζεται με τις μεθόδους ASTM D-566 ή ASTM D-2265.

- **Αντοχή στο Νερό** ✓

Η ικανότητα ενός γράσσου να αντιστέκεται στην απόπλυση του από το νερό, είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό συμπεριφοράς, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που προϋποθέτουν μεγάλες ποσότητες νερού.

Όσο πιο σκληρό είναι το γράσσο (έχει δηλαδή μεγάλη συνεκτικότητα), τόσο περισσότερο αντέχει στο νερό (αντιστέκεται στην απόπλυσή του από το νερό).

Έτσι ένα γράσσο κατηγορίας NLGI 2 είναι ανθεκτικότερο από το ίδιο γράσσο κατηγορίας NLGI 1 (για κατηγορίες NLGI βλ.11-3). Η δυνατότητα απορρόφησης νερού εξαρτάται από το είδος του γράσσου. Συγκεκριμένα τα γράσσα λιθίου απορροφούν μέχρι 40-50% του όγκου τους, τα γράσσα ασβεστίου μέχρι 30% του όγκου τους, τα γράσσα με σύμπλοκα ασβεστίου και τα γράσσα ανόργανου παχυντή μέχρι 100% του όγκου τους.

Η αντοχή στο νερό προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-1264.

- **Αντοχή στην Οξείδωση**

Από το οξυγόνο του αέρα, με το οποίο το γράσσο έρχεται σε επαφή, μπορεί να υποστεί *οξείδωση* και στη συνέχεια προοδευτική αποσύνθεση. Ο ρυθμός της οξείδωσης είναι ιδιαίτερα υψηλός στις υψηλές θερμοκρασίες και η αύξηση της σταθερότητας στην οξείδωση επιτυγχάνεται με τη προσθήκη βελτιωτικών.

Η αντοχή στην οξείδωση προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-942.

- **Αντοχή στην Υψηλή Πίεση**

Τα γράσσα πρέπει να διαθέτουν μεγάλη *αντοχή στις υψηλές πιέσεις*, για να μπορούν να προστατεύσουν τις τριβόμενες επιφάνειες από τη φθορά.

Ο προσδιορισμός της αντοχής στην υψηλή πίεση γίνεται με τις μεθόδους ASTM D-2509 ή ASTM D-2596.

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΛΙΠΩΝ

Στα γράσσα προσθέτονται διάφορα πρόσθετα ή βελτιωτικά, όπως ακριβώς και στα λάδια, για τη βελτίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους. Για τη κάλυψη των αναγκών σε κάθε περίπτωση λίπανσης χρησιμοποιούνται τα παρακάτω είδη πρόσθετων:

- **Αντιοξειδωτικά Πρόσθετα**

Προστατεύουν το γράσσο από την οξείδωση και είναι σχεδόν ίδια με αυτά

των λαδιών, με μόνη διαφορά ότι τα ποσοστά που προστίθενται είναι πολύ μικρά (λιγότερο από 0,5% β/β).

- **Αντιδιαβρωτικά Πρόσθετα**

Προστατεύουν τις μεταλλικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το γράσσο, από τη διάβρωση.

- **Πρόσθετα κατά της Φθοράς**

Ακόμη και όταν υπάρχει λιπαντικό μεταξύ δύο τριβόμενων επιφανειών, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα φορτία και οι ταχύτητες έχουν μεγάλες τιμές προκαλώντας το σπάσιμο της λιπαντικής μεμβράνης, με αποτέλεσμα οι επιφάνειες να εφάπτονται μεταξύ τους. Για αυτό το λόγο τόσο στα λάδια όσο και στα γράσσα χρησιμοποιούνται δύο τύποι προσθέτων κατά της φθοράς:

- *Πρόσθετα Υψηλής Πίεσης*

Τα πρόσθετα υψηλής πίεσης δρουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και και βελτιώνουν την αντοχή της λιπαντικής μεμβράνης.

- *Πρόσθετα Αντοχής της Λιπαντικής Μεμβράνης*

Τα πρόσθετα αντοχής της λιπαντικής μεμβράνης δρουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα πρόσθετα υψηλής πίεσης και βελτιώνουν την αντοχή της λιπαντικής μεμβράνης.

- **Άλλοι Τύποι Πρόσθετων**

Τέλος σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πρόσθετα για τη βελτίωση της ικανότητας πρόσφυσης των γράσσων στις επιφάνειες που λιπαίνονται και για την αύξηση της θερμικής ή ηλεκτρικής αγωγιμότητας τους. Επίσης αρκετές φορές χρησιμοποιούνται χρώματα για να βελτιώσουν την οπτική εμφάνιση των γράσσων ή αρώματα για να καλύψουν τη δυσάρεστη μυρωδιά ορισμένων συστατικών που περιέχονται στα γράσσα.

10-4 Συνθετικά Λιπαντικά

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Οι κυριότερες ιδιότητες των συνθετικών λιπαντικών είναι οι ακόλουθες:

- **Αντοχή στην Οξειδωση**

Τα συνθετικά λιπαντικά επειδή δεν οξειδώνονται εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της παρουσίας του αέρα, παρουσιάζουν τετραπλάσια περίπου διάρκεια χρήσης σε σχέση με τα ορυκτέλαια, με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερο κόστος συντήρησης.

- **Θερμική Σταθερότητα**

Τα συνθετικά λιπαντικά παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες χωρίς τη παρουσία οξυγόνου.

- **Αντοχή στις Χαμηλές Θερμοκρασίες**

Τα συνθετικά λιπαντικά έχουν πολύ καλή συμπεριφορά σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες (-70°C).

- **Δείκτης Ιξώδους**

Τα συνθετικά λιπαντικά έχουν πολύ μεγάλο Δείκτη Ιξώδους ($VI > 150$), δηλαδή παρουσιάζουν σταθερή ρευστότητα στην αλλαγή της θερμοκρασίας.

- **Αναφλεξιμότητα**

Τα συνθετικά λιπαντικά δεν είναι αναφλέξιμα και για αυτό χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες π.χ. κλίβανοι.

- **Διαλυτικότητα**

Τα διάφορα αέρια (αιθυλένιο, προπυλένιο, βουτάνιο, αμμωνία, φρέον κ.λ.π.) δεν διαλύονται μέσα στα συνθετικά λιπαντικά.

- **Δημιουργία Καταλοίπων**

Τα συνθετικά λιπαντικά δεν δημιουργούν κατάλοιπα ή λάσπη, με αποτέλεσμα τη διατήρηση της εσωτερικής καθαρότητας των κυκλοφοριακών και υδραυλικών συστημάτων.

- **Εξοικονόμηση Ενέργειας**

Τα μόρια των συνθετικών λιπαντικών έχουν τη μορφή ευθύγραμμων αλυσίδων, γεγονός που τους επιτρέπει να ολισθαίνουν εύκολα

παρουσιάζοντας χαμηλό συντελεστή τριβής. Με συνεπεια να έχουμε λιγότερες απώλειες που σημαίνει εξοικονόμηση ενέργειας.

10-5 Ποιοτικός Έλεγχος των Λιπαντικών ✓

Ο έλεγχος των καυσίμων γίνεται μια φορά στην αρχική παραλαβή επειδή η αλλοίωση των χαρακτηριστικών του κατά την παραμονή του στις δεξαμενές ή κατά τη χρήση του είναι απίθανη εκτός από έκτακτες περιπτώσεις όπως π.χ. ανάμιξη με νερό από διαρροή.

Αντίθετα ο έλεγχος των λιπαντικών πρέπει να γίνεται συνεχής, για να εξασφαλίζει την διαπίστωση κατά πόσο ένα λιπαντικό κατά την αρχική του παραλαβή ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του τύπου στον οποίο ανήκει αλλά κύρια την επιτήρηση ποιότητας δηλαδή κατά πόσο έχουν αλλοιωθεί οι φυσικοχημικές ιδιότητες του λιπαντικού κατά τη χρήση του. Επίσης ο ποιοτικός έλεγχος των μεταχειρισμένων λιπαντικών βοηθάει τόσο στον προσδιορισμό του σωστού χρόνου αλλαγής των λιπαντικών όσο και στον εντοπισμό ή αποκατάσταση μιας ανωμαλίας π.χ. του τρόπου λειτουργίας του διαχωριστή.

Η εξειδικευμένη ανάλυση των λιπαντικών γίνεται στα εργαστήρια με χημική ανάλυση. Ένας σύντομος και πρακτικός ποιοτικός έλεγχος των λιπαντικών μπορεί να γίνει και μέσα στα πλοία. Για τον σκοπό αυτό τα πλοία πρέπει να διαθέτουν τα κατάλληλα δοκιμαστήρια (test kits). Οι κυριότερες ιδιότητες που ελέγχονται με τα test kits είναι το ιξώδες, το TBN, η περιεκτικότητα σε νερό και τα αδιάλυτα υπολείμματα.

Τα σημαντικότερα μέρη ενός σχεδιασμένου προγράμματος ανάλυσης λιπαντικών είναι η σωστή δειγματοληψία. Οι βασικοί κανόνες μιας σωστής δειγματοληψίας είναι:

α. Αντιπροσωπευτικότητα. Για να είναι ένα δείγμα αντιπροσωπευτικό πρέπει:

— Η μηχανή να είναι σε κανονική λειτουργία και το λιπαντικό που βρίσκεται σε κυκλοφορία, να είναι σε κανονική θερμοκρασία λειτουργίας και στάθμη.

— Να μη λαμβάνονται δείγματα αμέσως, πριν ή μετά από συμπλήρωμα λιπαντικού ή από μέρη που δεν υπάρχει σημαντική ποσότητα σε κυκλοφορία π.χ. σωλήνες με μικρή διάμετρο.

— Το δείγμα να παίρνεται από ειδικό κρουνό και πάντοτε από το ίδιο συγκεκριμένο σημείο αφού προηγουμένως αφεθεί να τρέξει αρκετή ποσότητα. Προτιμάται το μέρος αυτό να βρίσκεται πριν από την μηχανή,

στη γραμμή κατάθλιψης της αντλίας. Για το έλεγχο του διαχωριστή το δείγμα πρέπει να παίρνεται μετά από τον διαχωριστή. Στην περίπτωση στροβίλων το δείγμα μπορεί να ληφθεί από την επιστροφή του κεντρικού αγωγού λίπανσης εδράνων.

– Από μια δεξαμενή κεντρικού συστήματος να λαμβάνεται δείγμα από το επάνω και κάτω μέρος της. Σε γενικές γραμμές δείγματα από τις δεξαμενές ή την ελαιολεκάνη δεν κρίνονται κατάλληλα.

– Ο πιο κατάλληλος χρόνος δειγματοληψίας είναι όταν οι μηχανές δουλεύουν πριν πλησιάσει το πλοίο σε λιμάνι ή 30 λεπτά μετά από το κλείσιμο.

β. Καθαρότητα. Το σημείο της δειγματοληψίας πρέπει να σκουπιστεί και να ξεπλυθεί. Επίσης τα δοχεία στα οποία συλλέγονται τα δείγματα πρέπει να είναι καθαρά και στεγνά.

γ. Συχνότητα. Η συχνότητα ελέγχου των λιπαντικών εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας και από τον τύπο της κύριας μηχανής. Συνιστάται, εφόσον δεν υπάρχει ειδικός λόγος η δειγματοληψία να γίνεται κάθε 3 ή 4 μήνες για τα λιπαντικά ΜΕΚ και κάθε 6 μήνες για ατμοστρόβιλους. Σε ορισμένες περιπτώσεις προτιμότερο είναι η δειγματοληψία να γίνεται όταν το λιπαντικό συμπληρώσει ορισμένες ώρες λειτουργίας π.χ. 200-600. Επίσης η συχνότητα γενικά αυξάνεται κατά 50% για μηχανές υψηλής απόδοσης στον πρώτο χρόνο λειτουργίας τους.

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε με τον ποιοτικό έλεγχο παίρνουμε ενδείξεις για την κατάσταση του λιπαντικού που εξαρτάται από τη λειτουργία της μηχανής. Από την σχέση του αποτελέσματος ανάλυσης του λιπαντικού με την κατάσταση λειτουργίας της μηχανής προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα τα σπουδαιότερα των οποίων είναι τα ακόλουθα:

• Ιξώδες

Αύξηση του ιξώδους σημαίνει αλλοίωση του λιπαντικού (οξειδωση) από την οποία σχηματίζονται ασφαλτούχα ή ρητινικά αδιάλυτα προϊόντα που συντελούν στην αύξηση του ιξώδους. Επίσης αύξηση του ιξώδους σημαίνει μόλυνση ή ανάμιξη με πιο παχύρευστο λιπαντικό ή με καύσιμο ή με νερό και μάλιστα δημιουργία γαλακτώματος.

Το ιξώδες εξαρτάται από την θερμοκρασία και την πίεση

Μείωση του ιξώδους δείχνει ότι το λιπαντικό έχει αναμιχθεί με καύσιμο ή με λεπτόρευστο λιπαντικό ή με νερό.

● Περιεκτικότητα σε Νερό

Η παρουσία νερού οφείλεται σε διαρροές (νερό ψύξης σε ψυγείο λαδιού) ή σε συμπύκνωση των υδρατμών (χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας) ή σε κακή λειτουργία του διαχωριστή.

Μόλις διαπιστωθεί η ύπαρξη νερού πρέπει να αποβληθεί με φυγοκεντρικό διαχωρισμό ή ακόμη να γίνει αποθήκευση του λιπαντικού σε ειδική δεξαμενή (renovating tank) για επεξεργασία.

● Σημείο Ανάφλεξης

π.χ. 60°C

80°C καύσιμο πήξε στο λαδί

↑

70°C

60°C νερό πήξε στο λαδί

Η μείωση του σημείου ανάφλεξης σημαίνει παρουσία καυσίμου μέσα σε αυτό. Όπως αναφέρθηκε με η ύπαρξη καυσίμου μεταβάλλει επίσης και το ιξώδες. Εάν το καύσιμο είναι MDO το ιξώδες θα μειωθεί, εάν είναι βαρύ (HFO) το ιξώδες θα αυξηθεί. Και στις δύο όμως περιπτώσεις το σημείο ανάφλεξης του λιπαντικού θα μειωθεί οπότε και θα διαπιστωθεί η παρουσία καυσίμου μέσα σε αυτό.

● Οξείδωση

Η οξείδωση γίνεται αντιληπτή από τα λασπώδη κατάλοιπα των φυγοκεντρικών καθαριστών, την έντονη οσμή κ.λ.π.

● Αδιάλυτα Υπολείμματα

Η αυξημένη παρουσία αδιάλυτων υπολειμμάτων σημαίνει οξείδωση και χημική αλλοίωση του λιπαντικού. Επίσης μπορεί να οφείλεται σε ατελή λειτουργία των φίλτρων.

● Οξύτητα - Αλκαλικότητα

Η αύξηση του ολικού αριθμού οξύτητας (TAN) οφείλεται στην παραγωγή όξινων συστατικών κατά την χρήση του. Η αύξηση του ολικού αριθμού αλκαλικότητας (TBN) δείχνει ανάμιξη με κυλινδρέλαιο (αλκαλικό λιπαντικό) και μείωση της εξουδετέρωσης από οξέα της καύσης.

● Χρώμα

Το χρώμα ενός λιπαντικού χρησιμοποιείται πιο πολύ για την αναγνώριση του

τύπου και όχι ως ένδειξη ποιότητας, εκτός και αν υπάρχει θέμα εμφάνισης. Κατά τη λειτουργία το χρώμα του λιπαντικού σκουραίνει. Αυτό σημαίνει ότι το λιπαντικό έχει οξειδωθεί, έχει μολυνθεί ή τέλος έχει αναμιχθεί με ένα άλλο λιπαντικό που έχει πιο σκούρο χρώμα.

• Μεταλλικά Σωματίδια

Ο προσδιορισμός των μεταλλικών στοιχείων του μεταχειρισμένου λιπαντικού που μπορεί να γίνει με φασματοσκόπηση, μπορεί να δώσει τη δυνατότητα για προειδοποιητική παρακολούθηση της κατάστασης ορισμένων μηχανημάτων. Συγκεκριμένα όταν διαπιστωθεί αύξηση ορισμένων μεταλλικών στοιχείων, μπορεί να προσδιοριστεί από ποία μηχανήματα προέρχονται αυτά και να γίνει κάποια προληπτική συντήρηση, ώστε να προβλεφτεί η μεγάλη βλάβη του μηχανήματος.

10-6 Μικροβιακή Μόλυνση Λιπαντικών

Η μικροβιακή μόλυνση των λιπαντικών αλλά και των καυσίμων μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος αλλά παίρνει διαστάσεις επιδημίας όπου υπάρχει νερό π.χ. στον πυθμένα των δεξαμενών οπότε και εμφανίζεται γαλάκτωμα, επικάθιση λεπτής μεμβράνης χρυσοκαστανού χρώματος. Οι μικροοργανισμοί που έχουν σημασία για τη ναυτιλία είναι τα βακτηρίδια, η μούχλα και οι μύκητες.

Γενικά οι μικροβιακή ανάπτυξη εξαρτάται από:

- ⊖ Την παρουσία νερού. Απαιτείται πάνω από 1% για τη διατήρηση της ανάπτυξης τους
- ⊖ Την ύπαρξη τροφής-αζώτου, φωσφόρου και θείου. Τα στοιχεία αυτά συνήθως υπάρχουν στα χημικά πρόσθετα για την επεξεργασία του νερού, όπως αντιδιαβρωτικά, το νερό ψύξης κ.τ.λ.
- ⊖ Τη θερμοκρασία (40-50 °C)

Συμπτώματα της μικροβιακής μόλυνσης είναι :

- ⊖ Η γλοιώδης εμφάνιση του λιπαντικού στην ελαιολεκάνη
- ⊖ Η μυρωδιά αλλοιωμένου αβγού
- ⊖ Τα στοιχεία μεγάλων ποσοτήτων με γυαλιστερό γκρίζο χρώμα ή μαύρη λάσπη σε στάσιμες περιοχές της ελαιολεκάνης όπου λιμνάζει το λιπαντικό

- Οι διαβρωμένες μεταλλικές επιφάνειες, που είναι αποτέλεσμα των προχωρημένων καταστάσεων μόλυνσης και τα οξειδωτικά βακτηρίδια του θείου

Η μικροβιακή μόλυνση καταπολεμείται:

- Με καθαριότητα,
- Με κατακάθιση και θέρμανση στις δεξαμενές ανακαίνισης σε 80-90 °C για δύο περίπου ώρες και στη συνέχεια φυγοκέντριση
- Με σωστή συντήρηση και λειτουργία του φυγοκεντρικού διαχωριστή
- Με συχνή αφυδάτωση των δεξαμενών
- Με βακτηριοκτόνα πρόσθετα

Το βασικό πρόβλημα εάν δεν αντικατασταθεί το λάδι που είναι και το ποιο γάλακτο, έστω και ένας μικροοργανισμός να παραμείνει πολλαπλασιάζει

Κεφάλαιο Ενδέκατο

Κατάταξη Λιπαντικών

11-1 Εισαγωγή

Οι τύποι των λιπαντικών ανάλογα με τη χρήση τους είναι:

- Γενικής χρήσης όπως μειωτήρες στροφών, άτρακτοι-άξονες, μεταφορικά συστήματα κ.τ.λ.
- Ειδικών χρήσεων όπως λάδια μετασχηματιστών, ψυκτικών μηχανημάτων, αλυσίδων και συρματόσχοινων, οδηγών και γλυστρών, συμπιεστών κ.τ.λ.
- Κινητήρων (μηχανέλαια για πετρελαιοκινητήρες και βενζινοκινητήρες, βαλβολίνες, κυλινδρέλαια ναυτικών μηχανών diesel κ.τ.λ.)
- Γράσσα γενικής χρήσης, συρματόσχοινων και ανοικτών γραναζιών
- Ειδικά λιπαντικά όπως υδραυλικά υγρά, γράσσα υψηλής θερμοκρασίας και επιφανειακής προστασίας μετάλλων

11-2 Κατάταξη Ορυκτελαίων

Γενικά τα ορυκτέλαια που είναι γνωστά ως έλαια κυκλοφορίας (μηχανέλαια) και ως κυλινδρέλαια κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Καθαρά ορυκτέλαια (pure mineral oils ή straight oils)*. Τα καθαρά ορυκτέλαια δεν έχουν χημικά πρόσθετα. Λέγονται και βασικά λάδια (base oil). Είναι καθαρά και απαλλαγμένα από άλλα σώματα. Χρησιμοποιούνται σε εξαιρετικές μόνο περιπτώσεις.
- *Επιλεγμένα ορυκτέλαια (pure premium oils)*. Τα επιλεγμένα ορυκτέλαια περιέχουν μικρές ποσότητες βελτιωτικών για να αντέχουν περισσότερο στην οξείδωση.
- *Υψηλών προδιαγραφών ορυκτέλαια (Heavy Duty oil)*. Τα υψηλών προδιαγραφών ορυκτέλαια περιέχουν αυξημένες ποσότητες βελτιωτικών προσθέτων, των οποίων το είδος και η ποσότητα εξαρτάται από τη χρήση τους.
- *Αλκαλικά ορυκτέλαια (alkaline oils)*. Περιέχουν αλκαλικά βελτιωτικά που εξουδετερώνουν τα οξέα και χημικά πρόσθετα τα οποία αυξάνουν την αντίσταση τους στην οξείδωση και μειώνουν την δημιουργία καταλοίπων. Τα αλκαλικά ορυκτέλαια ταξινομούνται ανάλογα με το TBN και διακρίνονται σε ορυκτέλαια:

- α. Με ελαφριά αλκαλικότητα (TBN 3-14)
- β. Με μέση αλκαλικότητα (TBN 15-39)
- γ. Με υψηλή αλκαλικότητα (TBN 40-400)

Ακόμη τα *κυλινδρέλαια* που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία περιέχουν και άλλα βελτιωτικά τα οποία έχουν σκοπό να διατηρούν την λιπαντική μεμβράνη. Στα πλέον διαδεδομένα κυλινδρέλαια τα αλκαλικά πρόσθετα είναι απολύτως ενσωματωμένα στη μάζα τους (*single phase oil*) ενώ υπάρχουν και κυλινδρέλαια στα οποία τα αλκαλικά πρόσθετα είναι διασκορπισμένα, υπό μικρή στερεά μορφή, στη μάζα του λιπαντικού (*suspension and dispersion oils*).

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ ΜΕΚ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Ο τομέας που δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εξέλιξη των προδιαγραφών ποιότητας είναι εκείνος που αφορά τα λιπαντικά ΜΕΚ.

Η σημαντικότερη ποιοτική κατάταξη των μηχανέλαιων με βάση τη ποιότητα έγινε από την API, σε συνεργασία με τη SAE και ASTM. Πάνω στην συσκευασία των λαδιών πρέπει να αναγράφεται υποχρεωτικά η ένδειξη της προδιαγραφής που δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για την ποιότητα του λιπαντικού. Σε αυτές τις προδιαγραφές, όσο οι αριθμοί ή τα γράμματα ανεβαίνουν, η προδιαγραφή εξελίσσεται και γίνεται αυστηρότερη. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή, τα λιπαντικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- Λιπαντικά βενζινοκινητήρων με το διακριτικό το S (Service) με τα χαρακτηριστικά που δίνονται στον Πίνακα 11-1
- Λιπαντικά πετρελαιοκινητήρων με το διακριτικό το C (Commercial) με τα χαρακτηριστικά που δίνονται στον Πίνακα 11-2

Επειδή οι καθορισμένες στις ΗΠΑ κατηγορίες προδιαγραφών API δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών κινητήρων, οι Ευρωπαίοι κατασκευαστές αυτοκινήτων συνέταξαν τις νέες προδιαγραφές CCMC (ACEA) που δίνονται στους Πίνακα 11-3.

Οι προδιαγραφές της API και της CCMC όσον αφορά στους πετρελαιοκινητήρες έχουν μεγάλες διαφορές. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στις διαφορετικές απαιτήσεις λίπανσης που έχουν οι Αμερικανικοί και οι Ευρωπαϊκοί πετρελαιοκινητήρες, επειδή ο σχεδιασμός της κεφαλής του εμβόλου είναι διαφορετικός. Για αυτό οι ιδιοκτήτες Ευρωπαϊκών πετρελαιοκινητήρων θα πρέπει να χρησιμοποιούν μηχανέλαια Ευρωπαϊκών προδιαγραφών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-1

Κατάταξη των Λιπαντικών Βενζινοκινητήρων κατά API

Κατηγορία API	Χαρακτηριστικά Λιπαντικών Βενζινοκινητήρων
SA	Λάδι χωρίς πρόσθετα. Αυτή η κατηγορία δεν έχει καμία ποιοτική απαίτηση. Έχει καταργηθεί.
SB	Λάδι με αντιοξειδωτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα. Έχει καταργηθεί.
SC	Λάδι που περιέχει πρόσθετα κατά της δημιουργίας ψυχρών και θερμών καταλοίπων, αντιφθοράς, αντιοξειδωτικά και αντιδιαβρωτικά. Έχει καταργηθεί.
SD	Πιο ενισχυμένη της κατηγορίας SC, οπότε και ανταποκρίνεται σε δυσμενέστερες συνθήκες λειτουργίας. Έχει καταργηθεί.
SE	Ακόμη πιο ενισχυμένα λάδια, με πρόσθετα ίδια των κατηγοριών SC και SD, για πιο βαριές συνθήκες λειτουργίας. Χρησιμοποιούνται για κινητήρες κατασκευής 1964-1971.
SF	Λάδι ενισχυμένο για να καλύπτει ακόμη βαρύτερες συνθήκες λειτουργίας. Έχει πρόσθετα ελέγχου καταλοίπων σε υψηλές θερμοκρασίες και ενισχυμένη αντιοξειδωτική ικανότητα και αντιτριβική προστασία. Συνιστάται για κινητήρες του 1972 και μετά.
SG	Τέθηκε σε ισχύ το 1988 και υπερτερεί κατά πολύ της κατηγορίας SF στην προστασία των μαύρων καταλοίπων. Επίσης καλύπτει τις απαιτήσεις των κινητήρων νέας τεχνολογίας και εξασφαλίζει μεγαλύτερη προστασία κατά της φθοράς και αυξημένη αντοχή σε λειτουργία στις υψηλές θερμοκρασίες.
SH	Πιο ενισχυμένη κατηγορία έναντι της SG, ιδιαίτερα στην εσωτερική καθαρότητα κινητήρα, στον έλεγχο λάσπης και στην οικονομία καυσίμου.
SJ	Πιο ενισχυμένη κατηγορία από την SH. Ανταποκρίνεται και στις απαιτήσεις ILSAC-GF2 των κατασκευαστών της Αμερικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-2

Κατάταξη των Λιπαντικών Πετρελαιοκινητήρων κατά API

Κατηγορία API	Χαρακτηριστικά Λιπαντικών Πετρελαιοκινητήρων
CA	Λάδια για πολύ ελαφριές συνθήκες λειτουργίας με λίγα πρόσθετα. Έχει καταργηθεί.
CB	Λάδια για μέτριες συνθήκες λειτουργίας με πρόσθετα. Έχει καταργηθεί.
CC	Λάδια για μέτριες μέχρι βαριές συνθήκες λειτουργίας Έχει καταργηθεί.
CD	Λάδια ενισχυμένα με απορρυπαντικά, διασκορπιστικά, αντιδιαβρωτικά και αντιτριβικά πρόσθετα. Κατάλληλα για δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας για κινητήρες που καίνε καύσιμο οποιασδήποτε ποιότητας.
CD-II	Συμπληρώνει τη προηγούμενη κατηγορία και αφορά τους δίχρονους ντηζελοκινητήρες.
CE	Λάδια υπερενισχυμένο, με απορρυπαντικά, διασκορπιστικά και αντιτριβικά πρόσθετα. Κατάλληλα για όλους τους τύπους των ντηζελοκινητήρων, ατμοσφαιρικούς ή με υπερπλήρωση. Κατάλληλα για όλους τους κινητήρες από το 1983 μέχρι σήμερα.
CF-2	Λάδια υπερενισχυμένα, κατάλληλα για λίπανση δίχρονων ντηζελοκινητήρων. Επιτυγχάνουν υψηλού βαθμού έλεγχο των επικαθήσεων και της εσωτερικής καθαρότητας.
CF-4	Λάδια υπερενισχυμένα, κατάλληλα για όλους τους τύπους των ντηζελοκινητήρων. Ανώτερα της προδιαγραφής CE στον έλεγχο της κατανάλωσης και των επικαθήσεων στα έμβολα.
CG-4	Λάδια υπερενισχυμένα, κατάλληλα για όλους τους τύπους των πετρελαιοκινητήρων νεότερης τεχνολογίας, με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (<0,05%). Ανώτερα των προδιαγραφών CG-4 στον έλεγχο της κατανάλωσης και των επικαθήσεων στα έμβολα και πιο ενισχυμένα στο χειρισμό αιθάλης και στη μείωση εκπομπών αέριων ρύπων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-3

Κατάταξη των Λιπαντικών κατά CCMC

- Κατάταξη των Λιπαντικών Βενζινοκινητήρων

Σύμβολο	Εξήγηση
G1	Ισοδύναμη με την API SE.
G2	Ισοδύναμη με την API SF.
G3	Ισοδύναμη με την API SF με έμφαση στις χαμηλές θερμοκρασίες.

- Κατάταξη των Λιπαντικών Πετρελαιοκινητήρων

Σύμβολο	Εξήγηση
D1	Για κινητήρες χωρίς υπερπλήρωση και ελαφριές συνθήκες λειτουργίας.
D2	Για κινητήρες και με υπερπλήρωση και μέτριες συνθήκες λειτουργίας.
D3	Για κινητήρες και με υπερπλήρωση και βαριές συνθήκες λειτουργίας.
PD1	Για κινητήρες με ή χωρίς υπερπλήρωση.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ ΜΕΚ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΙΞΩΔΕΣ

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες προδιαγραφής ορυκτελαίων με βάση το ιξώδες. Από αυτά θα αναφερθούν η τυποποίηση SAE και η τυποποίηση ISO.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται αυτές οι προδιαγραφές επισημαίνοντας τις παρακάτω παρατηρήσεις:

- Η τυποποίηση SAE έχει κλίμακα που κατατάσσει τα λάδια σε βαθμίδες ιξώδους-νούμερα. Κατά την τυποποίηση SAE στις χαμηλές θερμοκρασίες μετρείται το δυναμικό ιξώδες του λαδιού (cP) και στις υψηλές θερμοκρασίες το κινηματικό ιξώδες (cSt) στους 100 °C. Επίσης έχει εισαχθεί το όριο αντλησιμότητας (προσδιορισμός της μέγιστης θερμοκρασίας ώστε το δυναμικό ιξώδες του λιπαντικού να είναι 30000 cP) που είναι μέτρο των χαρακτηριστικών της ροής του λαδιού στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Όταν δίπλα στη κατηγορία SAE υπάρχει το σύμβολο, W, που είναι το πρώτο γράμμα της Αγγλικής λέξης

Winter, τότε το λιπαντικό είναι κατάλληλο για κλίματα με πολύ μικρές θερμοκρασίες. Πολύτυπα (Multigrade Oils) χαρακτηρίζονται τα ορυκτέλαια που, χάρις στα πρόσθετα που περιέχουν, παρουσιάζουν το απαιτούμενο ιξώδες ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας. Δηλαδή είναι παχύρευστα στις υψηλές θερμοκρασίες και λεπτόρευστα στις χαμηλές. Συμβολίζονται ως SAE 5W/20, SAE 20W/40 κ.λ.π. Το λάδι SAE 20W/40 συμπεριφέρεται ως λάδι SAE 20W (λεπτόρευστο) στις χαμηλές θερμοκρασίες και ως λάδι SAE 40 (παχύρευστο) στις υψηλές θερμοκρασίες.

- ⊖ Στην τυποποίηση ISO το ιξώδες εκφράζεται σε μονάδες σε cSt σε θερμοκρασία 40 °C. Η ταξινόμηση γίνεται σε 18 κατηγορίες ρευστότητας από 2 μέχρι 1500 cSt και καλύπτει όλων των ειδών τα λιπαντικά. Η κάθε κατηγορία αριθμείται από το ιξώδες στο μέσο των ορίων της με μια μικρή απόκλιση από αυτήν την τιμή π.χ. το ISO 7 έχει ιξώδες στους 40 °C από 19,8 μέχρι 24,2 cSt και αντιπροσωπεύεται με μέση τιμή τα 22 cSt.
- ⊖ Όσο ο αριθμός SAE ή ISO μεγαλώνει, το λάδι γίνεται πιο παχύρευστο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-4

Κατάταξη των Μηχανέλαιων με βάση το Ιξώδες κατά SAE J300d

Αριθμός SAE	Δυναμικό Ιξώδες (cP) Μέγιστο	Κινηματικό Ιξώδες (cSt) στους 100 °C		Όριο
		Ελάχιστο	Μέγιστο	Αντλησιμότητας (°C) Μέγιστο
0 W	<3250 (-30 °C)	3,8	-	- 35
5 W	<3500 (-25 °C)	3,8	-	- 30
10 W	<3500 (-20 °C)	4,1	-	- 25
15 W	<3500 (-15 °C)	5,6	-	- 20
20 W	<4500 (-10 °C)	5,6	-	- 15
25 W	<6000 (-5 °C)	9,3	-	- 10
20		5,6	9,3	-
30		9,3	12,5	-
40		12,5	16,3	-
50		16,3	21,9	-

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-5

Προσεγγιστικές Τιμές του Ιξώδους σε Βαθμίδες Ρευστότητας SAE

Αριθμός SAE	Κινηματικό Ιξώδες			
	Θερμοκρασία 40 °C		Θερμοκρασία 50 °C	
	cSt	°E	cSt	°E
5W	12,5	2,5	12	2
10W	30	4	21	3,5
20W	70	9	45	6
30	104	14,5	64	8,5
40	160	21	95	12,5
50	240	31	132	17,5

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-6

Κατάταξη των Μηχανέλαιων με βάση το Ιξώδες κατά ISO

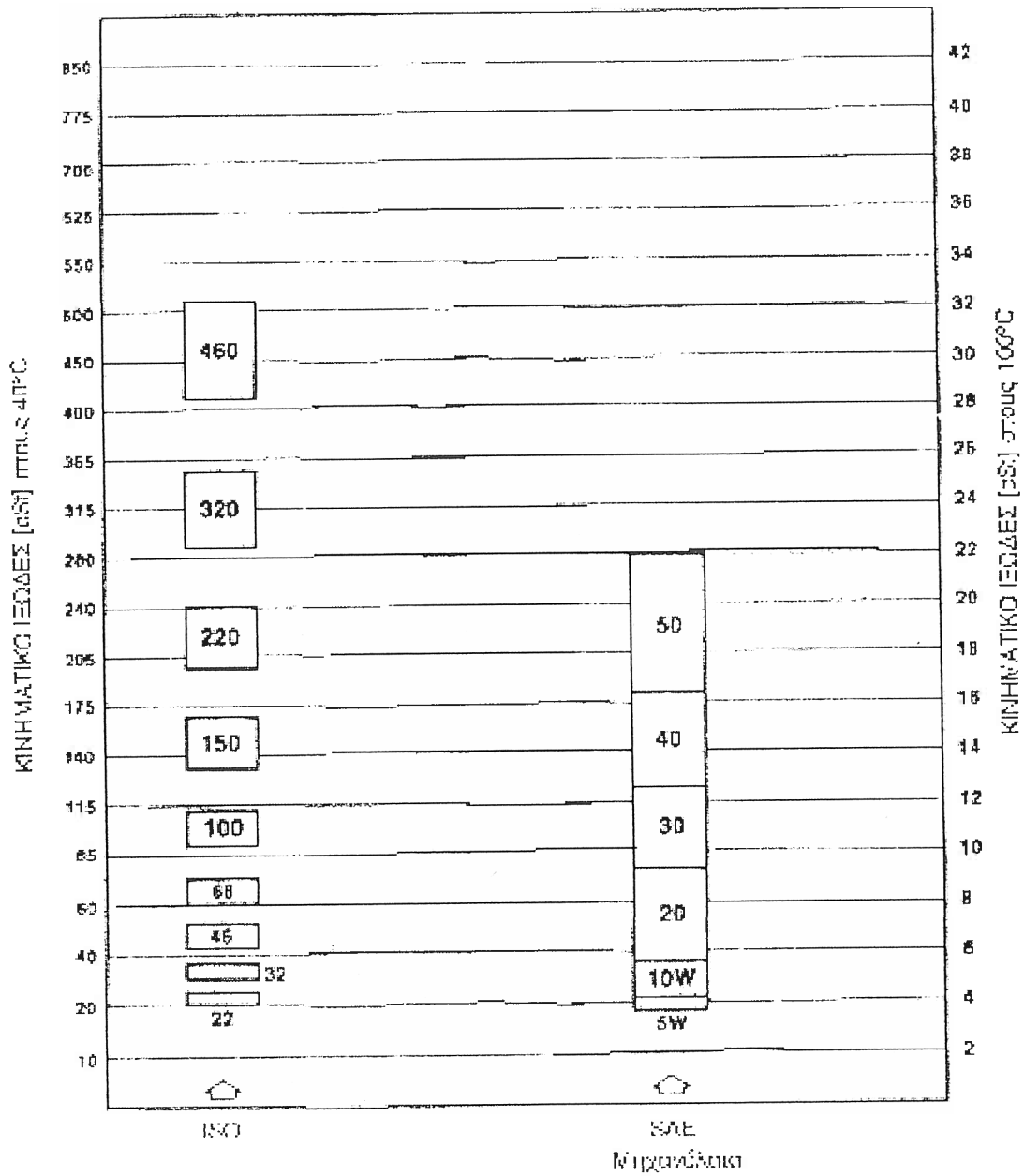
Κατηγορία ISO	Μέσος Όρος Κινηματικού Ιξώδους [cSt] στους 40 °C	Όρια Κινηματικών Ιξωδών (cSt) στους 40 °C	
		Ελάχιστο	Μέγιστο
2	2,2	1,98	2,42
3	3,2	2,88	3,52
5	4,6	4,14	5,06
7	6,8	6,12	7,48
10	10	9	11,00
15	15	13,5	16,5
22	22	19,8	24,2
32	32	28,8	35,2
46	46	41,4	50,6
68	68	61,2	74,8
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748

1000 1000 900 1100
 1500 1500 1350 1650

Στον Πίνακα 11-7 φαίνονται οι αντιστοιχίες μεταξύ των δύο συστημάτων SAE και ISO.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-7

Αντιστοιχία του Κινηματικού Ιξώδους μεταξύ των Συστημάτων SAE και ISO



11-3 Λιπαντικά λίπη (Γράσσα)

Η κατάταξη των γράσσων γίνεται με βάση τη συνεκτικότητα και τη ποιότητα τους.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΓΡΑΣΣΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η κατάταξη των γράσσων με βάση τη συνεκτικότητα που έγινε από το Εθνικό Ινστιτούτο Λιπαντικών Λιπών NLGI (National Lubricating Greases Institute) δίνεται στον Πίνακα 11-8.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-8

Ταξινόμηση των Γράσσων κατά NLGI

Κατηγορία NLGI	Συνεκτικότητα	Κατεργασμένη Διεισδυτικότητα κατά ASTM στους 25 °C
000	Πολύ Ρευστό	445-475
00	Ρευστό	400-430
0	Ημίρευστο	355-385
1	Πολύ Μαλακό	310-340
2	Μαλακό	265-295
3	Ημισκληρό	220-250
4	Σκληρό	175-205
5	Πολύ Σκληρό	130-160
6	Στερεό	85-115

Είναι ευνόητο ότι στα μαλακά γράσσα, όπου ο κώνος εισδύει βαθύτερα (βλ.Κεφ.10), αναφέρονται μεγαλύτερες τιμές διεισδυτικότητας.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΓΡΑΣΣΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Η κατάταξη των γράσσων με βάση την ποιότητα έγινε από τους Γερμανικούς Κανονισμούς DIN (Deutsche Industrie Norm) και δίνεται στον Πίνακα 11-9 και στον Πίνακα 11-10.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-9

Κατάταξη των Γράσσων Σύμφωνα με τη Χρήση τους κατά DIN 51502

Είδος Γράσσου	Σύμβολο
Γράσσα εδράνων κύλισης σύμφωνα με το DIN 51825, για θερμοκρασίες από - 20 μέχρι 140 °C	K
Γράσσα για υψηλές καταπονήσεις και θερμοκρασίες από - 20 μέχρι 140 °C	KP
Γράσσα για θερμοκρασίες > 140 °C	KH
Γράσσα ειδικά για χαμηλές θερμοκρασίες από - 30 μέχρι 120 °C	KTA
από - 440 μέχρι 120 °C	KTB
από - 55 μέχρι 120 °C	KTC
Γράσσα κλειστών οδοντωτών τροχών	G
Γράσσα ανοικτών οδοντωτών τροχών	OG
Γράσσα εδράνων ολίσθησης	M
Συνθετικά γράσσα:	
Εστέρες	E
Πολυγλυκόλες	PG
Σιλικόνες	SI

ΠΙΝΑΚΑΣ 11-10

Κατάταξη των Γράσσων Σύμφωνα με τη Συμπεριφορά στο Νερό και τη Θερμοκρασία Λειτουργίας κατά DIN 51502

Σύμβολο	Συμπεριφορά στο Νερό	Θερμοκρασίας Λειτουργίας
B	0 ή 1	από - 20 μέχρι 50 °C
C	0 ή 1	από - 20 μέχρι 60 °C
D	2 ή 3	από - 20 μέχρι 60 °C
E	0 ή 1	από - 20 μέχρι 80 °C
F	2 ή 3	από - 20 μέχρι 80 °C
G	0 ή 1	από - 20 μέχρι 100 °C
H	2 ή 3	από - 20 μέχρι 100 °C
K	0 ή 1	από - 20 μέχρι 120 °C
M	2 ή 3	από - 20 μέχρι 120 °C

N	0 ή 1	από - 20 μέχρι 140 °C
R	0 ή 1	από - 20 μέχρι 140 °C

0= Καμία, 1= Λίγη, 2: Μέτρια, 3: Ισχυρή Μεταβολή

Λίπανση των ΜΕΚ - Χειρισμός Λιπαντικών

12-1 Εισαγωγή

Μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) ονομάζονται οι θερμικές μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν ένα μέρος της θερμικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανικό έργο. Ανάλογα με το τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας, οι μηχανές εσωτερικής καύσης διακρίνονται σε:

- Εμβολοφόρες ΜΕΚ (Βενζινομηχανές, Πετρελαιομηχανές, Αερομηχανές)
- Αεροστρόβιλους

Η πλήρη περιγραφή της λίπανσης όλων των κατηγοριών ΜΕΚ είναι πέρα από το σκοπό αυτών των σημειώσεων. Για τον λόγο αυτό στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη περιγραφή της λίπανσης των βενζινομηχανών και των πετρελαιομηχανών και θα δοθεί έμφαση στις ναυτικές αργόστροφες πετρελαιομηχανές.

12-2 Εμβολοφόρες ΜΕΚ

Τα διάφορα στοιχεία των εμβολοφόρων ΜΕΚ εκτελούν δύο ειδών κινήσεις:

- Ευθύγραμμη παλινδρομική (έμβολα, βαλβίδες κ.λ.π.)
- Περιστροφική συνεχής (κεφαλές διωστήρων, έδρανα στροφαλοφόρου άξονα κ.λπ.)

Η σωστή λειτουργία των μηχανών προϋποθέτει τη μείωση των τριβών που αναπτύσσονται στα κινούμενα μέρη τους, η οποία επιτυγχάνεται με τα διάφορα συστήματα λίπανσης.

ΛΙΠΑΝΣΗ ΒΕΝΖΙΝΟΜΗΧΑΝΩΝ, ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΑΙΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Ταχύστροφες πετρελαιομηχανές ονομάζονται εκείνες που έχουν διάμετρο κυλίνδρων $D < 250$ mm και αριθμό περιστροφών $n > 1000$ στρ./min. Οι διωστήρες συνδέονται απευθείας με τους πείρους των εμβόλων και το σύστημα λίπανσης είναι κοινό για τους κυλίνδρους και το στροφαλοθάλαμο. Χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία (γεννήτριες, βοηθητικά μηχανήματα, κύρια κίνηση σε μικρά πλοία), στη βιομηχανία, στα μηχανήματα τεχνικών έργων, στα φορτηγά και επιβατηγά οχήματα και λειτουργούν με ελαφρύ πετρέλαιο.

Μεσαίων στροφών πετρελαιομηχανές ονομάζονται εκείνες που έχουν διάμετρο κυλίνδρων D από 250 μέχρι 500 mm και αριθμό περιστροφών

η από 350 μέχρι 1000 στρ./min. Οι διωστήρες συνδέονται απευθείας με τους πείρους των εμβόλων και το σύστημα λίπανσης είναι κοινό για τους κυλίνδρους και το στροφαλοθάλαμο. Χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία (βοηθητικά μηχανήματα, κύρια κίνηση σε πλοία) και στη βιομηχανία και λειτουργούν με πετρέλαιο που περιέχει θείο.

Παλαιότερα, όταν οι πιέσεις και οι ταχύτητες που αναπτύσσονταν ήταν αισθητά μικρότερες, η λίπανση των μηχανών αυτών (Μηχανές Trunk Piston) γινόταν με *λουτρό λαδιού* που υπήρχε στη βάση της μηχανής (ελαιολεκάνη). Στη κεφαλή του διωστήρα υπήρχε ένας μικρός σωλήνας, ο οποίος σε κάθε περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα βυθιζόταν στην ελαιολεκάνη και πετούσε (πιτσιλούσε) το λάδι στις τριβόμενες επιφάνειες. Με το τρόπο αυτό το λάδι έφθανε στα έμβολα και στους κυλίνδρους και επέστρεφε εξαιτίας της βαρύτητας στην ελαιολεκάνη. Η λίπανση του πείρου ο οποίος συνδέει το έμβολο με το πόδι του διωστήρα, γινόταν με το λάδι που επέστρεφε από το έμβολο ή με εκείνο που επέστρεφε από την εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου.

Σήμερα η λίπανση των μηχανών αυτών γίνεται με *κεντρικό σύστημα αντλίας*. Η αντλία του λαδιού, η οποία είναι συνήθως γραναζωτή, κινείται από το στροφαλοφόρο άξονα στις πετρελαιομηχανές και από τον εκκεντροφόρο στις βενζινομηχανές. Η αντλία αναρροφά το λάδι από την ελαιολεκάνη της μηχανής και το στέλνει στο ψυγείο του λαδιού. Από εκεί το λάδι με τη βοήθεια του κεντρικού αγωγού διανομής, που βρίσκεται κατά μήκος του κινητήρα και από τον οποίο ξεκινούν όλες οι επί μέρους σωληνώσεις διανομής, πηγαίνει στα διάφορα μέρη της μηχανής. Πρώτα φθάνει στους τριβείς των εδράνων. Αφού λιπώνει τα κομβία τους εισέρχεται στο στροφαλοφόρο άξονα που είναι διάτρητος και φθάνει στους τριβείς των κεφαλών των διωστήρων. Στη συνέχεια ανεβαίνει μέσα από τους διάτρητους διωστήρες και φθάνει στους πείρους των εμβόλων. Ταυτόχρονα μία μικρή ποσότητα λαδιού φεύγει από τα άκρα των πείρων λιπαίνοντας το εσωτερικό των κυλίνδρων. Στη συνέχεια το λάδι επιστρέφει στην ελαιολεκάνη με τη βοήθεια της βαρύτητας.

Μία άλλη διακλάδωση μετά από το ψυγείο λιπαίνει με τον ίδιο τρόπο τους τριβείς του εκκεντροφόρου άξονα και των αγκωνωτών μοχλών των βαλβίδων, καθώς επίσης και τους τριβείς των αξόνων των διαφόρων οδοντωτών τροχών. Στη συνέχεια και αυτή η ποσότητα του λαδιού συγκεντρώνεται στην ελαιολεκάνη. Τέλος το λάδι που φεύγει από τους τριβείς των κεφαλών των διωστήρων, εκτοξεύεται προς όλες τις διευθύνσεις και λιπαίνει το εσωτερικό των κυλίνδρων και τα έκκεντρα.

Στις *δίχρονες βενζινομηχανές* το λάδι αναμιγνύεται μέσα στη βενζίνη σε αναλογία 1/16 μέχρι 1/40 και η λίπανση γίνεται με ένα ιδιαίτερο τρόπο. Καθώς λοιπόν αναρροφάται το μίγμα καυσίμου - αέρα, το οποίο περιέχει και λάδι, πραγματοποιείται η λίπανση των διαφόρων μερών της μηχανής και του εσωτερικού του κυλίνδρου. Έτσι λοιπόν οι μηχανές αυτές πρέπει να καθαρίζονται συχνότερα, επειδή μαζί με τη βενζίνη καίνε και μικρή ποσότητα λαδιού.

ΛΙΠΑΝΣΗ ΑΡΓΟΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Αργόστρφες πετρελαιομηχανές ονομάζονται εκείνες που έχουν διάμετρο $D > 500$ mm και αριθμό περιστροφών $n < 350$ στρ./min. Οι μηχανές αυτές είναι δίχρονες, λειτουργούν με βαρύ πετρέλαιο και χρησιμοποιούνται κυρίως στη ναυτιλία (Μηχανές Crosshead). Η σύνδεση των διωστήρων και των εμβόλων γίνεται με βάκτρο και ζύγωμα. Ο χώρος καύσης χωρίζεται από το στροφαλοθάλαμο με ένα διάφραγμα, με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορετικό σύστημα λίπανσης για τους κυλίνδρους και το στροφαλοθάλαμο.

- **Λίπανση Εδράνων**

Γίνεται με κεντρικό σύστημα αντλίας όπως ακριβώς και στα άλλα είδη των πετρελαιομηχανών.

- **Λίπανση Κυλίνδρων**

Γίνεται με τη βοήθεια ειδικών αντλιών (λουμπρικέτων), που κινούνται από τον εκκεντροφόρο άξονα της μηχανής και καταθλίζουν το λάδι σε δύο μέχρι οκτώ σημεία της περιφέρειας των κυλίνδρων. Έχουμε δηλαδή ένα σύστημα λίπανσης ολικής απώλειας (καύση λιπαντικού), που είναι τελείως ανεξάρτητο από το κεντρικό σύστημα που εξασφαλίζει τη λίπανση των εδράνων του στροφαλοφόρου άξονα. Τα λάδια που χρησιμοποιούνται σε κάθε σύστημα είναι διαφορετικά αλλά δεν αναμειγνύονται, επειδή ένα διάφραγμα χωρίζει το θάλαμο καύσης από το στροφαλοθάλαμο. Αξίζει να σημειωθεί ότι για κάθε σημείο λίπανσης έχουμε μία αντλία, ενώ όλες οι αντλίες εξυπηρετούνται από μία κοινή δεξαμενή λαδιού.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην παροχή του λιπαντικού. Η παροχή του λιπαντικού για κάθε κατασκευαστή μηχανής είναι διαφορετική, ανάλογα με το σχεδιασμό του τρόπου λίπανσης, την τοποθέτηση των λουμπρικέτων, τις συνθήκες λειτουργίας και βέβαια, την εμπειρία του Α' μηχανικού να εκτιμήσει σωστά αυτούς τους παράγοντες, ρυθμίζοντας αποτελεσματικά την ποσότητα του λιπαντικού. Μια συνηθισμένη παροχή είναι μεταξύ 0,5-1,1 g/kWh ή και ακόμη μεγαλύτερη 1,1-1,5 g/kWh.

Εάν η ποσότητα είναι λίγη, θα προκύψει ανεπαρκής μεμβράνη λίπανσης και θα έχουμε επαφή μετάλλου με μέταλλο και ως αποτέλεσμα μηχανική και διαβρωτική τριβή, γιατί δε θα εξουδετερώνεται όλο το σχηματιζόμενο οξύ. Η μεγαλύτερη ποσότητα λιπαντικού από όση χρειάζεται, είναι επίσης επιβλαβής, γιατί δημιουργεί περισσότερα υπολείμματα καύσης του λιπαντικού.

Επίσης τα προβλήματα της καύσης επηρεάζουν άμεσα τη λίπανση καθώς το άκαυστο καύσιμο ξεπλένει τη μεμβράνη λίπανσης, δημιουργώντας τις ίδιες συνθήκες όπως και η ανεπαρκής ποσότητα λιπαντικού.

12-3 Χαρακτηριστικά των Λιπαντικών ΜΕΚ

Οι ειδικές συνθήκες που επικρατούν στις εμβολοφόρες ΜΕΚ (υψηλή θερμοκρασία και πίεση, περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο, ατελής καύση κ.λ.π.), επιβάλλουν τη χρήση λαδιών με πρόσθετα. Τέλος απαραίτητη θεωρείται η χρήση συνθετικών λαδιών στη λίπανση των αεροστροβίλων.

Πέρα από το κατάλληλο ιξώδες σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας τα λιπαντικά ΜΕΚ πρέπει να έχουν και κατάλληλα πρόσθετα ώστε να διαθέτουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά.

ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ BENZINOMHΧΑΝΩΝ, ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΑΙΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Τα χρησιμοποιούμενα λάδια στις μηχανές αυτές πρέπει να περιέχουν τα ακόλουθα πρόσθετα:

- Αντιοξειδωτικά εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών (μεγαλύτερες από 1600 °C) που προκαλούν την οξείδωση του λαδιού
- Απορρυπαντικά και διασκορπιστικά για το διασκορπισμό των καταλοίπων που βοηθούν στο σχηματισμό της λάσπης
- Υψηλών πιέσεων για τη συνεχή διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης
- Αντιαφριστικά για να μην δημιουργείται αφρός από το ζωηρό ανακάτεμα του λαδιού, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού περιστροφών
- Βελτιωτικά του Δείκτη Ιξώδους για τη διατήρηση της ρευστότητας του λαδιού στις διάφορες θερμοκρασιακές μεταβολές (χαμηλή θερμοκρασία στο ξεκίνημα και υψηλή κατά τη λειτουργία της μηχανής)
- Αλκαλικά για την εξουδετέρωση των θεικών οξέων που δημιουργούνται από την αντίδραση του θείου του καυσίμου με το νερό. Είναι ευνόητο ότι όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε θείο, τόσο λιγότερα αλκαλικά πρόσθετα χρειάζονται

ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΑΡΓΟΣΤΡΟΦΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Τα λάδια που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των εδράνων πρέπει να περιέχουν αντιοξειδωτικά, αντιαφριστικά και αλκαλικά πρόσθετα (σε μικρή ποσότητα για την εξουδετέρωση των διαβρωτικών οξέων που μπορεί να διαρρεύσουν από τους κυλίνδρους προς το στροφαλοθάλαμο).

Τα λάδια που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των κυλίνδρων πρέπει να διαθέτουν μεγάλη θερμική και χημική σταθερότητα και να περιέχουν απορρυπαντικά - διασκορπιστικά και αλκαλικά πρόσθετα.

Οι αρνητικές επιπτώσεις της μεγάλης περιεκτικότητας υπολειμμάτων στα καύσιμα ναυτιλίας αντιμετωπίζονται με την εκλογή ενός κατάλληλου λιπαντικού όπως φαίνεται στον Πίνακα 12-1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12-1

Λάδια Κυλίνδρων και Εδράνων στις Πετρελαιομηχανές

Είδος Λαδιών	TBN (mgKOH/ /gr)	Στάχτη (%)	SAE	Χρήση	Καύσιμο	
ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ	Κανονικής αλκαλικότητας	10	1,5	30	Ταχύστροφες πετρελαιομηχ.	Πετρέλαιο με S<1%
	Μέσης αλκαλικότητας	30	3,8	30 40	Ταχύστροφες πετρελαιομηχ.	Βαρύ πετρέλαιο με S από 1 μέχρι 3%
	Υψηλής αλκαλικότητας	40	5	50	Πετρελαιομηχ. μεσαίων στροφών	IFO με S<4%
ΕΔΡΑΝΩΝ	Υψηλής αλκαλικότητας	70	8,5	50	Αργόστροφες πετρελαιομηχ.	IFO με S<4%
	Χωρίς πρόσθετα	0	0	30	Πετρελαιομηχ. με βάκτρο και ψύξη εμβόλων με νερό	
	Με πρόσθετα	0	0,8	30	Πετρελαιομηχ. με βάκτρο και ψύξη εμβόλων	

12-4 Επιλογή και Συμβατότητα Λιπαντικών

Το λιπαντικό είναι ένα προϊόν υψηλής τεχνολογίας και θεωρείται αναπόσπαστο λειτουργικό μέρος του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η σωστή επιλογή του λιπαντικού εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Γνώση των βασικών αρχών λίπανσης
- Γνώση των συνθηκών λειτουργίας της μηχανής και του είδους του καυσίμου που χρησιμοποιείται

- Βαθμός συντήρησης της μηχανής
- Απόλυτη συμμόρφωση στις οδηγίες του κατασκευαστή της μηχανής
- Συνεργασία με τις εταιρείες λιπαντικών

Η σωστή επιλογή όμως ενός λιπαντικού δεν είναι αρκετή. Θα πρέπει στη συνέχεια να ληφθεί μέριμνα σχετικά με τη τήρηση των συνθηκών λειτουργίας που προβλέπονται.

Η ανάμιξη λιπαντικών πρέπει να γίνεται προσεκτικά εφαρμόζοντας τους κανόνες ανάμιξης προκειμένου να αποφύγουμε προβλήματα.

Όπως αναφέρθηκε τα λιπαντικά περιέχουν διάφορα πρόσθετα. Κατά την ανάμιξη υπάρχει ο κίνδυνος μεταξύ των διαφόρων πρόσθετων που χρησιμοποιούνται να γίνει χημική αντίδραση, όταν αναμιχθούν μη συμβατά λιπαντικά. Πρόσθετα τα οποία είναι αλκαλικά, μπορούν να αντιδράσουν με άλλα που είναι όξινα και να δημιουργήσουν ίζημα (λάσπη). Το αποτέλεσμα θα είναι να φράξουν τα φίλτρα και να μην έχουμε λίπανση, με όλα τα επακόλουθα. Σε μια τέτοια περίπτωση θα χρειαστεί όχι μόνο η αλλαγή λιπαντικού αλλά συνεχείς πλύσεις χρησιμοποιώντας φρέσκο κατάλληλο λιπαντικό, για να καθαριστεί όλο το σύστημα, φίλτρα κ.τ.λ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούν να αναμιχθούν:

- Μηχανέλαια για μηχανές με σταυρό (αλκαλικά και χωρίς TBN)
- Ενισχυμένα αλκαλικά μηχανέλαια για μηχανές Trunk Piston
- Υδραυλικά λιπαντικά του ίδιου τύπου
- Τουρμπινέλαια
- Γράσσα με τον ίδιο παχυντή

Δεν μπορούν να αναμιχθούν:

- Μηχανέλαια με υδραυλικά ή τουρμπινέλαια
- Ψυκτικά λιπαντικά, γιατί τα περισσότερα είναι συνθετικά
- Μηχανέλαια κανονικά με μηχανέλαια συνθετικά
- Γράσσα με διαφορετικό παχυντή και κυρίως τα γράσσα με σάπωνα νατρίου

Στα κυλινδρέλαια δεν υπάρχει έντονο πρόβλημα ανάμιξης αφού το σύστημα λίπανσης στους κυλίνδρους είναι ολικής απώλειας (δηλαδή καίγεται το λιπαντικό) και είναι δυνατόν να αναμιγνύονται μικρές ποσότητες λιπαντικών. Οπότε όταν πραγματοποιείται αλλαγή, με άλλης εταιρίας λιπαντικό, πρέπει να προσέχουμε να μην ανακατεύονται μεγάλες ποσότητες. Για τον λόγο αυτό κατά την διαδικασία αλλαγής αφήνουμε τη στάθμη να πέσει όσο γίνεται, χωρίς βέβαια να προκαλέσει πρόβλημα στον ανεφοδιασμό του πλοίου, και μετά συμπληρώνουμε με το νέο κυλινδρέλαιο.

Όταν η ανάμιξη των γράσσων με διαφορετικό παχυντή είναι αναπόφευκτη (π.χ. αντικατάσταση ενός προϊόντος με ένα άλλο), θα πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω οδηγίες:

- Απομάκρυνση του παλαιού γράσσου από το εσωτερικό των εδράνων και των σωληνώσεων (αν υπάρχει κεντρικό σύστημα λίπανσης)
- Αντικατάσταση του παλαιού γράσσου στο δοχείο τροφοδότησης του συστήματος με καινούργιο
- Αποσύνδεση των σωληνώσεων από τα τελικά σημεία λίπανσης και λειτουργία της αντλίας μέχρι να εμφανιστεί το καινούργιο γράσσο
- Επανασύνδεση των σωληνώσεων και λειτουργία του συστήματος με ρύθμιση μεγαλύτερων παροχών, ώστε να απομακρυνθούν γρήγορα τα κατάλοιπα του παλαιού γράσσου από το εσωτερικό των εξαρτημάτων
- Συνεχής παρακολούθηση της θερμοκρασίας των εδράνων

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει καμία σκοπιμότητα για την ανάμιξη μικροποσοτήτων από οποιοδήποτε λιπαντικό. Είναι προτιμότερο να αλλάξουμε το λιπαντικό, όχι μόνο εξαιτίας συμβατότητας αλλά επειδή δεν ξέρουμε εάν είναι κατάλληλο για παραπέρα χρήση.

12-5 Αποθήκευση και Χειρισμός Λιπαντικών

Τα περισσότερα λιπαντικά διατηρούν τις αρχικές τους ιδιότητες για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, πριν αρχίσουν να οξειδώνονται. Δεν πρέπει όμως να εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασίες ή σε συνθήκες μεγάλης υγρασίας.

Ο σωστός χειρισμός και η αποθήκευση σε κλειστό καθαρό χώρο είναι τα απαραίτητα στοιχεία για να αποφύγουμε τη μόλυνση από νερό, τα ξένα σώματα κ.τ.λ.

Για σωστό χειρισμό πρέπει:

- Το σημείο πλήρωσης να προστατεύεται από τις καιρικές συνθήκες και την εισχώρηση θαλασσινού νερού στους σωλήνες
- Να υπάρχει ξεχωριστή γραμμή πλήρωσης για κάθε λιπαντικό
- Να γίνεται καλός αερισμός στις δεξαμενές, προς αποφυγή μόλυνσης από την ατμόσφαιρα και συμπύκνωσης

Αν για κάποιο λόγο η αποθήκευση σε κλειστό χώρο δεν είναι δυνατή, τα βαρέλια ή τα δοχεία που περιέχουν τα λιπαντικά και που παραμένουν στην ύπαιθρο θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από στέγαστρο ή να σκεπάζονται με αδιάβροχο κάλυμμα.

Ανεξάρτητα από το χώρο στον οποίο βρίσκονται, τα βαρέλια πρέπει να τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη (πλαγιαστά) επάνω σε δοκάρια ή παλέτες και να ασφαρίζονται με σφήνες για να μην μπορούν να κυλήσουν. Αν τα βαρέλια παραμείνουν όρθια στην ύπαιθρο, το λάδι μπορεί να μολυνθεί με νερό που θα αναρροφηθεί μέσα από τις ανοχές των πωμάτων. Για το λόγο αυτό τα πώματα (τάπες) των βαρελιών πρέπει να βρίσκονται σε οριζόντια θέση.

Επίσης, σε κάθε περίπτωση, πρέπει να προστατεύεται η επιγραφή της ονομασίας του λιπαντικού.

12-6 Συντήρηση και Καθαρισμός των Λιπαντικών

Οι κύριες προωθητικές νηζελομηχανές των πλοίων διαθέτουν μεγάλης χωρητικότητας συστήματα λίπανσης για την αποθήκευση και τη χρήση του λιπαντικού. Αυτό το γεγονός καθιστά την αλλαγή ολόκληρης της ποσότητας του λιπαντικού σε τακτικά διαστήματα αντιοικονομική. Για το λόγο αυτό το λιπαντικό υποβάλλεται σε συνεχή καθαρισμό κατά τη χρήση του, ώστε να είναι δυνατόν να παρατείνεται η χρησιμοποίηση του για όσο δυνατά μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Η συντήρηση και ο καθαρισμός των λιπαντικών επιτυγχάνεται

- Με τους φυγοκεντρικούς καθαριστές (purifier)
- Με φίλτρα

Οι φυγοκεντρικοί καθαριστές, που περιγράφονται στο Κεφ.8, επιτυγχάνουν το διαχωρισμό του νερού και των ξένων υλών που περιέχει το λιπαντικό. Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται στη διαφορά ειδικού βάρους μεταξύ των ξένων υλών και του λαδιού, την οποία η φυγόκεντρη δύναμη πολλαπλασιάζει.

Ο καθαρισμός των λιπαντικών με τους φυγοκεντρικούς διαχωριστές διευκολύνεται με θέρμανση στην απαιτούμενη θερμοκρασία (80-90 °C). Τα αποτελέσματα του καθαρισμού είναι πολύ καλύτερα, αν το λάδι παραμείνει πριν το καθαρισμό για αρκετό χρονικό διάστημα στις δεξαμενές συντήρησης, στις οποίες τα βαρύτερα συστατικά (νερό, λάσπη, ρινίσματα κ.τ.λ.) κατακάθονται στον πυθμένα, από όπου εύκολα μπορούν να απομακρύνονται. Όσο πιο ενισχυμένο είναι ένα λιπαντικό, τόσο περισσότερες ακαθαρσίες περιέχει κατά τη χρήση του. Για τον λόγο αυτό τα αλκαλικά λιπαντικά απαιτούν περισσότερες ώρες καθαρισμού. Επειδή η πλύση με νερό των αλκαλικών λιπαντικών ελαττώνει το TBN, στα λιπαντικά αυτά απαγορεύεται η χρήση νερού.

Επίσης η αποθήκευση και επεξεργασία του λιπαντικού σε ειδική δεξαμενή (renovating tank) συμβάλλει στην κάθαρση του π.χ. απομάκρυνση νερού.

Όταν το μέγεθος των σωματιδίων των ξένων προσμίξεων ενός λιπαντικού είναι μικρότερο από ορισμένα όρια, η απομάκρυνση τους με φυγοκέντρωση δεν είναι αποτελεσματική. Κατάλοιπα του είδους αυτού αφθονούν στα λιπαντικά που περιέχουν διασκορπιστικά πρόσθετα και πρέπει να απομακρύνονται. Ο καθαρισμός στην περίπτωση αυτή συμπληρώνεται με φίλτρα. Τα φίλτρα μπορεί να είναι μεταλλικά, δικτυωτά ή συρμάτινα, απορροφητικά, διηθητικά και μαγνητικά.

12-7 Αντικατάσταση των Λιπαντικών

Ένα λιπαντικό όσο καλής ποιότητας και αν είναι με την πάροδο του χρόνου μειώνονται οι δυνατότητες του, μολύνεται και απαιτείται η αντικατάσταση του. Ο κατάλληλος χρόνος αντικατάστασης συνήθως δίνεται από τους κατασκευαστές αλλά η αντικατάσταση των λιπαντικών περισσότερο εξαρτάται από:

- Από την μεταβολή του ιξώδους του λιπαντικού
- Την κατάσταση της μηχανής
- Τη λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο
- Τη φυγοκέντριση
- Το είδος του λιπαντικού, κοινό ή ενισχυμένο
- Τη συχνότητα συμπλήρωσης

12-8 Καθαρισμός του Συστήματος Λίπανσης

Ο καθαρισμός συστήματος λίπανσης που περιλαμβάνει δεξαμενές και σωληνώσεις γίνεται όταν στραγγίζεται το λάδι για επισκευές ή όταν γίνεται αντικατάσταση του λιπαντικού για να απομακρυνθούν τα διάφορα σωματίδια που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα. Χρησιμοποιούμε διάλυμα οξέος ακολουθεί ξέπλυμα με αλκαλικό υγρό, κυκλοφορία λαδιού και λειτουργία των φυγοκεντρικών καθαριστών.

Βιβλιογραφία

1. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2002.
2. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ., Καρώνης Δ., Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.
3. Παπαευαγγέλου Τ., Καύσιμα-Λιπαντικά, Αθήνα, 2002.
4. Σταματόπουλου Δ., Εγχειρίδιο Καυσίμων & Λιπαντικών για την Ναυτιλία, Αθήνα, 1993.
5. Περσίδος Σ. Λίπανση & Λιπαντικά, Αθήνα, 2003.
6. Μοστράτος Κ., Καύση-Καύσιμα, Πειραιάς, 1997.
7. Μοστράτος Κ., Λίπανση-Λιπαντικά, Πειραιάς, 1997.
8. Κυριακόπουλος Γ., Τεχνολογία Καυσίμων, ΕΜΠ, Αθήνα 1978.
9. Κυριακόπουλος Γ., Τεχνολογία Λιπαντικών, ΕΜΠ, Αθήνα 1977.
10. Μπίγγος Χ., Καραπάνος Χ., Καύσιμα-Λιπαντικά, Αθήνα, 2000.
11. Βούσουρα Ε., Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Αθήνα, 1994.
12. Νόμπελης Φ., Χημεία για Τεχνολόγους, Αθήνα, 1993.
13. Δανιήλ Γ., Μιμηκόπουλου Κ., Ναυτικοί Ατμολέβητες, Αθήνα, 1998.
14. Kittiwake, Training Resource CD, 2002.
15. Fuel Technology & Management, Ashland, Drew Marine Division, 2002.
16. Ewart W.D., Bunkers: a Guide for the Ship Operator, 1993.
17. Κυριάκου Γ., Η Θεωρία της Οργανικής Χημείας, Αθήνα, 1996.
18. Stuart R., Microbial Attack on Ships and their Equipment, Paper No.4, Session 1994-95.
19. Μοσχοπούλου Μ., Προδιαγραφές – Τύποι Λιπαντικών και Κόστος Λίπανσης, Τεχνικά, 1998.
20. Βιομηχανική Λίπανση., Αποστολίδη Χ., Τεχνικά, 1997.
21. Lane G., Casale P., Chadwick R., SAE Technical Paper Series, Marine/Rail Propulsion Conference, Washington, 1987.
22. Lane G., Modelling and Monitoring of Performance of Lubricants for Marine Diesel Engines, Institution of Mechanical Engineers., 1988.
23. Casele P., Lane G., Marine Diesel Lubricants: Uses and Abuses, The American Society of Mechanical Engineers, 1990.
24. Care of Marine Lubricants, Customer Service Guide, Exxon Company, 1990.
25. Thornton R., Tips, Tricks, and Traps when Purchasing and Using Marine Fuels, Exxon Company, 1989.
26. Customer Service Guide, Exxon Company, 1989.
27. Mello J., Mellor A., NO_x Emission from Direct Injection Diesel Engines with Water/Steam Dilution, Society of Automotive Engineers, 1999.
28. Fleicher F., NO_x Reduction A Technical Challenge for Marine Diesel Engine Manufacturers, The Institute Of Marine Engineers, 1996

29. Yugi D., Guidance on Measures to cope with Degraded Marine Fuel Oils, Trans.Imare, Vol 109, Part 4, pp 365-383, 1997.