



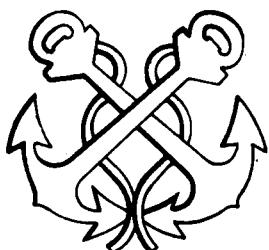
ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΣΧΟΛΕΣ  
ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

## ΚΑΥΣΙΜΑ-ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

Τριαντάφ. Ι. Παπαευαγγέλου  
ΧΗΜΙΚΟΥ ΑΡΧΙΠΛΟΙΑΡΧΟΥ Π.Ν.ε.α.  
ΚΑΘΗΓΗΤΗ Ναυτ. Σχολ. Π.Ν. και Ε.Ν.



**ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**  
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



**ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ  
Α.Δ.Σ.Ε.Ν.  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ**

**Α' ΕΚΔΟΣΗ 1972**

**Β' ΕΚΔΟΣΗ 1986**

**Γ' ΕΚΔΟΣΗ 1995**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου» προείδε ενωρίτατα και σχημάτισε τη βαθιά πεποίθηση ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο του έθνους θα αποτελούσε η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας σε συνδυασμό προς την ηθική τους αγωγή.

Την πεποίθησή του αυτή τη μετέτρεψε σε γενναία πράξη ευεργεσίας, όταν κληροδότησε σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Κατά την κλημάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα πρόταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διαπιστώθηκε πράγματι ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν ορθά θεμέλια στην παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαίδευσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές.

Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61288/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και συγκροτήθηκε και η Επιτροπή Εκδόσεων.

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι σύμφωνο με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του Y.E.N, είναι η παροχή προς τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

Επίσης ελήφθη πρόνοια, ώστε τα βιβλία αυτά να είναι γενικότερα χρήσιμα για δόλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν ήδη το επάγγελμα και εξελίσσονται στην ιεραρχία του κλάδου τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επέρχεται μεταβολή στη στάθμη του περιεχομένου τους.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος καταβάλλουν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των σπουδαστών. Γι' αυτό και τα βιβλία αυτά έχουν προσεγμένη γλωσσική διατύπωση και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαίδευσεως, για την οποία προορίζεται κάθε σειρά των βιβλίων.

Έτσι προσφέρονται στους καθηγητές, τους σπουδαστές της ναυτικής μας εκπαίδευσεως και δόλους τους αξιωματικούς του Ε.Ν. οι εκδόσεις του Ιδρύματος, των οποίων η συμβολή στην πραγματοποίηση του σκοπού του Ευγενίου Ευγενίδου ελπίζεται να είναι μεγάλη.

## ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς, Πρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ.

Ιωάννης Τζαβάρας, αντιναύαρχος Λ.Σ. (Ε.Α.).

Δημήτριος Βασιλάκης, πλοιάρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. έ.Ε.Ν.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Μανάφης**,

καθηγ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, Γεώργιος Ανδρεάκος.



Ι ΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

# ΚΑΥΣΙΜΑ-ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ

ΤΡΙΑΝΤΑΦ. Ι. ΠΑΠΑΕΥΑΓΓΕΛΟΥ  
ΧΗΜΙΚΟΥ  
ΑΡΧΙΠΛΟΙΑΡΧΟΥ Π.Ν. ε.α.  
Καθηγητή Ναυτικών Σχολών Π.Ν. και Ε.Ν.

ΑΘΗΝΑ  
2006





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη για την ανασυγγραφή του βιβλίου «ΚΑΥΣΙΜΑ - ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ» ανέκυψε ύστερα από την αναπροσαρμογή του προγράμματος διδασκαλίας του μαθήματος στις Σχολές Ε.Ν., που εκπονήθηκε από το Υ.Ε.Ν.

Στα περισσότερα σημεία το βιβλίο βασίσθηκε στην έκδοση του Ίδρυματος Ευγενίδου (1993), ενώ σε άλλα χρειάσθηκε είτε η προσαρμογή είτε η συμπλήρωση κεφαλαίων, ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του νέου προγράμματος.

Ειδικότερα,

α) Το «Περί Καύσεως» κεφάλαιο (2) εμπλουτίστηκε με περισσότερα στοιχεία ως προς τον παράγοντα AFR (αναλογία αέρα προς καύσιμο) και ως προς τη σύσταση των καύσαερίων, που περιλαμβάνονται στο Νέο Κανονισμό Εκπαιδεύσεως για την ΑΔΣΕΝ. Στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφονται οι σπουδαιότεροι αναλυτές καυσαερίων (ORSAT, RANAVEX, FYRITE κτλ.).

β) Έγινε διόρθωση των προδιαγραφών στα σπουδαιότερα καύσιμα (βενζίνες, πετρέλαιο) σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα της Ελληνικής Νομοθεσίας και της Ε.Ε. γενικότερα.

γ) Προστέθη νέο Κεφάλαιο «Ρύπανση περιβάλλοντος λόγω καύσεως» (24), η συγγραφή του οποίου βασίστηκε στα στοιχεία που ευγενώς παραχωρήθηκαν από τη Διεύθυνση Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ προς την οποία – και ειδικότερα την κυρία Μ. Φρούσσου – εκφράζονται θερμές ευχαριστίες.

Επειδή όμως η παρούσα έκδοση αποσκοπεί στη συγγραφή ενός βιβλίου, το οποίο, εκτός από τις απαιτήσεις ενός εκπαιδευτικού κειμένου, θα μπορούσε να αποτελέσει και βοήθημα για το μηχανικό του Ε.Ν. στην επαγγελματική του σταδιοδρομία, γι' αυτό ο συγγραφέας έχει κατ' ανάγκη επεκταθεί και σε άλλα θέματα. Τα θέματα αυτά βέβαια δεν προβλέπονται από το ισχύον εκπαιδευτικό πρόγραμμα του Υ.Ε.Ν., θεωρήθηκαν όμως απαραίτητα για τη γενικότερη επαγγελματική μόρφωση του μηχανικού του Ε.Ν., αλλά και για την ενημέρωση στις νεότερες εξελίξεις στον τομέα της Τεχνολογίας των Καυσίμων και Λιπαντικών.

Μερικά από τα Κεφάλαια αυτά, όπως π.χ. το κεφ. 11 «Στερεά καύσιμα» και το κεφ. 13 «Καύσιμα πυραύλων» έχουν στοιχειοθετηθεί με μικρότερα τυπογραφικά στοιχεία, ώστε ο διδάσκων κατά την κρίση του να τα αναπτύσσει προς τους μαθητές, υποκινώντας συνάμα το ενδιαφέρον για θέματα καθημερινής επικαιρότητας.

Θερμές ευχαριστίες αισθάνομαι την υποχρέωση να απευθύνω προς το Ίδρυμα Ευγενίδου για την άρτια έκδοση του βιβλίου και προς το σεβαστό μου καθηγητή κ. Γ. Κυριακόπουλο του Ε.Μ.Π. για τις πολύτιμες συμβουλές, διορθώσεις και υποδείξεις πάνω στην επιστημονική βάση του συγγράμματος.

Ο συγγραφέας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 1.1 Γενικά.

Η ενέργεια ορίζεται ως **η ικανότητα παραγωγής έργου**. Υπάρχει στη φύση υπό διάφορες μορφές (θερμική, κινητική, χημική, ηλεκτρική ενέργεια κλπ), που διέπονται από την **Αρχή αφθαρσίας της Ενέργειας**. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, **η ενέργεια ούτε δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται, μπορεί όμως να μετατρέπεται από μια μορφή σε άλλη**. Με την καύση π.χ. η χημική ενέργεια των καυσίμων μετατρέπεται σε θερμότητα και αυτή με μια θερμική μηχανή σε κινητική ενέργεια κ.ο.κ. Μπορεί συνεπώς κανείς να συμπεράνει ότι ο Κόσμος είναι **προϊκισμένος** με μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας, που παραμένει σταθερή ανά τους αιώνες και που μπορεί ν' αλλάζει μόνο μορφή κατά τις διάφορες διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές συντελούνται είτε μόνες τους (φύση), είτε με τη βοήθεια των μηχανών, που ο άνθρωπος έχει επινοήσει. Μ' αυτή όμως την αλλαγή έχομε μια υποβάθμιση της ενέργειας, δηλαδή ενέργεια **υψηλής στάθμης** μετατρέπεται σε ισοδύναμη ενέργεια **χαμηλής στάθμης**.

Νεότερες αντιλήψεις όμως, που έχουν διαμορφωθεί μετά την διάσπαση του ατόμου, συνδυάζουν την **αρχή αφθαρσίας της ύλης** (Lavoisier) με την **αφθαρσίας της ενέργειας** σε μια γενικότερη διατύπωση, σύμφωνα με την οποία:

**«Το άθροισμα της ύλης και της ενέργειας, που αποτελεί την ουσία του κόσμου είναι σταθερό».**

Πράγματι με τη διάσπαση του ατόμου έχει αποδειχθεί ότι είναι δυνατή η αλληλομετατροπή ύλης και ενέργειας, η οποία μάλιστα διέπεται από τη γνωστή εξίσωση του Einstein:

$$E=MC^2$$

που εφαρμόζεται κατά την παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας (παράγρ. 2.2).

Όλες σχεδόν τις μορφές ενέργειας τις χρησιμοποιεί ο άνθρωπος είτε όπως τις βρίσκει στη Φύση (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια) είτε μετατρέποντάς τις με τη βοήθεια των μηχανών (θερμική ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια) για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του σε ενέργεια, που ολοένα αυξάνονται. Ο σημερινός πολιτισμός βασίζεται στην ενέργεια, την οποία η ανθρωπότητα προσπαθεί να αντλήσει από όλες τις διαθέσιμες πηγές. Προβλέπεται ότι το έτος 2000 οι ανάγκες της ανθρωπότητας σε ενέργεια θα υπερβούν τα 700 EJ που αντιστοιχούν σε 17 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμους σε πετρέλαιο. Τα αποθέματα όμως ενέργειας υψηλής στάθμης

της ανθρωπότητας ελαττώνονται και η αναπλήρωσή τους γίνεται με ρυθμό βραδύτερο από ότι η κατανάλωσή τους, οδηγώντας έτσι την ανθρωπότητα σε σοβαρή κρίση (την ενέργειακή κρίση). Το πρόβλημα αυτό της ενέργειακής κρίσεως ελπίζεται ότι θα λυθεί με τη βοήθεια της επιστήμης, είτε με την ανακάλυψη νέων πηγών, είτε με την καλύτερη εκμετάλλευση των πηγών που ήδη υπάρχουν.

Είπαμε ότι η ενέργεια που υπάρχει στον κόσμο παραμένει άφθαρτη, άρα η ποσότητά της δεν ελαττώνεται. Κατά τις διάφορες όμως μετατροπές της μέσα στις μηχανές υποβαθμίζεται σε θερμική ενέργεια και μάλιστα χαμηλής θερμοκρασίας, που δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί και συνεπώς αχρηστεύεται. Γι' αυτό η έρευνα στρέφεται στην αναζήτηση πηγών ενέργειας, που εύκολα μπορούν να μετατραπούν σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας και τέτοιες πηγές είναι κυρίως τα καύσιμα, που εξακολουθούν να δίνουν τα 90% της ολικής ενέργειας που καταναλώνει σήμερα η ανθρωπότητα.

## 1.2 Η ενέργεια ως δείκτης αναπτύξεως μιας χώρας.

Μέτρο για το βαθμό αναπτύξεως μιας χώρας αποτελούν σήμερα δυο κυρίως παράγοντες:

- α) Το ετήσιο κατά κεφαλή εισόδημα.
- β) Η ετήσια κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας.

Τα στοιχεία αυτά περιέχονται στον πίνακα 1.2.1, που έχει συνταχθεί από τον Beijdorff το 1979 και κατατάσσει τις διάφορες χώρες κατά σειρά στάθμης αναπτύξεως με βάση τα στοιχεία αυτά, που σε γενικές γραμμές συμβαδίζουν χωρίς σημαντικές αποκλίσεις.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.1**  
**Κατάταξη αναπτύξεως διαφόρων χωρών**

Χώρα	Ετήσιο ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα (δολ.)	Ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια (τον. ισοδ. πετρελαίου/κάτοικο)
Κουβέιτ	3850	9,5
ΗΠΑ	5000	7,1
Καναδάς	4000	7,1
Νορβηγία	3050	6,1
Σουηδία	4000	5,9
Ολλανδία	2200	5,2
Μεγάλη Βρετανία	2200	3,3
Δυτική Γερμανία	3350	3,6
Γαλλία	3000	2,8
Ν. Αφρική	800	9
Ισραήλ	2300	1,9
Ελλάδα	1200	1,7
Ισπανία	1200	1,6
Γιουγκοσλαβία	800	1,0
Πορτογαλία	1000	0,9
Βραζιλία	600	0,5
Τουρκία	400	0,4
Αίγυπτος	225	0,2
Ινδία	100	0,15
Νιγηρία	150	0,1

### 1.3 Μονάδες ενέργειας.

Αφού η ενέργεια ορίζεται ως η ικανότητα παραγωγής έργου, φυσικό είναι για τη μέτρησή της να χρησιμοποιούνται οι ίδιες μονάδες με τις οποίες μετρείται το έργο (Joule, kpm, ποδόλιτρο κλπ). Στο Διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ενέργειας είναι το Joule ( $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ ) και τα πολλαπλάσιά του:

$1 \text{ kJ (kilojoule)}$	$= 10^3 \text{ J}$
$1 \text{ MJ (megajoule)}$	$= 10^6 \text{ J}$
$1 \text{ GJ (gigajoule)}$	$= 10^9 \text{ J}$
$1 \text{ TJ (terajoule)}$	$= 10^{12} \text{ J}$
$1 \text{ PJ (petajoule)}$	$= 10^{15} \text{ J}$
$1 \text{ EJ (exajoule)}$	$= 10^{18} \text{ J}$

Για τις διάφορες όμως μορφές ενέργειας εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται οι παλιές επιμέρους μονάδες. Οι σπουδαιότερες από αυτές και οι σχέσεις τους με τη μονάδα του διεθνούς συστήματος (SI) αναγράφονται στον πίνακα 1.3.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1**

<b>Μονάδες ενέργειας</b>		
<b>Μορφή ενέργειας</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Σχέση προς το SI</b>
Θερμική ενέργεια	kcal BTU	$1 \text{ kcal} = 4187 \text{ J}$ $1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J}$
Ηλεκτρική ενέργεια	kWh	$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
Κινητική ενέργεια	kpm ft.lb	$1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J}$ $1 \text{ ft.lb} = 1,35 \text{ J}$

### 1.4 Οι σπουδαιότερες πηγές ενέργειας.

Τα τεράστια ποσά ενέργειας που η ανθρωπότητα χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες της και που το 1983 ήταν  $420 \cdot 10^{18} \text{ J}$  (10 δισεκατομμύρια τόνοι ισοδύναμοι σε πετρέλαιο) (παράγρ. 2.8) προέρχονται από διάφορες πηγές, από τις οποίες οι σπουδαιότερες εξετάζονται συνοπτικά παρακάτω:

#### *α) Στερεά καύσιμα.*

Είναι οι διάφορες κατηγορίες γαιανθράκων, που ως τις αρχές του αιώνα μας αποτελούσαν τη σπουδαιότερη πηγή ενέργειας και που ως το 1960 ήταν στην πρώτη θέση σε ποσοστό συμμετοχής, οπότε και εκτοπίσθηκαν από τα υγρά καύσιμα (πετρέλαιο). Τα αποθέματα των γαιανθράκων είναι τεράστια και υπολογίζονται σήμερα σε 8500 δισεκατομμύρια τόνους που ισοδυναμούν με  $2 \cdot 10^5 \text{ EJ}$  ενέργειας. Με βάση την ετήσια κατανάλωση των 100EJ από γαιάνθρακες, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα γαιανθράκων με το σημερινό ρυθμό αναλώσεως επαρκούν για 2000 χρόνια. Τα οικονομικώς εκμεταλλεύσιμα αποθέματα γαιανθράκων είναι πολύ λιγότερα και υπολογίζεται ότι με τα σημερινά δεδομένα επαρκούν για 240

χρόνια. Σε σύγκριση με τα αποθέματα υγρών καυσίμων (πετρελαίου) τα αποθέματα γαιανθράκων επιτρέπουν την πρόβλεψη ότι ο άνθρακας θα αποκτήσει ξανά μεγάλη σπουδαιότητα ως πηγή ενέργειας, όταν το φάσμα εξαντλήσεως των αποθέμάτων πετρελαίου θα αναγκάσει την ανθρωπότητα να στραφεί και πάλι προς αυτόν για να ικανοποιήσει τις τεράστιες ανάγκες της σε ενέργεια. Ήδη η στροφή αυτή άρχισε να συντελείται στις μέρες μας. Το έτος 2000 το ποσοστό παραγωγής ενέργειας από άνθρακα θα ανέλθει σε 30% από 24% που είναι σήμερα, ενώ η συμμετοχή του πετρελαίου στην παραγωγή ενέργειας προβλέπεται ότι θα περιορισθεί στα 10% από 48% που είναι σήμερα. Η διαφορά θα καλυφθεί από άλλες πηγές και κυρίως από την πυρηνική ενέργεια. Ο άνθρακας θα χρησιμοποιείται με άλλη μορφή και με άλλα συστήματα καύσεως, για τα οποία γίνεται λόγος στο κεφάλαιο 11.

### **β) Υγρά καύσιμα.**

Πρόκειται κυρίως για τα προϊόντα του φυσικού πετρελαίου (βενζίνη, κεροζίνη, γκαζόιλ ή πετρέλαιο diesel, μαζούτ) που σήμερα καλύπτουν σχεδόν τις μισές ανάγκες της ανθρωπότητας σε ενέργεια. Η εξάπλωση των ΜΕΚ από τις αρχές του αιώνα μας και η χρησιμοποίησή τους για την κίνηση όλων των μεταφορικών μέσων (πλοία, τραίνα, αυτοκίνητα, αεροπλάνα) αλλά και πολλών βιομηχανικών μονάδων, που συνεχίζεται μέχρι σήμερα, έδωσαν τεράστια ώθηση στη βιομηχανία του πετρελαίου. Έτσι αυτή κατέλαβε δεσπόζουσα θέση στην οικονομία των διαφόρων κρατών, επέβαλε τη δική της «γραμμή» στις τεχνικές εξελίξεις των θερμικών μηχανών και υπήρξε αιτία ή αφορμή πολέμων, ή επηρέασε σημαντικά την έκβασή τους.

Τα αποθέματα κοιτασμάτων πετρελαίου εκτιμώνται σήμερα (1994) σε 140 δισεκατομμύρια τόνους περίπου. Με βάση την ετήσια κατανάλωση που παγκοσμίως ανέρχεται σε 3.200 εκατ. τόνους περίπου, τα αποθέματα επαρκούν για  $140:3,2 = 43$  χρόνια, εφόσον φυσικά δεν ανακαλυφθούν και άλλα κοιτάσματα. Είναι βέβαιο πάντως ότι η σημασία του πετρελαίου ως πηγή ενέργειας θα μειώνεται συνεχώς και θα αντικαθίσταται από άλλες πηγές, καθώς τα αποθέματα θα εξαντλούνται και οι τιμές θα ανεβαίνουν.

Στα παραπάνω αποθέματα θα πρέπει να προστεθούν και 252,6 δισεκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου που μπορούν να ληφθούν από πισσοσχιστόλιθους και πετρελαιοάμμους (shale oil).

### **γ) Αέρια καύσιμα.**

Σπουδαιότερο από αυτά είναι το φυσικό αέριο ή γαιαέριο που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο. Το φυσικό αέριο άλλοτε μεν εξάγεται μαζί με το φυσικό πετρέλαιο από τις πετρελαιοπηγές, γιατί είναι διαλυμένο σε αυτό υπό πίεση και κατόπιν αποχωρίζεται, άλλοτε δε προέρχεται ανεξάρτητα από το πετρέλαιο, από πηγές που περιέχουν μόνο γαιαέριο.

Το φυσικό αέριο (natural gas) είναι άριστο καύσιμο, τόσο για βιομηχανική χρήση, όσο και για κινητήριες μηχανές. Στις ΗΠΑ πυκνότατο δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου εξυπηρετεί το 1/4 των ενεργειακών αναγκών, τόσο για βιομηχανικούς σκοπούς, όσο και για οικιακή χρήση. Άλλα και στην Ευρώπη υπάρχει μεγάλο δί-

κτυπ γαιαερίου, που επεκτείνεται συνεχώς. Τελευταία κατασκευάζεται τεράστιος αγωγός μεταφοράς, που θα μεταφέρει από τη Σιβηρία προς την Ευρώπη 40 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το χρόνο. Έτσι προβλέπεται ότι ως το τέλος του αιώνα μας η ενέργεια από φυσικό αέριο θα φθάσει συνολικά τα 70 ΕJ καλύπτοντας το 17% των συνολικών αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποθέματα φυσικού αερίου και η κατανομή τους στις διάφορες περιοχές της γης.

Περιοχή	Φυσικό αέριο (τον. ισοδ. πετρ.)	%
Βόρεια Αμερική	6,7	5,4
Νότια Αμερική	6,5	5,2
Ευρώπη (χώρες ΟΟΣΑ)	4,8	3,8
Πρώην Σοβιετική Ένωση	50	40,3
Μέση Ανατολή	38,4	31
Αφρική	9	7,3
Άπω Ανατολή - Αυστραλία	8,6	7
Σύνολο	124	100

### δ) Πυρηνική ενέργεια.

Είναι η ενέργεια που παράγεται είτε κατά την διάσπαση των πυρήνων ατόμων βαρέων μετάλλων, όπως το ουράνιο (ενέργεια σχάσεως), είτε κατά τη συνένωση πυρήνων ατόμων ελαφρών στοιχείων, όπως το υδρογόνο (ενέργεια συντήξεως). Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής απελευθερώνεται υπό μορφή θερμότητας, με την οποία μπορεί να λειτουργήσει μια εγκατάσταση ατμού, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί) είτε για την πρόωση πλοίων. Παρά το γεγονός ότι η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας εδώ και 30 χρόνια περίπου, το ποσοστό συμμετοχής της παραμένει χαμηλό και μέχρι το 1975 δεν ξεπερνούσε το 2%. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

- 1) Το μέχρι τώρα υψηλό κόστος της παραγόμενης ενέργειας σε σύγκριση με την ενέργεια που παράγεται από άλλες πηγές και κυρίως από τα συμβατικά καύσιμα.
- 2) Την πιθανότητα κινδύνου μολύνσεως από τη ραδιενέργεια που εκλύεται κατά τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων.

Η ενεργειακή κρίση όμως του 1974 με τη ραγδαία άνοδο των τιμών των καυσίμων έστρεψε και πάλι τις προσπάθειες των τεχνικών προς την εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας, της οποίας η συμμετοχή στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας ολοένα αυξάνεται. Σήμερα βρίσκεται περίπου στο 4% και προβλέπεται ότι ως το τέλος του αιώνα θα υπερβεί το 10%, συμβάλλοντας έτσι αποφασιστικά στη λύση του ενεργειακού προβλήματος. Τα παγκόσμια αποθέματα πυρηνικών καυσίμων δεν είναι επακριβώς γνωστά. Τα μέχρι σήμερα εξακριβωμένα αποθέματα υπολογίζονται σε 19 δις ισοδ. πετρελαίου, δηλαδή είναι σχετικώς μικρά.

## 1.5 Άλλες πηγές ενέργειας.

Ως δευτερεύουσες πηγές ενέργειας μπορούν ν' αναφερθούν:

### 1.5.1 Η ηλιακή ενέργεια.

Πρόκειται δηλαδή για άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας που εκτιμάται σε  $1,1 \cdot 10^{29}$  MJ ετησίως, από τα οποία μόλις τα  $5,4 \cdot 10^{18}$  MJ φθάνουν στην επιφάνεια της γης. Δηλαδή μόλις τα 50 τρισεκατομμυριοστά της ενέργειας που εκπέμπει ο ήλιος φθάνουν ως την γη και από αυτή πάλι ένα πολύ μικρό μέρος αξιοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Η άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με δυο τρόπους:

- 1) Με ηλιακούς θερμοσίφωνες**, που εξασφαλίζουν ζεστό νερό για οικιακές κυρίως χρήσεις, γεγονός με ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας.
- 2) Με την εγκατάσταση ατμοηλεκτρικών σταθμών**, στους οποίους το νερό ατμοποιείται με την ηλιακή θερμότητα που συγκεντρώνεται με ειδικά κάτοπτρα. Τέτοιοι σταθμοί λειτουργούν ήδη στη Απέννινα (Ιταλία), στα Πυρηναία (γαλλο-ισπανικά σύνορα) και στις ΗΠΑ.

Εμμέσως την ηλιακή ενέργεια εκμεταλλεύμαστε και με τους εξής τρόπους:

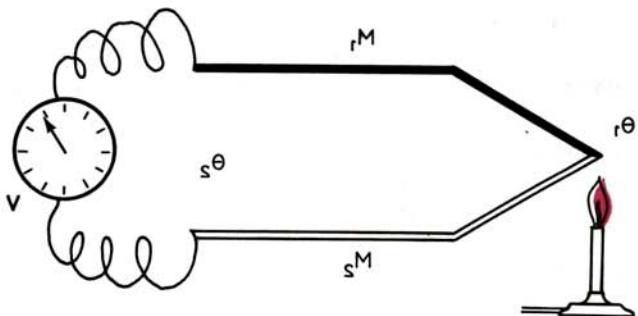
**α) Φωτοσύνθεση.** Δηλαδή παραγωγή φυτικών υλών που μετατρέπονται σε ξύλα ή άνθρακες, που εντάσσονται στα στερά καύσιμα. Ανέξοδες πρώτες ύλες (νερό και CO<sub>2</sub>) μετατρέπονται με τη βοήθεια της χλωροφύλης και της ηλιακής ενέργειας σε στερεές καύσιμες ύλες, των οποίων η απόδοση βελτιώνεται ακόμη περισσότερο με τη χρήση χημικών λιπασμάτων.

**β) Υδατοπτώσεις.** Η ηλιακή ενέργεια προκαλεί την εξάτμιση νερού από την επιφάνεια της γης (θάλασσα, λίμνες, ποταμοί) και, μετά τη βροχόπτωση, σχηματίζονται φυσικοί καταρράκτες ή τεχνητές λίμνες, με φράγματα των οποίων η δυναμική ή η δυνητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην Ελλάδα ο υδροηλεκτρισμός εξασφαλίζει σήμερα το  $\frac{1}{3}$  της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει η χώρα. Σε παγκόσμια κλίμακα ο υδροηλεκτρισμός καλύπτει το 6% περίπου της ολικής ενέργειας.

#### γ) Φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Η λειτουργία τους βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού, σύμφωνα με το οποίο αν θερμανθεί η επαφή ενός ζεύγους δυο διαφορετικών μετάλλων M<sub>1</sub> και M<sub>2</sub> (σχ. 1.5α) στο άλλο άκρο εμφανίζεται ηλεκτρικό ρεύμα, του οποίου η τάση είναι ανάλογη προς τη διαφορά θερμοκρασίας στα δυο άκρα του ζεύγους θ<sub>1</sub> και θ<sub>2</sub>. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θερμαίνονται με δέσμη ηλιακών ακτίνων, που κατευθύνεται στα σημεία επαφής θ<sub>1</sub>, ώστε στο άλλο άκρο να εμφανίζεται ηλεκτρικό ρεύμα. Για να παραχθεί αξιόλογη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας με τον τρόπο αυτό, απαιτούνται πολύ μεγάλες επιφάνειες, πράγμα που ανεβάζει σημαντικά το κόστος εγκαταστάσεως των φωτοβολταϊκών μονάδων. Στην Ελλάδα, που οι συνθήκες ηλιοφάνειας είναι πολύ ευνοϊκές, φωτοβολταϊκοί σταθμοί έχουν ήδη εγκατασταθεί:

- 1) Στην Αγία Ρούμελη της Κρήτης με συνολική ισχύ 50 kW.
- 2) Στην Κύθνο με ισχύ 100 kW.



Σχ. 1.5α.

Με τη μείωση του κόστους κατασκευής τους, η χρήση των φωτοβολταϊκών μονάδων προβλέπεται να επεκταθεί σε παγκόσμια κλίμακα, ιδίως σε χώρες που ευνοούνται από τις μετεωρολογικές συνθήκες.

### 1.5.2 Γεωθερμική ενέργεια.

Είναι αυτή που παράγεται από θερμές πηγές που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης, όπως είναι οι γνωστές πηγές geysers που αφθονούν στην Ισλανδία, αλλά υπάρχουν και σε άλλες περιοχές της γης (δυτικές ακτές των ΗΠΑ, Ιταλία, Ιαπωνία, Αυστραλία κλπ.).

Τα αποθέματα της γεωθερμικής ενέργειας είναι τόσα, ώστε η πλήρης εκμετάλλευσή τους να αποδίδει ισχύ 30 εκατομμύρια MW.

Εκμεταλλεύσιμες μορφές της γεωθερμικής ενέργειας είναι τρεις:

- 1) Η μορφή θερμού νερού, που αναβλύζει από τις θερμές πηγές και χρησιμοποιείται για οικιακές κυρίως εφαρμογές.
- 2) Η μορφή ατμού, που χρησιμοποιείται σε στροβιλογεννήτριες, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τέτοιοι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί έχουν εγκατασταθεί σε αρκετές περιοχές της γης. Οι σημαντικότεροι βρίσκονται στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ με εγκατεστημένη ισχύ 1180 MW και στην ΕΣΣΔ με ισχύ 31 MW.
- 3) Στέλνοντας νερό με πίεση στα θερμά στρώματα του υπεδάφους, που μετατρέπεται σε ατμό εκμεταλλεύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μονάδα γεωθερμικής ενέργειας έχει κατασκευασθεί και στη Μήλο.

### 1.5.3 Ενέργεια από τη θάλασσα.

Η θάλασσα περιέχει τεράστια αποθέματα ενέργειας, των οποίων η εκμετάλλευση μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Από αυτούς σημαντικότεροι είναι δύο: η ενέργεια των παλιρροιών και η ενέργεια των κυμάτων.

#### a) Ενέργεια των παλιρροιών.

Η εκμετάλλευση της παλιρροιακής κινήσεως της θάλασσας μπορεί να πραγματοποιηθεί με υδροστροβίλους. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ανάλογος προς τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών σε τεχνητά φράγματα ή σε φυσικές υδατοπτώσεις. Οι σημαντικότεροι από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας από την κινητική ενέργεια των παλιρροιών, που είναι γνωστοί μέχρι σήμερα, είναι:

- α) Στην La Rance της Γαλλίας με εγκατεστημένη ισχύ 240 MW και
- β) στην Kislaya Cryba της Ρωσίας με ισχύ 2 MW.

Το σύνολο της ισχύος που μπορεί να προκύψει από τα παλιρροιακά κύματα υπολογίζεται σήμερα σε 3 εκατομμύρια MW, από τα οποία το  $\frac{1}{3}$  μόνο είναι εκμεταλλεύσιμο, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους της αρχικής εγκαταστάσεως.

### **β) Ενέργεια κυμάτων.**

Τα αποθέματα ενέργειας των κυμάτων μπορούν να θεωρηθούν ανεξάντλητα. Ένας τρόπος αξιοποίησης της ενέργειας των κυμάτων φαίνεται στο σχήμα 1.5β. Ο πλωτήρας R καθώς δέχεται πλευρικά τη δύναμη των κυμάτων τίθεται σε περιστροφική κίνηση, την οποία μπορεί με κατάλληλη διάταξη να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια. Παρόμοιοι πλωτήρες είναι ανοικτοί στο κάτω μέρος, που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και περιέχουν αέρα. Με τις κινήσεις των πλωτήρων που προκαλούνται από τις πλευρικές κρούσεις των κυμάτων, η πίεση του παγιδευμένου αέρα αυξομειώνεται ρυθμικά με τη βοήθεια κατάλληλης βαλβίδας και με τον πεπιεσμένο αέρα λειτουργεί στρόβιλος που μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Το κόστος όμως τέτοιων εγκαταστάσεων είναι πολύ υψηλό για τη λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση σημαντήρων.

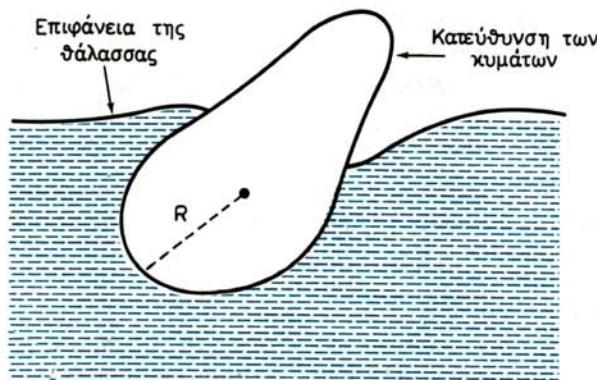
### **γ) Ωκεανοθερμική ενέργεια.**

Αυτή στηρίζεται στη διαφορά θερμοκρασίας των στρωμάτων της θάλασσας.

#### **1.5.4 Ενέργεια ανέμου (αιολική ενέργεια).**

Είναι από τις πιο παλιές μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε και εξακολουθεί μέχρι σήμερα να χρησιμοποιείται.

- α) Στους ανεμόμυλους και
- β) Στα ιστιοφόρα πλοία.



**Σχ. 1.5β.**  
Παραγωγή ενέργειας από κύματα.

Υπολογίζεται ότι το σύνολο της ισχύος που μπορεί να ληφθεί σήμερα από την αιολική ενέργεια ανέρχεται σε 370 εκατομμύρια MW, που θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική συμβολή στη λύση του ενεργειακού προβλήματος.

Η αιολική ενέργεια βασίζεται στην κινητική ενέργεια του ανέμου που δίνεται από το γνωστό τύπο:

$$\bullet \quad E = \frac{mv^2}{2}$$

Εξαρτάται συνεπώς από την ποσότητα του διατιθέμενου αέρα και από την ταχύτητά του. Για να παραχθεί η τεράστια ενέργεια του ανέμου που απαιτείται για να παραχθεί από αυτή, με τη βοήθεια ανεμομύλων, υπολογίσιμη ηλεκτρική ενέργεια, πρέπει η κατασκευή των εγκαταστάσεων να είναι πάρα πολύ ισχυρή. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος της εκμεταλλεύσεώς τους είναι επί του παρόντος απαγορευτικό.

Πρέπει να τονισθεί ότι μερικές από τις παραπάνω πηγές ενέργειας έχουν πολύ μεγαλύτερη σημασία από όση δείχνει το χαμηλό ποσοστό συμμετοχής τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας, γιατί πρόκειται για τις **αναπληρούμενες** πηγές ενέργειας, αυτές δηλαδή που δεν εξαντλούνται αλλά αναπληρώνονται συνεχώς από τη φύση, όπως είναι: η **ηλιακή ενέργεια, ο υδροηλεκτρισμός, η αιολική ενέργεια** και η **ενέργεια της Θάλασσας**. Επί πλέον οι αναπληρούμενες πηγές ενέργειας καθώς και η γεωθερμική είναι παραδεκτές και από περιβαλλοντολογική άποψη, γιατί δεν προκαλούν ρύπανση του περιβάλλοντος.

Αντίθετα, όλες οι κατηγορίες καυσίμων ανήκουν στις **μη αναπληρούμενες** πηγές ενέργειας, που εξαντλούνται χωρίς να αναπληρώνονται. Στην πραγματικότητα όλες οι κατηγορίες των ορυκτών καυσίμων αναπληρώνονται από την ηλιακή ενέργεια (φωτοσύνθεση - φυτικός κύκλος - ζωικός κύκλος) αλλά με ρυθμό βραδύ, ώστε πρακτικά να κατατάσσονται στις μη αναπληρούμενες πηγές ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΥΣΕΩΣ

#### 2.1 Καύση - καύσιμα.

**Καύση** είναι η ένωση των διαφόρων σωμάτων με το οξυγόνο του αέρα. Η ένωση αυτή είναι μια χημική αντίδραση **εξώθερμη**, δηλαδή συνοδεύεται από έκλιση θερμότητας. Στην πραγματικότητα κατά την καύση μετατρέπεται η χημική ενέργεια της ουσίας που καίεται σε θερμική ενέργεια, την οποία οι διάφορες θερμικές μηχανές μπορούν να την μετατρέψουν σε μηχανικό έργο (κίνηση). Σ' αυτή την πολύ απλή αρχή βασίζεται η λειτουργία των θερμικών μηχανών.

**Καύσιμα** είναι οι ουσίες που, όταν καίονται, παράγουν θερμότητα **εκμεταλλεύσιμη**, δηλαδή θερμότητα που εύκολα μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο.

Φαινόμενο ανάλογο προς την καύση είναι και η **οξείδωση**, που διαφέρει από την καύση ως προς την ταχύτητα της ενώσεως με το οξυγόνο. Στην οξείδωση η ένωση αυτή πραγματοποιείται αργά και γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως **βραδεία καύση**. Η θερμότητα που παράγεται κατά την οξείδωση είναι η ίδια μ' αυτήν που θα παραγόταν με μια κανονική καύση, δεν είναι όμως **εκμεταλλεύσιμη** γιατί δεν μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο, στις θερμικές μηχανές.

Από τα παραπάνω συμπεραίνει κανείς ότι κάθε σώμα που μπορεί να ενωθεί με το οξυγόνο δεν μπορεί να χαρακτηρισθεί ως **καύσιμο**, αν η θερμότητα που παράγεται δεν μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μηχανικό έργο. Ο σίδηρος π.χ. κάτω από ορισμένες συνθήκες ενώνεται εύκολα με το οξυγόνο. Η θερμότητα όμως που παράγεται δεν είναι ενεργειακώς εκμεταλλεύσιμη, δηλαδή δεν μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μηχανικό έργο· άρα ο σίδηρος δεν μπορεί να χαρακτηρισθεί ως καύσιμο. Ο άνθρακας όμως, το πετρέλαιο ή το φωταέριο είναι σύμφωνα με την παραπάνω έννοια **καύσιμα**, γιατί η θερμότητα που παράγεται κατά τη καύση τους μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μηχανικό έργο από μια θερμική μηχανή.

Αντίθετα υπάρχουν ουσίες που, αν και η θερμότητα που παράγουν δεν προέρχεται από καύση, κατατάσσονται στα καύσιμα, που αποκτούν έτσι ευρύτερη έννοια (πυρηνικά καύσιμα, παράγρ. 2.2).

#### 2.2 Κατάταξη των καυσίμων.

Τα καύσιμα μπορούν να καταταγούν κατά πολλούς τρόπους· επικρατέστερος είναι ο παρακάτω:

**a)** **Συμβατικά καύσιμα** (conventional fuels) είναι αυτά, στα οποία η θερμότητα παράγεται κατά την ένωσή τους με το οξυγόνο του αέρα, δηλαδή κατά την

καύση. Είναι ορυκτά καύσιμα (fossil fuels) και ανάλογα με την κατάστασή τους διακρίνονται σε:

- 1) **Στερεά καύσιμα** (γαιάνθρακες).
- 2) **Υγρά καύσιμα** (πετρέλαιο).
- 3) **Αέρια καύσιμα** (φυσικό αέριο ή γαιαέριο).

**β)** **Πυρηνικά καύσιμα**, στα οποία η θερμότητα δεν προέρχεται από την καύση, δηλαδή από τη χημική αντίδραση του καυσίμου με το οξυγόνο, αλλά από **πυρηνικές αντιδράσεις**, δηλαδή διεργασίες που γίνονται στο εσωτερικό του πυρήνα των ουσιών αυτών. Οι πυρηνικές αντιδράσεις διαιρούνται σε:

- 1) **Αντιδράσεις σχάσεως** (fission), κατά τις οποίες ο πυρήνας ενός στοιχείου με μεγάλο ατομικό βάρος, όπως το ουράνιο, διασπάται σε δύο μικρότερους πυρήνες. Κατά τη διάσπαση αυτή απελευθερώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας, που προέρχονται από το **έλλειμμα μάζας**, δηλαδή η μάζα των προϊόντων της σχάσεως είναι μικρότερη από τη μάζα του πυρήνα που έχει διασπασθεί. Η μάζα αυτή που λείπει έχει μετατραπεί σε ενέργεια σύμφωνα με την εξίσωση:

$$E=Mc^2$$

όπου: E η ενέργεια, M η μάζα και c η ταχύτητα του φωτός.

- 2) **Αντιδράσεις συντήξεως** (fusion), κατά τις οποίες οι πυρήνες δύο ελαφρών στοιχείων (π.χ. υδρογόνου) ενώνονται σε ένα πυρήνα στοιχείου με μεγαλύτερο ατομικό βάρος (π.χ. ήλιο). Κι εδώ υπάρχει **έλλειμμα μάζας** και μάλιστα μεγαλύτερο από όσο στις αντιδράσεις σχάσεως, που μετατρέπεται επίσης σε ενέργεια σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση.

Οι περισσότεροι πυρηνικοί αντιδραστήρες με τους οποίους λειτουργούν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σέ όλο σχεδόν τον κόσμο, βασίζονται σε πυρηνικές αντιδράσεις σχάσεως, ενώ στις αντιδράσεις συντήξεως βασίζεται η κατασκευή της βόμβας H (υδρογόνου).

Με τα πυρηνικά καύσιμα ο όρος **καύσιμα** παίρνει ευρύτερη έννοια και περιλαμβάνει:

**Κάθε ουσία που ύστερα από μια συμβατική ή πυρηνική αντίδραση απελευθερώνει ενέργεια εκμεταλλεύσιμη, δηλαδή ενέργεια που εύκολα μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο από θερμικές μηχανές.**

### 2.3 Είδη καύσεως.

Τα διάφορα είδη καύσεως μπορούν να καταταγούν κατά δύο τρόπους:

**α)** Ανάλογα με τον τρόπο καύσεως διακρίνομε:

- 1) **Καύση σε εστία** (ξύλα, κάρβουνα, πετρέλαιο).

- 2) **Καύση μέσα στη μηχανή** (βενζινομηχανές, ντιζελομηχανές, αεριοστρόβιλοι).

**β)** Ανάλογα με τα προϊόντα καύσεως έχομε:

- 1) **Τέλεια καύση**, όταν στα προϊόντα καύσεως δεν υπάρχουν καύσιμα συστατικά. Το καύσιμο στην περίπτωση αυτή έχει αποδώσει το μέγιστο της θερμικής ενέργειας που θα μπορούσε να αποδώσει.

- 2) **Ατελή** καύση, όταν στα προϊόντα καύσεως υπάρχουν καύσιμα συστατικά και κυρίως μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και αιθάλη. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή το καύσιμο αποδίδει μέρος μόνο της θερμαντικής του ικανότητας.

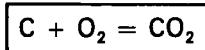
#### 2.4 Τέλεια καύση.

Για να έχομε τέλεια καύση πρέπει να εξασφαλίσουμε **περίσσεια** αέρα, δηλαδή η καύση να γίνει με αέρα περισσότερο απ' όσο απαιτείται θεωρητικά.

**Βαθμός περίσσειας αέρα ή συντελεστής περίσσειας** λ, είναι ο λόγος της ποσότητας  $A_{\pi}$  του αέρα που παρέχεται για την καύση προς την ποσότητα  $A_{\theta}$  που απαιτείται θεωρητικά:

$$\lambda = \frac{A_{\pi}}{A_{\theta}}$$

Για την καύση π.χ. του άνθρακα απαιτούνται θεωρητικά 2,66 kg οξυγόνου ή 11,5 kg αέρα ανά kg σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση, που είναι η εξίσωση καύσεως του άνθρακα.



$$\begin{aligned} 12 + 32 &= 44 \\ 1 + 2,66 &= 3,66 \end{aligned}$$

και επειδή ο αέρας περιέχει 23% οξυγόνο, τα 2,66 kg οξυγόνου περιέχονται σε  $2,66 \cdot 100/23 = 11,5$  kg αέρα.

Άλλα με 11,5 kg αέρα, δηλαδή με όσα απαιτούνται θεωρητικά, ο άνθρακας δεν θα καεί τελείως. Αν λοιπόν για 1 kg άνθρακα δώσομε 12,65 kg αντί για 11,5 θα έχουμε συντελεστή περίσσειας:

$$\lambda = \frac{12,65}{11,5} = 1,1$$

δηλαδή περίσσεια 10%, που αυξάνει τις πιθανότητες για τέλεια καύση. Η περίσσεια του αέρα που απαιτείται για να εξασφαλίσουμε την τέλεια καύση κυμαίνεται από 10% ως 100%. Ανάλογα με το είδος του καυσίμου σε γενικές γραμμές καθορίζεται ως εξής:

- α)** *Για στερεά καύσιμα* μέχρι 100%, δηλαδή διπλάσιος αέρας απ' όσο απαιτείται θεωρητικά. Για την καύση άνθρακα σε σκόνη η περίσσεια αέρα είναι γύρω στο 25%.
- β)** *Για υγρά καύσιμα* 10-20%, που στην πράξη είναι ακόμα περισσότερη, ανάλογα με το είδος της μηχανής και τις ειδικές συνθήκες καύσεως.
- γ)** *Για αέρια καύσιμα* 5-10%, γιατί οι συνθήκες αναμίξεως του καυσίμου με το οξυγόνο είναι οι ιδανικότερες σε σύγκριση με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Παρόλα αυτά μεγαλύτερη περίσσεια, που θα εξασφάλιζε την τέλεια καύση, πρέπει ν' αποφεύγεται, γιατί η θερμότητα που θα απάγεται στην ατμόσφαιρα με τον επιπλέον αέρα αποτελεί απώλεια, που αποβαίνει σε βάρος της θερμικής αποδόσεως.

## 2.5 Ατελής καύση.

Η ατελής καύση οφείλεται σε δυο κυρίως λόγους:

- Σε ανεπάρκεια του αέρα, και όταν ακόμα παρέχεται σε περίσσεια.
- Σε κακή ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα.

Συνέπειες της ατελούς καύσεως είναι:

**α) Απώλεια θερμότητας**, άρα μείωση του θερμικού βαθμού αποδόσεως της μηχανής στην οποία γίνεται η καύση.

1 kg C κατά την τέλεια καύση (προς CO<sub>2</sub>) αποδίδει 8100 kcal (33900 kJ).

1 kg C κατά την ατελή καύση (προς CO) αποδίδει 2400 kcal (10000 kJ).

Συνεπώς για κάθε kg άνθρακα που καίεται ατελώς χάνονται 8100 – 2400 = 5700 kcal (23900 kJ) δηλαδή τα 57/81 ή τα 70% της θερμαντικής ικανότητας του άνθρακα.

**β) Ρύπανση της μηχανής**, αν μεταξύ των προϊόντων της ατελούς καύσεως υπάρχει άνθρακας υπό μορφή αιθάλης ή άλλα ασφαλτικής βάσεως συστατικά.

**γ) Ρύπανση του περιβάλλοντος**, που τα τελευταία χρόνια αποτελεί οξύτατο πρόβλημα για την ανθρωπότητα και ιδιαίτερα για τη χώρα μας.

Ο βαθμός της ατέλειας καύσεως στις θερμικές μηχανές ελέγχεται με την περιεκτικότητα σε CO των καυσαερίων. Υπάρχουν για το σκοπό αυτό διάφορες διατάξεις που προσαρμόζονται στους οχετούς εξαγωγής των καυσαερίων και καταγράφουν συνεχώς την περιεκτικότητά τους σε CO. Στις ΜΕΚ γενικά η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια (γύρω στο 0,1%).

## 2.6 Αναλογία αέρα προς καύσιμο (AFR Air-Fuel Ratio).

Η αναλογία αέρα προς καύσιμο (AFR) παίζει ιδιαίτερο ρόλο για τη σωστή καύση, που με τη σειρά της επιδρά άμεσα στη σωστή λειτουργία της μηχανής, για την οποία το καύσιμο αυτό προσορίζεται.

Η AFR 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 καύσεως.

Διακρίνομε:

α) Τη θεωρητική τιμή AFR, που εξαρτάται αποκλειστικά από τη σύνθεση του καυσίμου.

β) Την πραγματική AFR, που εξαρτάται από την περίσσεια αέρα, που χρησιμοποιείται για την καύση (παράγρ. 2.4).

### 2.6.1 Υπολογισμός της AFR.

Η ποσότητα του αέρα που απαιτείται για την καύση 1 kg καυσίμου εξαρτάται

από τη χημική σύσταση του καυσίμου και δίδεται από την εξίσωση:

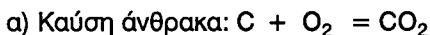
$$\text{AFR (θεωρ.)} = 8,98 \text{ C} + 26,8 (\text{H} - \text{O}/8) + 3,35 \text{ S m}^3/\text{kg} \quad (1)$$

$$\text{ή AFR (θεωρ.)} = 11,6 \text{ C} + 34,8 (\text{H} - \text{O}/8) + 4,35 \text{ S kg αέρα/kg καυσίμου.} \quad (2)$$

αν ληφθεί υπόψη ότι το ειδικό βάρος του αέρα είναι  $1,293 \text{ kg/m}^3$ .

Στις παραπάνω σχέσεις τα C, H, O, και S παριστάνουν κατά σειρά τις περιεκτικότητες του καυσίμου σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο, εκφρασμένες σε kg ανά kg καυσίμου.

Οι σχέσεις αυτές προκύπτουν από τις εξισώσεις καύσεως, δηλαδή τις χημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες τα συστατικά του καυσίμου ενώνονται με το οξυγόνο κατά την καύση:



$$12 + 32 = 44$$

$$\text{ή } 1 + 2,67 = 3,67$$

Δηλαδή κάθε kg άνθρακα χρειάζεται  $2,67 \text{ kg O}_2$  ώστε να καεί τελείως και από την καύση παράγονται  $3,67 \text{ kg CO}_2$ .



$$2 + 16 = 18$$

$$1 + 8 = 9$$

Επομένως κάθε kg υδρογόνου χρειάζεται  $8 \text{ kg}$  οξυγόνου ώστε να καεί και από την καύση παράγονται  $9 \text{ kg}$  νερού.



$$32 + 32 = 64$$

$$1 + 1 = 2$$

Άρα για κάθε kg S χρειάζεται  $1 \text{ kg}$  οξυγόνου για την καύση του από την οποία παράγονται  $2 \text{ kg SO}_2$ .

Αν τα αποτελέσματα των παραπάνω εξισώσεων καύσεως, τα μεταφέρουμε σε πίνακα, προκύπτουν τα δεδομένα του πίνακα 2.6.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.1**

Για την καύση	Απαιτούνται			
	kg (O <sub>2</sub> )	m <sup>3</sup> (O <sub>2</sub> )	kg αέρα	m <sup>3</sup> αέρα
C	2,67	1,86	11,6	8,98
H	8	5,6	34,8	26,88
S	1	0,7	4,35	3,35

Από τις τιμές του παραπάνω πίνακα προκύπτουν οι εξισώσεις (1) και (2) που δίνουν τις τιμές AFR, αν ληφθεί υπόψη ότι η περιεκτικότητα του αέρα σε  $O_2$  είναι 23% κατά βάρος, επομένως, αν την ανάγκη σε οξυγόνο την πολλαπλασιάσουμε επί 100/23 προκύπτουν οι αντίστοιχες ανάγκες σε αέρα που απαιτείται για την καύση (καυσιγόνος αέρας).

Η πραγματική τιμή AFR (πραγμ.) βρίσκεται αν τις τιμές του AFR (θεωρ.) πολλαπλασιάζουμε κάθε φορά επί το συντελεστή περίσσειας λ, για τον οποίο γίνεται λόγος στην παράγραφο 2.4.

## 2.6.2 Σύσταση καυσαερίων.

Τα βασικά συστατικά των καυσαερίων, όπως προκύπτει από τις εξισώσεις καύσεως (παράγρ. 2.6.1) είναι:

- Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ).
- Διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ).
- Νερό ( $H_2O$ ), συνήθως ως υδρατμός.

Εκτός δύμας αυτών, έχουμε:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) όταν η καύση είναι ατελής.
- Άζωτο, που συνοδεύει το οξυγόνο, αφού αποτελεί βασικό συστατικό του αέρα και μάλιστα σε περιεκτικότητα σχεδόν τετραπλάσια του οξυγόνου..
- Στερεά κατάλοιπα, αποτελούμενα από τέφρα, σκουριά, αιθάλη κλπ.

Η ποσότητα των καυσαερίων δίδεται από το γενικό τύπο:

$$K_{\mu} = 1 + A_{\mu} - \Sigma_{\tau} \text{ kg/kg καυσίμου}$$

όπου  $K_{\mu}$  η μάζα των καυσαερίων.

$A_{\mu}$  η μάζα του αέρα που απαιτείται για την καύση (AFR, παράγρ. 2.6.1) και  $\Sigma_{\tau}$  τα στερεά κατάλοιπα των καυσαερίων.

Από τις εξισώσεις καύσεως, τις πυκνότητες των συστατικών των καυσαερίων και την αναλογία  $N_2$  προς  $O_2$  στον αέρα (περίπου 76/23) προκύπτει ο πίνακας 2.6.2 που δίνει όλα τα προϊόντα καύσεως και επιτρέπει τον υπολογισμό της ποσότητας των καυσαερίων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.2**  
**Συστατικά καυσαερίων**

Από την καύση 1 kg	Παράγονται								Σύνολο καυσαερίων	
	$CO_2$		$H_2O$ (ατμός)		$SO_2$		$N_2$			
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
C	3,67	1,86	9	11,25			8,93	7,12	12,60	8,98
H					2	0,7	26,78	21,25	35,78	32,50
S							3,35	2,65	5,35	3,35

Με βάση, λοιπόν τις τιμές του πίνακα 2.6.2 βρίσκομε

α) Τη μάζα των καυσαερίων  $K_{\mu}$ , για ένα συγκεκριμένο καύσιμο, του οποίου είναι γνωστή η χημική σύσταση:

$$K_{\mu} = 12,6C + 35,78(H - O/8) + 5,35S + Y \text{ kg/kg καυσίμου},$$

όπου στα συνήθη συστατικά του καυσίμου: C, S, H, O προστίθεται και η περιεκτικότητα νερού Y που το καύσιμο μπορεί να περιέχει.

β) Τον όγκο των καυσαερίων  $K_o$ , βρίσκομε διαιρώντας τους παραπάνω συντελεστές με τις αντίστοιχες τιμές ειδικού βάρους καθενός από τα συστατικά των καυσαερίων:

$$K_o = 8,98C + 32,5(H - O/8) + 3,35S + 1,25Ym^3/\text{kg καυσίμου}.$$

Οι παραπάνω τιμές των καυσαερίων  $K_{\mu}$  και  $K_o$  ισχύουν για θεωρητική σχέση AFR. Εφ' όσον η καύση γίνεται με περίσσεια αέρα στην τιμή  $K_{\mu}$  και  $K_o$ , πρέπει να προστίθεται και η περίσσεια  $A_{\mu}$  (σε kg) ή  $A_o$  (σε m<sup>3</sup>) οπότε τα πραγματικά καυσαέρια  $K_{μπ}$  ή  $K_{οπ}$  θα είναι:

$$K_{μπ} = K_{\mu} + A_{\mu} \text{ kg/kg καυσίμου}$$

$$\text{ή } K_{οπ} = K_o + A_o \text{ m}^3/\text{kg καυσίμου}.$$

## 2.7 Ανάφλεξη.

Ανάφλεξη ή έναυση είναι η έναρξη της χημικής αντιδράσεως της καύσεως, δηλαδή της ενώσεως του καυσίμου με το οξυγόνο.

Για την ανάφλεξη απαιτούνται τρεις παράγοντες:

- Καύσιμο.
- Οξυγόνο, σε κατάλληλη με το καύσιμο αναλογία.
- Πηγή εναύσεως, που συνήθως είναι φλόγα, ηλεκτρικός σπινθήρας ή διάπυρη επιφάνεια.

Η αναλογία καυσίμου/αέρα πρέπει να βρίσκεται σε ορισμένα όρια που είναι γνωστά ως **δρια αναφλεξιμότητας** και εξαρτώνται κυρίως από το είδος του καυσίμου.

Τα όρια αναφλεξιμότητας για μερικά αέρια καύσιμα και ατμούς φαίνονται στον πίνακα 2.7.1.

Αν η περιεκτικότητα σε καύσιμο του μίγματος καυσίμου-αέρα είναι μικρότερη από τα κατώτατα όρια αναφλεξιμότητας, το μίγμα χαρακτηρίζεται **φτωχό** και δεν αναφλέγεται από έλλειψη καυσίμου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ξεκίνημα μιας βενζινομηχανής, ιδίως το χειμώνα, που δυσχεραίνεται, γιατί οι συνθήκες αυτές δεν ευνοούν την εξαέρωση της βενζίνης και έτσι το μίγμα που μπαίνει στους κυλίνδρους είναι **φτωχό** και η ανάφλεξη δύσκολη.

Αντίθετα, αν η περιεκτικότητα σε καύσιμο υπερβαίνει τα ανώτατα όρια αναφλεξιμότητας, το μίγμα χαρακτηρίζεται **πλούσιο** και δεν αναφλέγεται από ανεπάρκεια αέρα. Σε μια βενζινομηχανή π.χ. που έχει λόγω φορτίου υπερθερμανθεί, συχνά εμφανίζεται το γνωστό **μπούκωμα**, δηλαδή η μηχανή **σβήνει**, γιατί η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί μεγαλύτερη εξαέρωση της βενζίνης και έτσι σχηματίζεται πλούσιο μίγμα που δεν αναφλέγεται. Σ' αυτό συντείνουν η υψηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος (θερινοί μήνες) και η μεγάλη πτητικότητα της βενζίνης (παράγρ. 5.3).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1**  
**Όρια αναφλεξιμότητας διαφόρων καυσίμων**

Καύσιμο	Όρια αναφλεξιμότητας (% κατά όγκο)
Υδρογόνο	4 - 74
Μεθάνιο	5 - 15
Αιθάνιο	3 - 12
Προπάνιο	2 - 7
Ασετυλίνη	3 - 60
Βενζίνη	1 - 7
Βενζόλιο	1,3 - 6,7
Οκτάνιο	1 - 3
Βουτάνιο	2 - 8
CO	13 - 73

Ανάλογο φαινόμενο παρατηρείται στις βενζινομηχανές και κατά την παρατεταμένη χρήση του εκκινητή (μίζας), που προκαλεί το σχηματισμό υπερπλούσιου μίγματος, που δεν αναφλέγεται. Έτσι έχουμε και εδώ **μπούκωμα**, που αντιμετωπίζεται με κατάλληλο εξαερισμό της μηχανής.

Τα όρια αναφλεξιμότητας ενός μίγματος καυσίμου-αέρα επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, από τους οποίους σημαντικότεροι είναι οι εξής:

**α) Πλεση.** Η αύξηση πιέσεως πέρα από την ατμοσφαιρική συνήθως προκαλεί διεύρυνση των ορίων αναφλεξιμότητας για τα περισσότερα μίγματα, ενώ αντίθετα τα όρια αναφλεξιμότητας περιορίζονται για πιέσεις μικρότερες από την ατμοσφαιρική.

**β) Θερμοκρασία.** Η αύξηση της θερμοκρασίας του μίγματος προκαλεί ανάλογη διεύρυνση των ορίων αναφλεξιμότητας, που κυμαίνεται από 0,001-0,003% για κάθε 1°C.

**γ) Διεύθυνση μεταδόσεως της φλόγας.** Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:

- 1) Η φλόγα μεταδίδεται προς τα πάνω: Τα όρια αναφλεξιμότητας διευρύνονται.
- 2) Η φλόγα μεταδίδεται προς τα κάτω: Τα όρια αναφλεξιμότητας περιορίζονται.
- 3) Η φλόγα μεταδίδεται οριζόντια: Μόνο το όριο του πλούσιου μίγματος αυξάνεται, ενώ του πτωχού μίγματος παραμένει αμετάβλητο.

**δ) Βαθμός ομοιογένειας του μίγματος.** Αν το μίγμα καυσίμου-αέρα είναι ομοιογενές και αυτό συμβαίνει όταν το καύσιμο είναι αέριο ή ατμός, τόσο τα όρια αναφλεξιμότητας όσο και η ταχύτητα αναφλέξεως έχουν μια ορισμένη τιμή, που μόνο από τους τρεις παραπάνω παράγοντες επηρεάζεται. Αντίθετα για ετερογενή μίγματα, όπως είναι τα εκνεφώματα ή σκόνες καυσίμων σε μίγμα με αέρα, δεν έχουν την ίδια σύσταση σ' όλη τη μάζα τους, πράγμα που επηρεάζει και τα όρια αναφλεξιμότητας και την ταχύτητα αναφλέξεως. Σημαντικά επηρεάζει στην περίπτωση αυτή και το μέγεθος των κόκκων, όταν προκειται για σκόνη στερεού καυσίμου.

## 2.8 Αναλυτές καυσαερίων.

Η σύσταση των καυσαερίων μιας μηχανής έχει ιδιαίτερη σημασία για τον έλεγχο της αποδόσεως και γενικότερα της ορθής λειτουργίας της.

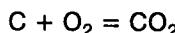
Στις περισσότερες περιπτώσεις τα καυσαέρια αποτελούνται από:

- Διοξείδιο του άνθρακα: ( $\text{CO}_2$ ).
- Μονοξείδιο του άνθρακα: (CO).
- Νερό (συνήθως σε κατάσταση υδρατμών).
- Διοξείδιο του θείου: ( $\text{SO}_2$ ).
- Περίσσεια αέρα, δηλαδή οξυγόνο και άζωτο (παράγρ. 2.4).

Μεταξύ των διαφόρων συσκευών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των καυσαερίων αναφέρονται:

### a) Μετρητής $\text{CO}_2$ RANAVEX.

Το  $\text{CO}_2$  είναι βασικό συστατικό των καυσαερίων όλων των θερμικών μηχανών, σχηματιζόμενο από την καύση του άνθρακα κατά την αντίδραση



Εφ' όσον πρόκειται για τέλεια καύση, η ποσότητα του  $\text{CO}_2$ , που προέρχεται από ένα συγκεκριμένο καύσιμο, είναι σταθερή, ενώ η περίσσεια αέρα που έχει χρησιμοποιηθεί για να εξασφαλισθεί η τέλεια καύση, μεταβάλλει την εκατοσταία αναλογία του  $\text{CO}_2$  στα καυσαέρια, που είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια αέρα. Είναι φανερό, επομένως ότι η περιεκτικότητα  $\text{CO}_2$  στα καυσαέρια, αποτελεί ένδειξη της περίσσειας αέρα, που εξασφαλίζει την τέλεια καύση.

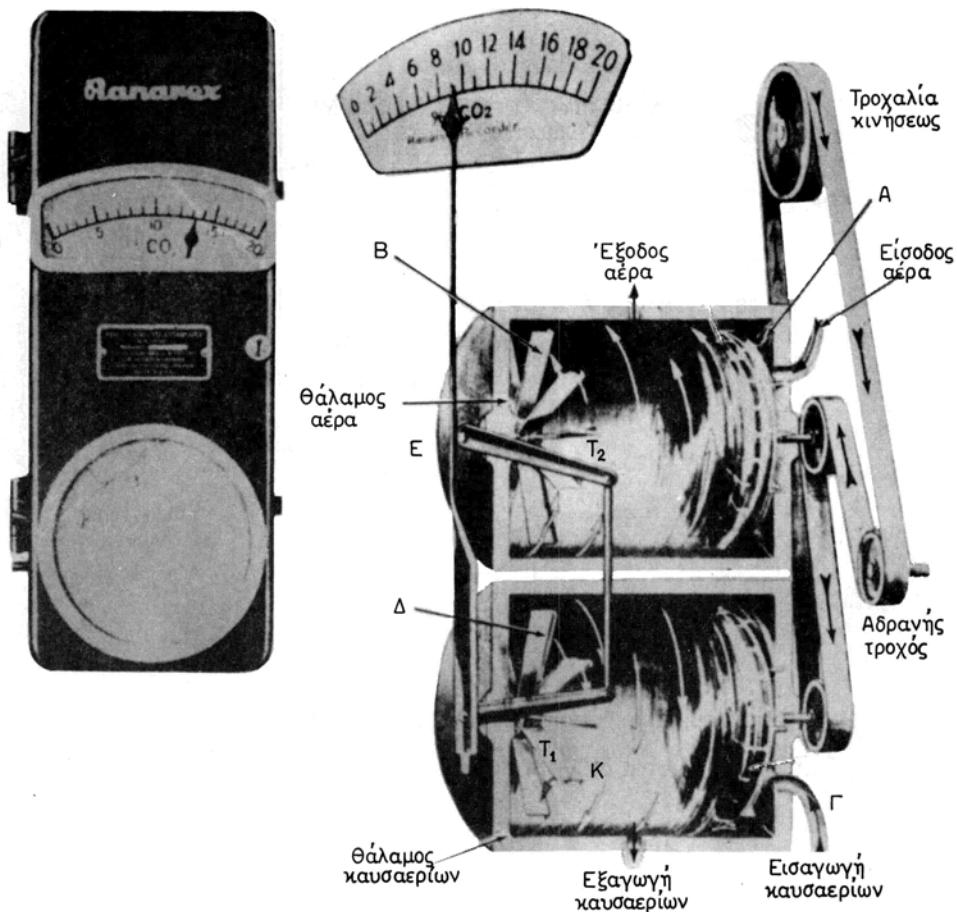
Ο μετρητής  $\text{CO}_2$  RANAVEX δείχνει, αλλά και μπορεί να καταγράφει την περιεκτικότητα  $\text{CO}_2$  στα καυσαέρια. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο καυσαερίων από εστίες καύσεως (π.χ. λέβητες), μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και στα καυσαέρια οιασδήποτε θερμικής μηχανής (σχ. 2.8α και 2.8β).

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο γεγονός ότι το ειδικό βάρος των καυσαερίων μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα  $\text{CO}_2$ , αφού είναι γνωστό ότι το ειδικό βάρος του είναι πολύ μεγαλύτερο από τα άλλα συστατικά των καυσαερίων (πλην του  $\text{SO}_2$ ).

Ενδεικτικά αναφέρονται τα ειδικά βάρη συνήθων συστατικών των καυσαερίων (σε  $\text{kg/m}^3$ )

Αέρας	1,293
'Άζωτο	1,25
Οξυγόνο	1,429
Υδρατμός	0,80
CO	1,25
$\text{CO}_2$	1,97
$\text{SO}_2$	2,85

Όπως φαίνεται στα σχήματα 2.8α και 2.8β τα καυσαέρια αναρροφώνται από το θάλαμο καύσεως και με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα, που στρέφεται στο κυ-

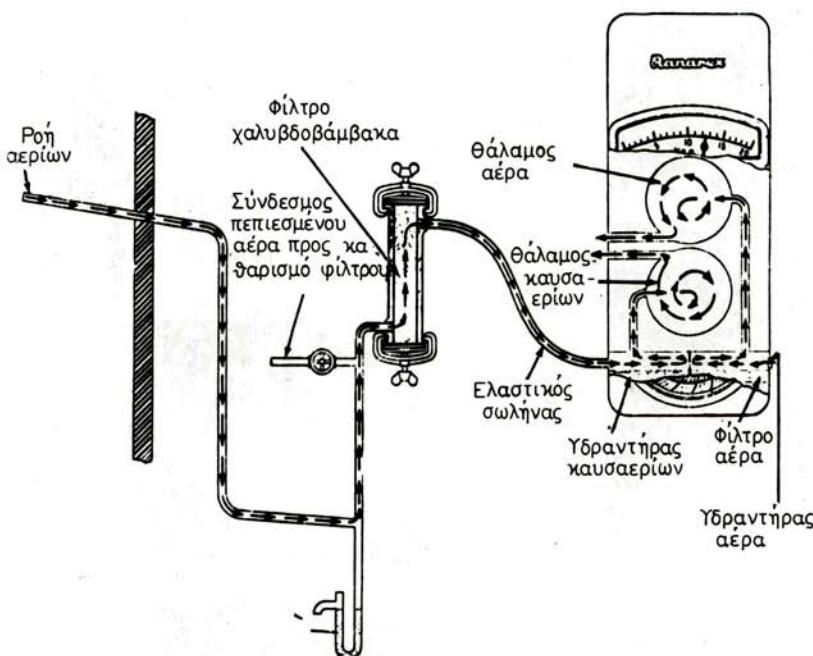


Σχ. 2.8α.

Λειτουργία συσκευής RANAVEX.

Α. Αναρρόφηση αέρα. Β. Μετάδοση ροπής στρέψεως από αέρα. Γ. Αναρρόφηση καυσαερίων. Δ. Μετάδοση ροπής στρέψεως από καυσαερίων (σε αντίθετη φορά από την περιστροφή αέρα). Ε. Μεταφορά της υπερβάλλουσας ροπής στρέψεως στη βελόνα του ενδεικτή.

λινδρικό κέλυφος K, δέχονται μία περιστροφική κίνηση, οδηγούμενα προς τα πτερύγια ενός τροχού δράσεως T<sub>1</sub>, και παράγουν μία ροπή στρέψεως, που είναι κατ' ευθείαν ανάλογη προς το βάρος των καυσαερίων, άρα και προς την περιεκτικότητα CO<sub>2</sub>. Ένας δεύτερος τροχός δράσεως T<sub>2</sub>, τροφοδοτείται με αέρα προερχόμενο από άλλον ανεμιστήρα και περιστρεφόμενο αντίθετα από τον ίδιο κινητήρα. Οι άξονες των δύο τροχών δράσεως συνδέονται με τη βοήθεια δύο μοχλών και συνδετικής ράβδου. Η διαφορά των δύο αντιθέτων ροπών δίνει περιορισμένη κίνηση στο σύστημα που μεταφέρεται στην ενδεικτική βελόνα του μετρητή. Η βελόνα αυτή κινείται μπροστά σε μία πλάκα βαθμολογημένη κατ' ευθείαν σε περιεκτικότητα % CO<sub>2</sub>.



Σχ. 2.8β.

Διαγραμματική διάταξη λειτουργίας συσκευής RANAVEX.

Στο σχήμα 2.8β φαίνεται διαγραμματικά η λειτουργία της συσκευής RANAVEX.

### β) Συσκευή ORSAT.

Η συσκευή ORSAT, είναι επιστημονικό όργανο που δίνει με ακρίβεια την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε:

- α) Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ).
- β) Μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ).
- γ) Οξυγόνο ( $\text{O}_2$ )

και έτσι επιτρέπει τον έλεγχο της ποιότητας καύσεως.

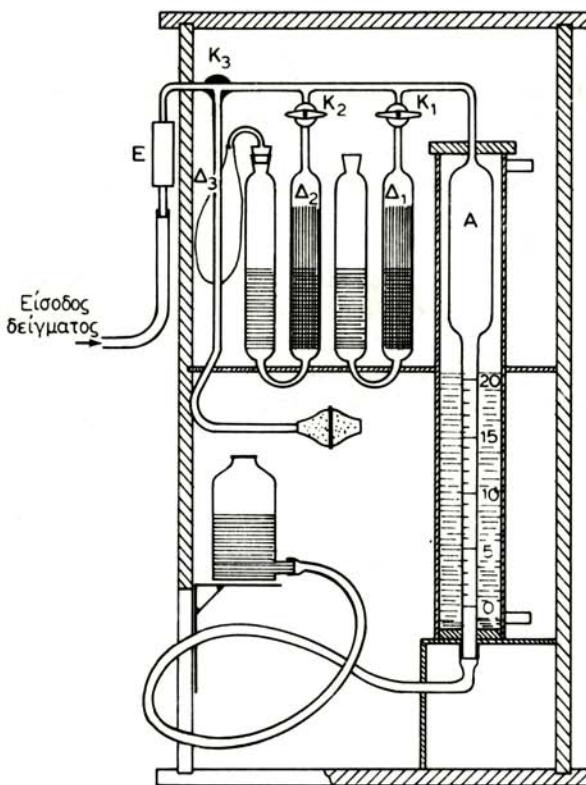
Η μέτρηση βασίζεται σε μία σειρά χημικών αντιδράσεων κατά τις οποίες καθένα από τα τρία παραπάνω συστατικά δεσμεύεται από ένα διάλυμα και από την ελάττωση του όγκου προκύπτει κάθε φορά η περιεκτικότητα του κάθε συστατικού.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8γ η συσκευή βασικά αποτελείται από τρία στοιχεία  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  (που δεν απεικονίζεται στο σχήμα) καθένα από τα οποία συγκρατεί τα μετρούμενα συστατικά των καυσαερίων.

1) Το δοχείο  $\Delta_1$  περιέχει διάλυμα καυστικής ποτάσσας (KOH) που δεσμεύει το  $\text{CO}_2$ .

2) Το δοχείο  $\Delta_2$  περιέχει διάλυμα πυρογαλλόλης, μιας ουσίας που έχει την ιδιότητα να συγκρατεί το οξυγόνο.

3) Το τρίτο δοχείο (εκτός σχήματος) περιέχει διάλυμα χλωριούχου χαλκού που δεσμεύει το μονοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}$ .



Σχ. 2.8γ.  
Συσκευή ORSAT.

Στη συσκευή διαβιβάζεται ορισμένη ποσότητα από τα καυσαέρια ( $100 \text{ cm}^3$ ) υπό ορισμένη πίεση και σε ορισμένη θερμοκρασία. Στο δοχείο  $\Delta_1$  γίνεται πρώτα η μέτρηση  $\text{CO}_2$ , από τη διαφορά όγκου, (στις ίδιες συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας) που προκύπτει λόγω δεσμεύσεως του  $\text{CO}_2$  που περιέχουν τα καυσαέρια. Το (διο δείγμα διαβιβάζεται κατόπιν με τη σειρά στα άλλα δύο δοχεία: Στο  $\Delta_2$  η πυρογαλλόλη δεσμεύει το οξυγόνο και στο  $\Delta_3$ , ο χλωριούχος χαλκός δεσμεύει το μονοξείδιο του άνθρακα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω μετρήσεις είναι τοξικά και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση τους.

### γ) Μετρητής $\text{CO}_2$ FYRITE.

Στηρίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας, όπως και η συσκευή ORSAT, δηλαδή στη μεταβολή όγκου ορισμένης ποσότητας καυσαερίων, ύστερα από την απορρόφηση του  $\text{CO}_2$ . Η απορρόφηση γίνεται και εδώ με διάλυμα  $\text{KOH}$  διά του οποίου διαβιβάζεται το δείγμα των καυσαερίων. Έχει απλούστερη κατασκευή, αφού με αυτή συνήθως προσδιορίζεται ένα μόνο συστατικό, το  $\text{CO}_2$ , που είναι και το βασικότερο συστατικό των καυσαερίων.

Η λειτουργία της συσκευής FYRITE φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα 2.8δ. Το δείγμα αναρροφάται από το σημείο Α και διερχόμενο διά του δοχείου Β, που περιέχει το διάλυμα KOH, υφίσταται μείωση του όγκου ανάλογη προς την περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub> του δείγματος που έχει αναρροφηθεί. Τότε η στάθμη του υγρού του δοχείου Β ανεβαίνει ανάλογα. Τούτο φαίνεται στην κλίμακα Μ, που είναι βαθμολογημένη επί % ως προς την περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub>.

### **δ) Μετρητής CO<sub>2</sub> SIEMENS.**

Η λειτουργία του οργάνου (σχ. 2.8ε) αυτού στηρίζεται στις διαφορές τιμών θερμής αγωγιμότητας των συστατικών των καυσαερίων, όπως παρουσιάζει ο πίνακας 2.6.3.

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6.3**

**Θερμική αγωγιμότητα διαφόρων αερίων.**

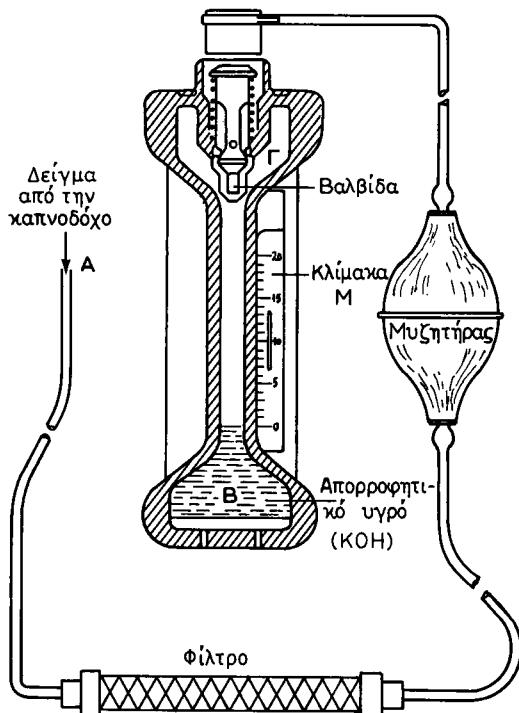
Αέριο	Τιμές θερμικής αγωγιμότητας	
	Joule.cm/cm <sup>2</sup> .S°C	Σε σύγκριση με αέρα
Αέρας	2,41	1,00
Υδρογόνο	16,84	7
Μεθάνιο	3,02	1,25
Οξυγόνο	2,44	1,01
CO	2,32	0,96
CO <sub>2</sub>	1,45	0,63
Νερό (υδρατμός)	1,58	0,66
SO <sub>2</sub>	0,77	0,32

Από τις τιμές του πίνακα 2.6.3 γίνεται φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> τόσο μικρότερη θα είναι η θερμική αγωγιμότητα των καυσαερίων αυτών.

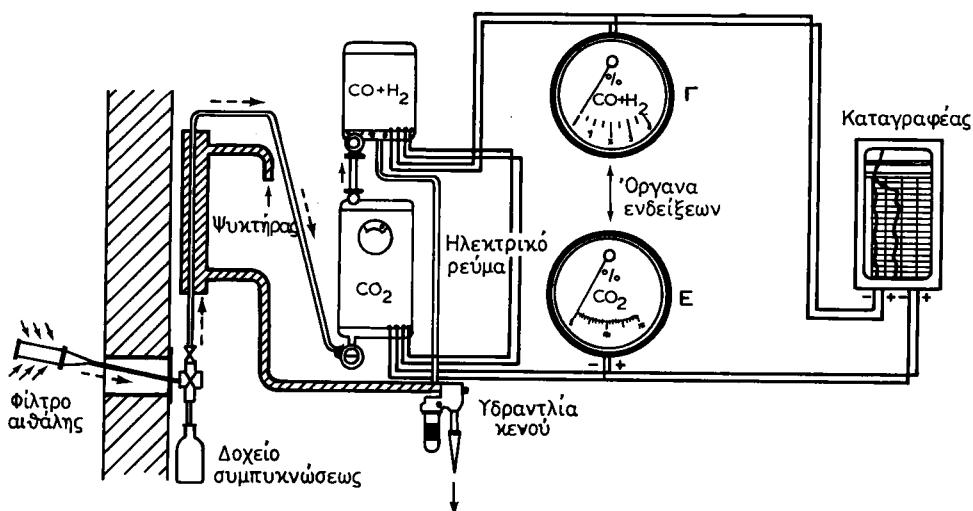
Ο μεταβολές περιεκτικότητας CO<sub>2</sub>, προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές της θερμικής αγωγιμότητας των καυσαερίων, που με τη σειρά τους μεταβάλουν αντίστοιχα τη θερμοκρασία ενός μεταλλικού σύρματος που τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας προκαλεί ανάλογη μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεως, που είναι επομένως ενδεικτική της περιεκτικότητας CO<sub>2</sub> των καυσαερίων. Τελικώς η μεταβολή της αντιστάσεως, άρα και της περιεκτικότητας CO<sub>2</sub> μεταφέρεται μέσω αμπερομέτρου σε ενδείκτη απευθείας βαθμολογημένο σε CO<sub>2</sub> (που στο σχήμα 2.8ε σημειώνεται ως Ε) ή καταγράφεται στον περιστρεφόμενο καταγραφέα Κ. Με την ίδια συσκευή μπορεί να μετρηθεί το άθροισμα CO και H<sub>2</sub> που τα καυσάερια περιέχουν. Τα καυσάερια διαβιβάζονται σε χώρο μέσα στον οποίο υπάρχει σύρμα λευκοχρύσου διατηρούμενο με ηλεκτρικό ρεύμα σε 450°C, πράγμα που προκαλεί την καταλυτική καύση του CO και του υδρογόνου και ανάλογη αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτή με τη σειρά της προκαλεί μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεως που μεταφέρεται ως ένδειξη στο γαλβανόμετρο Γ.

### **ε) Αιθαλόμετρα.**

Είναι διατάξεις που επιτρέπουν τη μέτρηση της αιθάλης που υπάρχει στα καυ-



Σχ. 2.8δ.  
Συσκευή FYRITE.



Σχ. 2.8ε.  
Συσκευή αναλύσεως καυσαερίων SIEMENS.

σαέρια. Η μέτρηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για την εκτίμηση της ποιότητας καύσεως. Κατά πόσο μία θερμική εγκατάσταση ή μία θερμική μηχανή λειτουργεί ικανοποιητικά ή όχι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία αιθάλης στα καυσαέρια. Η αιθάλη αποτελείται από άκαυστα συστατικά του καυσίμου, κυρίως άνθρακα, και η παρουσία της προδίδει συνήθως ατελή καύση. Μία πρώτη ένδειξη για την παρουσία της αιθάλης στα καυσαέρια παρέχει το χρώμα τους, που είναι τόσο βαθύτερο, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα της αιθάλης.

Μερικά από τα αιθαλόμετρα που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα είναι:

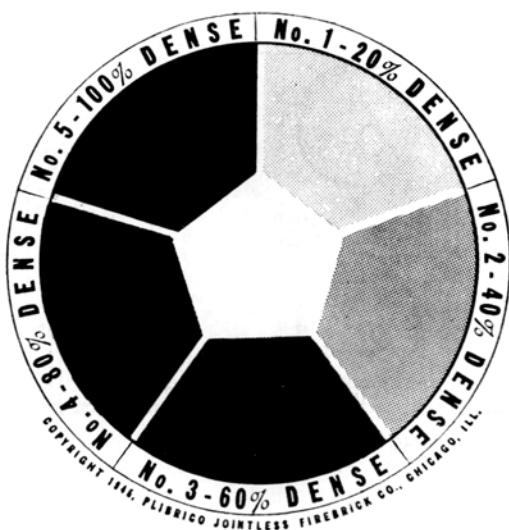
### 1) Αιθαλόμετρο Ringelmann.

Είναι ένας χάρτινος δίσκος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8στ, που στο κέντρο φέρει οπή σχήματος πενταγώνου διά της οποίας διέρχονται τα καυσαέρια.

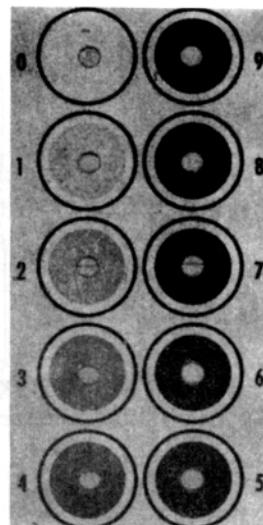
Γύρω από την οπή υπάρχει κλίμακα 5 χρωμάτων (No 1 ως No 5) από το πολύ ανοικτό (No 1) ως το σχεδόν μαύρο (No 5), που αντιστοιχεί σε ανάλογη περιεκτικότητα αιθάλης. Καθώς τα καυσαέρια αναγκάζονται να διέρχονται διά της οπής, συγκρίνεται το χρώμα τους προς τα χρώματα της κλίμακας και καταγράφεται το χρώμα που είναι πλησιέστερο προς το χρώμα των καυσαερίων. Συνήθως δεν πρέπει μία καλώς λειτουργούσα εγκατάσταση να έχει χρώμα κατά Ringelmann μεγαλύτερο του 2.

### 2) Αιθαλόμετρο Bacharach.

Ορισμένη ποσότητα καυσαερίων διηθείται σε χάρτινο ηθμό και το χρώμα που προκύπτει συγκρίνεται με τα χρώματα της κλίμακας Bacharach (σχ. 2.8ζ) που έχει 10 διαβαθμίσεις.



Σχ. 2.8στ.  
Αιθαλόμετρο Ringelmann.



Σχ. 2.8ζ.  
Αιθαλόμετρο Bacharach.

Και εδώ, δεν επιτρέπεται οι τιμές που προκύπτουν κατά τη μέτρηση να υπερβαίνουν τη διαβάθμιση 2.

### **3) Φωτοηλεκτρικά αιθαλόμετρα.**

Σε αυτά η μέτρηση της αιθάλης βασίζεται στη σύγκριση της αιπορροφήσεως του φωτός που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή καθώς διέρχεται διά των καυσαερίων, προς την αιπορρόφηση της ίδιας πηγής με τις ίδιες συνθήκες κατά την διέλευση από περιβάλλον χωρίς αιθάλη.

## **2.9 Δείγματα καυσαερίων.**

Τα αποτελέσματα αναλύσεων των καυσαερίων που περιγράφονται στις προηγούμενες παραγράφους, δεν έχουν αξία αν το δείγμα των καυσαερίων που έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση δεν είναι αντιπροσωπευτικό όλης της ποσότητας καυσαερίων που εκπέμπει η εξεταζόμενη μηχανή.

Για την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος των καυσαερίων, πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω οδηγίες:

- α)** Η δειγματοληψία να γίνεται από σημεία στα οποία τα καυσαέρια έχουν αναμιχθεί πλήρως, π.χ. στο κύριο σώμα ροής τους και όχι σε νεκρές γωνίες ή κοντά στα τοιχώματα των καπναγωγών.
- β)** Στις μηχανές εσωτερικής καύσεως, στις οποίες υπάρχει αυξομείωση της πιέσεως στην εξαγωγή, πρέπει το σημείο δειγματοληψίας να απέχει αρκετά από το στόμιο της εξαγωγής, ώστε να μην αναμιχθούν τα καυσαέρια με αέρα κατά τις φάσεις υποπιέσεως που δημιουργούν ρεύμα προς τον κινητήρα.
- γ)** Το νερό των καυσαερίων που συμπικνώνεται πρέπει να παγιδεύεται και να απομακρύνεται με κατάλληλες διατάξεις.

Τα δείγματα λαμβάνονται με σωλήνες, συνήθως χάλκινους, διαμέτρου 5-10 mm, εφόσον η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν υπερβαίνει τους 500°C. Για υψηλότερες θερμοκρασίες οι σωλήνες δειγματοληψίας είναι από πορσελάνη ή είναι μεταλλικοί αλλά υδρόψυκτοι.

## **2.10 Αυτανάφλεξη.**

Η αυτανάφλεξη είναι ειδική περίπτωση αναφλέξεως, κατά την οποία δεν απαιτείται φλόγα ή σπινθήρας για την ανάφλεξη του καυσίμου, αλλά η θερμοκρασία του φθάνει σε μια κατώτατη τιμή, πέραν από την οποία αναφλέγεται αυτόματα, δηλαδή χωρίς φλόγα ή σπινθήρα. Η περίπτωση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τις μηχανές Diesel, στις οποίες η έναυση του πετρελαίου γίνεται με αυτανάφλεξη. Προς το σκοπό αυτό η συμπίεση του αέρα είναι τόσο υψηλή (βαθμός συμπιέσεως από 15:1 έως 18:1), ώστε η θερμοκρασία που αποκτά εξασφαλίζει την αυτανάφλεξη του πετρελαίου που ψεκάζεται από τον καυστήρα στο τέλος της συμπιέσεως (10-40°C πριν το A.N.S. ανάλογα με την προπορεία εγχύσεως).

Η θερμοκρασία αυταναφλέξεως (Θ.Α.), η οποία είναι γνωστή και ως S.I.T. (Spontaneous Ignition Temperature) επηρεάζεται σημαντικότατα από τη μέθοδο μετρήσεως (πίνακας 2.10.1)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.1**  
**Θερμοκρασία αυταναφλέξεως (Θ.Α.) καυσίμων**

Προϊόν	Θ.Α. °C S.I.T.	Σημείο αναφλέξεως °C (κλειστού δοχείου)
Βενζίνη	720	-40
Κεροζίνη	650	+40
Γκαζόιλ (πετρ. Diesel)	430	85
Μαζούτ	400	100
Ορυκτέλαια	360	200

Από τον πίνακα αυτόν παρατηρούμε ότι η Θ.Α. είναι μεγαλύτερη για τα ελαφρά καύσιμα και μικρότερη για τα βαρειά καύσιμα και τα ορυκτέλαια, ενώ το Σημείο Αναφλέξεως είναι χαμηλό για τα ελαφρά και πτητικά καύσιμα και υψηλό για τα βαριά και παχύρρευστα καύσιμα ή έλαια.

Η Θερμοκρασία αυταναφλέξεως επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες και κυρίως από την πίεση. Αύξηση της πιέσεως προκαλεί ελάττωση της θερμοκρασίας αυταναφλέξεως, όπως δείχνει το παράδειγμα του ορυκτελαίου SAE 30, στον πίνακα (2.10.2).

Η αυτανάφλεξη των καυσίμων έχει ιδιαίτερη σημασία για την ασφάλεια κατά την αποθήκευσή τους.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10.2**  
**Επίδραση της πιέσεως στη θερμοκρασία αυταναφλέξεως**

Πίεση (bar)	Θ.Α. ορυκτελαίου SAE 30
1	380°C
2	320°C
7	275°C
15	260°C
25	255°C
35	250°C
50	240°C
70	228°C

## 2.11 Απώλειες καύσεως.

Σημαντικό μέρος από τη θερμότητα που παράγεται κατά την καύση των διαφόρων καυσίμων στις θερμικές μηχανές, χάνεται στα διάφορα στάδια κατά τα οποία η θερμότητα αυτή μεταβιβάζεται στη μηχανή ή απάγεται στο περιβάλλον.

Οι σπουδαιότερες απώλειες καύσεως είναι:

### a) Απώλειες διά καπνοδόχου.

Πρόκειται για τη θερμότητα που τα καυσαέρια μεταφέρουν κατά την έξοδό τους διά της καπνοδόχου στην ατμόσφαιρα. Είναι η σημαντικότερη απώλεια, αν ληφθεί υπόψη ότι ο αέρας που εισάγεται για την καύση έχει θερμοκρασία 15-

30°C και κατά την έξοδό του στην ατμόσφαιρα υπό μορφή καυσαερίων έχει θερμοκρασία 200-300°C. Έτσι εξηγείται γιατί η μεγάλη περίσσεια αέρα προκειμένου να εξασφαλισθεί τέλεια καύση, μπορεί να αποβεί αντιοικονομική, αφού ο επί πλέον αέρας μεταφέρει μεγάλα ποσά θερμότητας. Το ποσοστό της απώλειας διά καπνοδόχου κυμαίνεται από 10 έως 15%.

### **β) Απώλεια λόγω στελούς καύσεως.**

Είδαμε (παράγρ. 2.5) ότι αν ο αέρας που παρέχεται στη μηχανή είναι ανεπαρκής, ή αν η ανάμιξή του με το καύσιμο δεν είναι ικανοποιητική, η καύση είναι ατελής και στα καυσαέρια περιέχονται άκαυστα συστατικά, κυρίως CO και αιθάλη. Έτσι το καύσιμο δεν αποδίδει όλη του τη θερμαντική ισχύ και ο βαθμός αποδόσεως της μηχανής που τροφοδοτεί μειώνεται. Η απώλεια λόγω ατελούς καύσεως κυμαίνεται από 2 ως 3%.

### **γ) Απώλεια λόγω μεταφοράς θερμότητας.**

Ένα μέρος από τη θερμότητα που παράγεται κατά την καύση χάνεται προς το περιβάλλον, με όλους τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να μεταδοθεί η θερμότητα:

- 1) Με αγωγιμότητα, από τα τοιχώματα της μηχανής ή της εγκαταστάσεως στην οποία γίνεται η καύση.
- 2) Με μεταφορά, κυρίως διά των καυσαερίων που εντάσσεται στην περίπτωση (β).
- 3) Με ακτινοβολία προς το περιβάλλον.

## **2.12 Σημασία των καυσίμων.**

**α) Από γενική άποψη** η σημασία των καυσίμων για όλη την ανθρωπότητα είναι τεράστια, γιατί αποτελούν τη σπουδαιότερη πηγή ενέργειας, που καταναλώνει η ανθρωπότητα. Περίπου το 90% του συνόλου των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας καλύπτεται από τα συμβατικά καύσιμα, ενώ το υπόλοιπο προέρχεται από άλλες πηγές, όπως είναι η πυρηνική ενέργεια, ο υδροηλεκτρισμός, η ηλιακή ενέργεια κλπ. Η στάθμη αναπτύξεως μιας χώρας συμβαδίζει με την ενέργεια που η χώρα αυτή δαπανά. Για τη δεκαετία που διανύομε η ανθρωπότητα χρειάζεται επησίως ενέργεια ίση με  $420 \cdot 10^{18}$  J, που αντιστοιχεί σε 10 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμους σε πετρέλαιο. Η ενέργεια αυτή κατανέμεται μεταξύ των διαφόρων πηγών ως εξής:

Στερεά καύσιμα (γαιάνθρακες)	100 EJ (24%)
Υγρά καύσιμα (πετρέλαιο)	200 EJ (47,6%)
Αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο)	70 EJ (16,5%)
Πυρηνική ενέργεια	20 EJ (4,8%)
Λοιπές πηγές (ηλιακή ενέργεια, γεωθερμική, φωτοσύνθεση, υδροηλεκτρισμός κλπ.)	30 EJ (7,1%)
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>420 EJ (100%)</b>

**β) Ειδικότερα** για το μηχανικό η σημασία των καυσίμων αλλά και των λιπαντικών είναι τεράστια, γιατί από την ποιότητά τους εξαρτάται η απόδοση και εν γένει

η συμπεριφορά της μηχανής. Όσο καλά και αν είναι σχεδιασμένη μια μηχανή, με όση επιμέλεια και αν έχει κατασκευασθεί και όσο άρτια και αν είναι η συντήρησή της, η συμπεριφορά της δεν θα είναι ικανοποιητική, αν δεν τροφοδοτείται με το κατάλληλο καύσιμο ή δεν έχει εξασφαλισθεί σωστή λίπανση. Ακατάλληλο καύσιμο ή κακή λίπανση επιδρά άμεσα στη λειτουργία της μηχανής και η επίδρασή τους μπορεί να φθάσει ακόμα και ως την πλήρη καταστροφή της. Το ρόλο και τη σημασία των καυσίμων και των λιπαντικών τονίζει η παρακάτω σχέση:

$$\boxed{\text{Συμπεριφορά μηχανής}} = \boxed{\text{Σχεδίαση}} \times \boxed{\text{Κατασκευή}} \times \boxed{\text{Συντήρηση}} \times \boxed{\text{Καύσιμο}} \times \boxed{\text{Λιπαντικό}}$$

Από τη σχέση αυτή γίνεται φανερό ότι η συμπεριφορά της μηχανής βαθμολογείται με **μηδέν** (η μηχανή δεν λειτουργεί) αν η ποιότητα του καυσίμου ή του λιπαντικού είναι τόσο κακή, ώστε να βαθμολογηθεί με μηδέν. Ολόκληρο το γινόμενο των παραγόντων, που καθορίζουν τη συμπεριφορά της μηχανής, μηδενίζεται τότε, όσο τέλεια και αν είναι η σχεδίαση, η κατασκευή και η συντήρησή της.

Η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου ή λιπαντικού για μια συγκεκριμένη μηχανή προϋποθέτει γνώση και κατανόηση των ιδιοτήτων τους και της σημασίας ή της επιδράσεως που έχουν για τη λειτουργία της μηχανής. Αυτό βέβαια είναι έργο του κατασκευαστή της μηχανής, αλλά και ευθύνη μηχανικού που επιβλέπει και παρακολουθεί τη λειτουργία της.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΥΓΡΑ ΚΑΥΣΙΜΑ – ΓΕΝΙΚΑ

#### 3.1 Κατάταξη των υγρών καυσίμων.

Υγρά καύσιμα είναι εκείνα που στη συνηθισμένη θερμοκρασία βρίσκονται σε υγρή κατάσταση.

Τα υγρά καύσιμα κατατασσόνται σε δύο κατηγορίες:

- α) Πρωτογενή ή φυσικά υγρά καύσιμα**, που υπάρχουν στη φύση, όπως το φυσικό πετρέλαιο. Το φυσικό πετρέλαιο δεν χρησιμοποιείται ως έχει, αλλά διαχωρίζεται στα διάφορα προϊόντα, ύστερα από μια σειρά κατεργασιών, που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4 (μαζούτ, ντίζελ, βενζίνες κλπ).
- β) Τεχνητά υγρά καύσιμα**, που δεν είναι φυσικά προϊόντα, αλλά παράγονται με διάφορες μεθόδους, όπως το οινόπνευμα, το υδρογόνο, τα συνθετικά καύσιμα κλπ. Το υδρογόνο (σε ορισμένες περιπτώσεις) αν και αέριο, κατατάσσεται στα υγρά καύσιμα, γιατί σε υγρή κατάσταση χρησιμοποιείται ως καύσιμο πυραύλων, φυσικά με πολύ μεγάλη πίεση, αφού με ατμοσφαιρική πίεση υγροποιείται μόλις στους  $-252^{\circ}\text{C}$ .

Για τις ναυτικές μηχανές μεγαλύτερη σημασία έχουν μερικά από τα προϊόντα αποστάξεως του φυσικού πετρελαίου γιατί με αυτά κινούνται τα περισσότερα πλοία και από αυτά παράγονται τα σπουδαιότερα είδη λιπαντικών.

#### 3.2 Το φυσικό πετρέλαιο.

Είναι το σπουδαιότερο από όλα τα είδη καυσίμων, χάρη στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα που τα προϊόντα του παρουσιάζουν ως καύσιμα των θερμικών μηχανών. Καλύπτει σχεδόν το  $\frac{1}{2}$  των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας και χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του 98% των ναυτικών μηχανών. Λέγεται επίσης **αργό πετρέλαιο** (crude oil).

Το πετρέλαιο είναι **ορυκτό**, βρίσκεται δηλαδή σε κοιτάσματα μέσα στο έδαφος και σε βάθη που ποικίλουν από λίγα μέτρα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα. Η πρώτη γεώτρηση έγινε το 1859 από τον Drake στην περιοχή της Πενσυλβανίας των ΗΠΑ. Τα κοιτάσματα εκεί βρίσκονται σε μικρό βάθος και η άντλησή τους δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες. Από την εποχή εκείνη η παραγωγή και επεξεργασία του πετρελαίου πήρε τεράστια ανάπτυξη και αποτελεί σήμερα μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες. Εκτός από την εθνική σημασία, που έχει το πετρέλαιο ως πλουτοπαραγωγική πηγή μιας χώρας, έχει και γενικότερη στρατιωτική σημασία, μια και είναι το σπουδαιότερο εφόδιο ενός σύγχρονου στρατού. Γενικότερα στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του βασίζεται η βιομηχανική ανάπτυξη σε όλους τους τομείς: από τα μεταφορικά μέσα ως τη βαριά βιομηχανία.

Το φυσικό πετρέλαιο είναι άνισα κατανεμημένο σε διάφορες περιοχές της γης. Σε ορισμένες περιοχές, όπως η Νότια Αμερική, η Αραβική Χερσόνησος, η Μέση Ανατολή, η Βόρεια Αφρική (Λιβύη) κ.α. υπάρχουν μεγάλα αποθέματα κοιτασμάτων φυσικού πετρελαίου ενώ σε άλλες περιοχές της γης δεν υπάρχει καθόλου πετρέλαιο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Ευρώπη που διαθέτει μόλις το 4,4% των παγκοσμίων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικά για την κάλυψη των αναγκών της βασίζεται σε εισαγωγές.

Το σύνολο των αποθεμάτων του φυσικού πετρελαίου εγγίζει σήμερα (1994) τα 140 δισεκατομμύρια τόνους των οποίων η κατανομή παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1**  
**Αποθέματα φυσικού πετρελαίου**

Χώρα ή περιοχή	Αποθέματα	
	Δισ. τόνοι	%
Μέση Ανατολή	90	66
Βόρεια Αμερική	5	3,6
Νότια Αμερική	17,5	12,8
Ευρώπη (χώρες ΟΟΣΑ)	2,2	1,6
Άπω Ανατολή - Αυστραλία	6	4,4
Πρώην Σοβιετική Ένωση	8	5,8
Αφρική	8,1	5,8
Σύνολο	136,8	100

Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι τα 2/3 περίπου των αποθεμάτων πετρελαίου όλης της γης βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μικρή σχετικά έκταση της Μέσης Ανατολής (Αραβική Χερσόνησος, Ιράν, Ιράκ κλπ.), πράγμα που έχει τις ακόλουθες συνέπειες:

- a) Στην περιοχή αυτή έχουν αναπτυχθεί πλουσιότατα κρατίδια [(το Κουβέιτ π.χ. κατέχει την τρίτη θέση στον κόσμο από απόψεως εθνικού εισοδήματος (πίνακας 1.2.1)].
- β) Η περιοχή αυτή είναι εξαιρετικά ευπαθής και συχνά αιτία αναταραχών και πολέμων.
- γ) Η μεταφορά του πετρελαίου από την περιοχή αυτή στους τόπους καταναλώσεως (κυρίως Ευρώπη) είχε ευμενή επίδραση στην ανάπτυξη της Εμπορικής Ναυτιλίας, ιδίως κατά την περίοδο 1954-1970 που η διώρυγα του Σουεζ ήταν κλειστή.

### 3.3 Ελληνικά πετρέλαια.

Υστερα από ερευνητικές προσπάθειες πολλών ετών, έχουν εντοπισθεί στο υπέδαφος του Ελληνικού χώρου εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα πετρελαίου, των οποίων η εκμετάλλευση άρχισε από το 1981 στην υποθαλάσσια περιοχή της Θάσου (κοίτασμα Πρίνος).

Την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων αυτών έχει αναλάβει η Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (ΔΕΠ) που ιδρύθηκε το 1975, με μοναδικό μέτοχο το ελληνικό κράτος και με αρχικό κεφάλαιο 1 000 000 000 δρχ. (νόμος 87/75).

Στο διάστημα αυτό έγιναν από διάφορες τεχνικές εταιρίες (Oceanic, Denison,

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1**

**Έρευνες που έγιναν από τη ΔΕΠ για τον εντοπισμό κοιτασμάτων πετρελαίου μεταξύ 1975-1979**

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

	ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
ΓΕΩΛΟΓΙΑ (Φωτογεωλογία, Στρωματογραφία και Γεωτεκτονική) Χαρτογράφηση 1:50000	Ξάνθη - Κομοτηνή Φίλιπποι - Δράμα Στρυμώνας ΒΔ Πελοπόννησος Αιτ/νία - Ήπειρος Δυτική Θεσσαλία	km <sup>2</sup> » » » » »	1300 1100 1600 3300 1100 400
Χαρτογράφηση 1:25000	Πάργα, Κυπαρισσία και Κεφαλληνία	»	250
		ΣΥΝΟΛΟ km <sup>2</sup>	9050

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

ΧΕΡΣΑΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Δέλτα Νέστου	km	97,3
Φίλιπποι - Δράμα	»	128,7
Στρυμώνας- Σέρρες	»	32,5
Ξάνθη - Κομοτηνή	»	204
ΒΔ Πελοπόννησος	»	684
Πρέβεζα	»	50
	ΣΥΝΟΛΟ km	1196,5
ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
Όρμος Βισθανίδας	km	52
Πατραϊκός κόλπος	»	1064
Λακωνικός - Μεσσηνιακός κόλπος	»	910
Παξοί - Πάργα	»	226
Δ. Πατραϊκός κόλπος - Ζάκυνθος	»	1110,5
Κέρκυρα - Παξοί - Πρέβεζα - Λευκάδα	»	917,6
	ΣΥΝΟΛΟ km	4280,1

**ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

ΧΕΡΣΑΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Δέλτα Νέστου	ΣΗΜΕΙΑ	540
Ξάνθη - Κομοτηνή	»	481
Φίλιπποι - Δράμα	»	532
Στρυμώνας - Σέρρες	»	1130
ΒΔ Πελοπόννησος	»	2451
	ΣΥΝΟΛΟ	5134
ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	km	
Πατραϊκός κόλπος	km	1011,7
Παξοί	»	922
	ΣΥΝΟΛΟ	1933,7

**ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Πατραϊκός κόλπος	km	1019
Παξοί - Πάργα	»	904
	ΣΥΝΟΛΟ	1923

Rompetroil κλπ.) υπό την επίβλεψη της ΔΕΠ, πολλές δοκιμαστικές γεωτρήσεις σε διάφορες περιοχές του Ελληνικού χώρου (Δέλτα Νέστου, Νοτιοδυτική Πελοπόννησος, Δέλτα Έβρου, Πατραϊκός, Θάσος κλπ.) που καλύπτουν ολικό βάθος γεωτρήσεων πάνω από 90 000 m. Σε μερικές περιπτώσεις το γεωτρύπανο ξεπέρασε σε βάθος τα 4 000 m. Είχαν προηγηθεί ευρείας εκτάσεως έρευνες βάσει προγράμματος που είχε καταρτισθεί από την ΔΕΠ και που καλύπτουν όλες τις μορφές και τα μέσα που σήμερα εφαρμόζονται για την ανακάλυψη πετρελαίου (παράγρ. 4.2).

Μερικές από τις έρευνες που έγιναν από τη ΔΕΠ μέχρι το 1979 φαίνονται στον πίνακα 3.3.1.

Στον πίνακα 3.3.2 αναγράφονται οι δοκιμαστικές γεωτρήσεις που έγιναν από τη ΔΕΠ στο διάστημα 1976-1981.

Σήμερα από την ΔΕΠ αξιοποιούνται μόνο τα κοιτάσματα της υποθαλάσσιας περιοχής του όρμου Καβάλας, γνωστά με το όνομα **Πρίνος**, των οποίων τα αποθέματα σε φυσικό πετρέλαιο έχουν εκτιμηθεί σε 40 000 000 τόνους. Από αυτά εκμεταλλεύσιμα είναι μόνο 10 000 000 τόνοι. Η παραγωγή πετρελαίου από το κοίτα-

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2**  
**Δοκιμαστικές γεωτρήσεις που έγιναν από τη ΔΕΠ μεταξύ 1976-1981**

Έτος	Περιοχή	Κοίτασμα	Βάθος (μέτρα)	Αποτελέσματα
Α) Υπόγειες γεωτρήσεις				
1976	Δέλτα Νέστου	Νέστος 1	3159	άγονη
1977	Δέλτα Νέστου	Νέστος 2	3970	ενδείξεις αερίων
1977	Κομοτηνή .	Κομοτηνή 1	1736	άγονη
1978	Δέλτα Νέστου	Νέστος 3	3851	ενδείξεις αερίων
1979	ΝΔ Πελοπόννησος	Λεοχώρι 1	1665	άγονη
1979	ΝΔ Πελοπόννησος	Μυρτιά 1	2469	ενδείξεις αερίων
1980	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 101	2520	ενδείξεις αερίων
1980	ΝΔ Πελοπόννησος	Περιστέρι 1	1520	άγονη
1980	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 102	3049	ενδείξεις αερίων
1980	Κατερίνη	Λουδίας 1	3087	άγονη
1980	Κατερίνη	Αλεξάνδρεια 1	1705	άγονη
1980	Στρυμώνας	Στρυμώνας 1	3650	άγονη
1981	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 104	2004	άγονη
1981	Στρυμώνας	Στρυμώνας 2	2678	ενδείξεις πετρελαίου
1981	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 103	2035	παρουσία μεθανίου
1982	Δέλτα Έβρου	Έβρος 2	3213	άγονη
Β) Υποθαλάσσιες γεωτρήσεις				
1978	Πάργα	Πάργα 1	3653	ενδείξεις αερίων
1979	Πατραϊκός	Πάτρα 1	1078	άγονη
1979	Πάργα	Πάργα 2	833	άγονη
1980	Πρέβεζα	Γιαννάδες 1	3951	άγονη
1981	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 1	3080	ενδείξεις αερίων
1981	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 1A	2118	φυσική βενζίνη
1981	ΝΔ Πελοπόννησος	Κατάκωλο 2	2962	ενδείξεις πετρελαίου

σμα Πρίνος άρχισε ήδη από το 1981, ύστερα από τις επιτυχείς δοκιμές καύσεως. Το κοίτασμα αυτό αποδίδει σήμερα 25000 βαρέλια ημερησίως, που καλύπτουν το  $\frac{1}{10}$  της συνολικής εγχώριας καταναλώσεως.

Εκτός από το κοίτασμα Πρίνος, στην ίδια θαλάσσια περιοχή γίνεται εκμετάλλευση και του κοιτάσματος Ν. Καβάλα, που περιέχει 800 εκατομμύρια  $m^3$  φυσικό αέριο, από τα οποία παράγονται σήμερα 150 000  $m^3$  ημερησίως. Το αέριο αφ' ενός μεν χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της εγκαταστάσεως, αφ' ετέρου δε με υποθαλάσσιο αγωγό διοχετεύεται στο εργοστάσιο λιπασμάτων που βρίσκεται στην Ν. Καρβάλη, λίγα χιλιόμετρα ανατολικά της Καβάλας.

Και τα δυο κοιτάσματα έχουν διάρκεια ζωής 15 περίπου χρόνια.

### 3.4 Ιδιότητες του φυσικού πετρελαίου.

Οι ιδιότητες του φυσικού πετρελαίου ποικίλλουν ανάλογα με την προέλευσή του. Άλλοτε εμφανίζεται λεπτόρρευστο, ανοικτόχρωμο και με ελαφρά οσμή και άλλοτε παχύρρευστο, κατάμαυρο και με δυσάρεστη οσμή. Τα πετρέλαια ορισμένων πετρελαιοπηγών είναι πλούσια σε παραφίνη, ενώ άλλα αφήνουν μετά την απόσταξη ασφαλτούχα κατάλοιπα. Άλλα και η αναλογία των διαφόρων κλασμάτων που προκύπτουν από τη διύλιση καθώς και η ποιότητά τους, ποικίλλουν σε ευρύτατα όρια. Το ποσοστό της παραγόμενης κατά την αρχική απόσταξη βενζίνης π.χ. μπορεί να κυμαίνεται από 5-30%, η δε ποιότητά της ως προς τον αριθμό οκτανίου από 40-90.

Ανάλογα λοιπόν με τη σύστασή τους τα φυσικά πετρέλαια μπορούν να καταταγούν σε τρεις κατηγορίες:

- α) Πετρέλαια παραφινικής βάσεως**, που είναι πλούσια σε παραφίνη.
- β) Πετρέλαια ασφαλτικής βάσεως** ή ναφθενικά που περιέχουν πολλά ασφαλτούχα συστατικά.
- γ) Πετρέλαια μικτής βάσεως**, που αποτελούν μιαν ενδιάμεση κατηγορία.

### 3.5 Σύσταση του πετρελαίου.

#### 3.5.1 Υδρογονάνθρακες.

Βασικά συστατικά του πετρελαίου και των προϊόντων του είναι οι υδρογονάνθρακες, δηλαδή χημικές ενώσεις που αποτελούνται αποκλειστικά από άνθρακα (C) και υδρογόνο (H). Τα μέρια των υδρογονανθράκων του πετρελαίου ποικίλλουν τόσο κατά τη δομή όσο και κατά το μέγεθος, και κυμαίνονται από τον απλούστερο υδρογονάνθρακα, που είναι το μεθάνιο  $CH_4$ , μέχρι πολύπλοκα μέρια με 40 ή και περισσότερα άτομα άνθρακα, που συναντώνται στα υπολείμματα της αποστάξεως (μαζούτ, ασφαλτος, κυλινδρέλαια κλπ.). Ο αριθμός των άτομων υδρογόνου είναι περίπου διπλάσιος από τα άτομα άνθρακα, η επειδή όμως το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρότερο από τον άνθρακα, η εκατοστιαία αναλογία των δυο αυτών βασικών συστατικών είναι περίπου 85% C και 15% H.

Με το μέγεθος του μορίου των υδρογονανθράκων συμβαδίζουν οι εξής κύριες ιδιότητες:

- α) Το σημείο ζέσεως, δηλαδή η θερμοκρασία αποστάξεως.
- β) Το ειδικό βάρος.

Στο σημείο ζέσεως βασίζεται ο διαχωρισμός των διαφόρων κλασμάτων του φυσικού πετρελαίου (βενζίνες—πετρέλαιο—μαζούτ), δηλαδή η τεχνολογία της αποστάξεως. Ο τμηματικός διαχωρισμός με βάση το σημείο ζέσεως ονομάζεται **κλασματική απόσταξη (ή διύλιση)**.

Την κατάταξη των υδρογονανθράκων με βάση τις παραπάνω ιδιότητες δίνει σε γενικές γραμμές ο πίνακας 3.5.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.1**  
*Προϊόντα κλασματικής αποστάξεως φυσικού πετρελαίου*

α/α	Προϊόν	Αριθμός ατόμων C	Σημείο αποστάξεως °C	Ειδικό βάρος	Παρατηρήσεις
1	Υγραέρια	1-4	Κάτω του 0°	—	Απόσταξη σε ατμοσφαιρική πίεση
2	Βενζίνες	4-10	50-200	0,70-0,75	
3	Φωτιστικό πετρ. (κεροζίνη)	10-14	150-280	0,80	
4	Πετρ. Diesel	12-18	240-360	0,80-0,86	
5	Υπόλειμμα αποστάξεως	15-45	άνω των 360°	0,9-1	Απόσταξη σε ατμοσφαιρική πίεση συνεπάγεται διάσπαση των υδρογονανθράκων (εξανθράκωση)
Από το υπόλειμμα αυτό:					Καύσιμο για εξωτερική καύση, και υπό ορισμένες προϋποθέσεις και για ΜΕΚ.
α) Μαζούτ		»	»	»	Με απόσταξη υπό κενό
β) Λιπαντέλαια		»	—	»	

Εκτός όμως από το μέγεθος του μορίου τους, οι υδρογονανθράκες που αποτελούν το πετρέλαιο διαφέρουν επίσης:

- α) Κατά τη δομή του μορίου τους**, δηλαδή κατά τον τρόπο που τα άτομα, που αποτελούν το μόριο του υδρογονανθρακα, συγκροτούν το μόριο.
- β) Κατά το βαθμό καρεσμού**, δηλαδή κατά τον αριθμό αλλά και κατά τη θέση των ατόμων άνθρακα που δεν είναι κορεσμένα, δηλαδή δεν έχουν διαθέσει και τις τέσσερις μονάδες συγγένειάς τους.

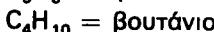
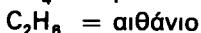
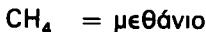
### 3.5.2 Κατάταξη των υδρογονανθράκων ως προς τη δομή του μορίου.

Τα σπουδαιότερα είδη υδρογονανθράκων που αποτελούν το πετρέλαιο ανήκουν σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες.

- α) Αλειφατικοί υδρογονανθράκες με ευθεία άλυσο.**

Λέγονται επίσης **παραφίνες ή αλκάνια ή υδρογονανθράκες της σειράς του μεθ-**

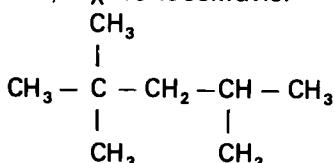
**νίου** και έχουν όλα τα άτομα άνθρακα στη σειρά. **Είναι κορεσμένοι** υδρογονάνθρακες, δηλαδή καθένα από τα άτομα άνθρακα του μορίου τους έχει διαθέσει και τις τέσσερις μονάδες συγγένειάς του, είτε για δεσμό με υδρογόνο είτε για δεσμό με άλλο γειτονικό άτομο άνθρακα. Η ονομασία τους βασίζεται στον αριθμό ατόμων άνθρακα που το μόριό τους περιέχει και στην κατάληξη -άνιο (πεντάνιο, οκτάνιο, εικοσάνιο κλπ.) εκτός από τους τέσσερις πρώτους υδρογονάνθρακες της σειράς που έχουν ιδιαίτερα ονόματα, πάντα όμως με την κατάληξη -άνιο.



Ανταποκρίνονται στο γενικό τύπο  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  και διακρίνονται για τη σταθερότητα τους υπό συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως.

### β) Αλειφατικοί υδρογονάνθρακες με διακλαδούμενη άλιστο.

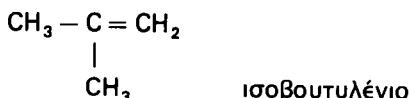
Λέγονται επίσης **ισοπαραφίνες** ή **ισοαλκάνια** και διακρίνονται από τις παραφίνες κατά το ότι τα άτομα άνθρακα που συγκροτούν το μόριό τους δεν βρίσκονται στη σειρά αλλά διακλαδίζονται, π.χ. το **ισοοκτάνιο**:



Έχει τα πέντε από τα οκτώ άτομα άνθρακα στη σειρά και τα υπόλοιπα τρία σε διακλάδωση. Οι υδρογονάνθρακες της κατηγορίας αυτής έχουν ιδιαίτερη σημασία σαν συστατικά της βενζίνης γιατί χαρακτηρίζονται από μεγάλη αντικροτική ικανότητα.

### γ) Ολεφίνες ή αλκένια ή υδρογονάνθρακες της σειράς του αιθυλενίου.

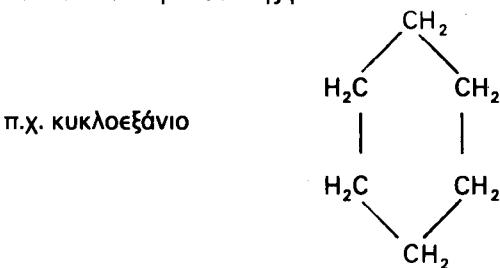
Οι υδρογονάνθρακες της κατηγορίας αυτής είναι **ακόρεστοι** με διπλούς δεσμούς, δηλαδή ένα ή περισσότερα από τα άτομα άνθρακα του μορίου τους ενώνονται μεταξύ τους με δύο μονάδες συγγένειας. Ονομάζονται, όπως και οι παραφίνες, με τον αριθμό ατόμων άνθρακα και την κατάληξη -ενιο, εκτός πάλι από τα τρία πρώτα μέλη της σειράς, που διατηρούν τα ίδια ονόματα, όπως και στις παραφίνες, με την κατάληξη -ένιο. (Το πρώτο μέλος, δηλαδή αντίστοιχο προς το μεθάνιο  $\text{CH}_4$ , όπως είναι φυσικό, δεν υπάρχει). Αν τα άτομα άνθρακα είναι σε διακλάδωση προτάσσεται και εδώ το -ισο- όπως και στις παραφίνες:



Οι ολεφίνες παρουσιάζουν αστάθεια που οφείλεται στην ύπαρξη του ευπαθούς διπλού δεσμού. Ολεφίνες δεν υπάρχουν στα φυσικά πετρέλαια αλλά δημιουργούνται στα διυλιστήρια με τις διυλιστηριακές διεργασίες.

### **δ) Ναφθένες ή ναφθένια ή κυκλοπαραφίνες.**

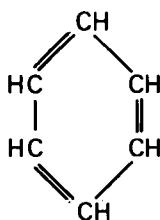
Είναι υδρογονάνθρακες των οποίων τα άτομα άνθρακα σχηματίζουν κλειστή άλυσο και ενώνονται μεταξύ τους με απλούς δεσμούς. Έχουν τον γενικό τύπο  $C_vH_{2v}$  και ονομάζονται από τον αριθμό ατόμων άνθρακα που περιέχουν και με το πρόθεμα **κυκλο-** και την κατάληξη **-ανιο.**



Διακρίνονται για την εξαιρετική χημική σταθερότητά τους.

### **ε) Αρωματικοί υδρογονάνθρακες.**

Πρόκειται για υδρογονάνθρακες που στο μόριό τους περιέχουν εξαμελή δακτύλιο ατόμων άνθρακα, όπου εναλλάσσονται στη σειρά απλοί και διπλοί δεσμοί. Τυπικός αντιπρόσωπος της σειράς αυτής είναι το **βενζόλιο** που έχει τον παρακάτω τύπο:

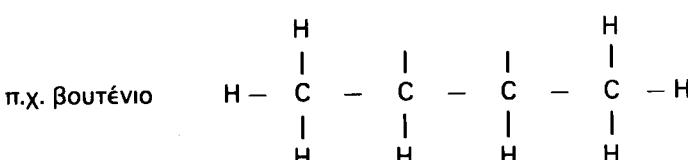


Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες έχουν επίσης εξαίρετη χημική σταθερότητα και σαν συστατικά της βενζίνης έχουν πολύ καλή αντικροτική ικανότητα, δηλαδή μεγάλο αριθμό οκτανίου.

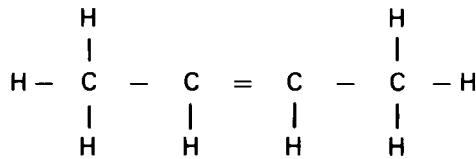
### **3.5.3 Κατάταξη των υδρογονανθράκων ως προς το βαθμό κορεσμού του μορίου.**

Συνηθέστερες περιπτώσεις ως προς αυτή την κατάταξη είναι:

**α) Υδρογονάνθρακες με διπλό δεσμό,** δηλαδή υδρογονάνθρακες, στους οποίους δύο γειτονικά άτομα άνθρακα έχουν από μία αδιάθετη μονάδα συγγένειας.



Οι δύο ελεύθερες μονάδες συγγένειας ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα **διπλό δεσμό**.



Οι υδρογονάνθρακες της κατηγορίας αυτής ονομάζονται **ολεφίνες** [παρ. 3.5.2(γ)]. Είναι δυνατό στο μόριο του ίδιου υδρογονάνθρακα να υπάρχουν δυο διπλοί δεσμοί (διολεφίνες) ή και περισσότεροι. Η θέση των διπλών δεσμών στο μόριο του υδρογονάνθρακα ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του μορίου του.

π.χ. έχομε **ένα** μόνο **προπένιο**:  $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_3$

**δυο βουτένια** a)  $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_3$

b)  $\text{CH}_3\text{CH} = \text{CHCH}_3$

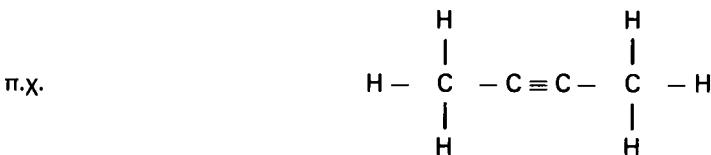
**τρία εξένια**: a)  $\text{CH}_3\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

b)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH}_3$

c)  $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

K.O.K.

**β) Υδρογονάνθρακες με τριπλό δεσμό**, δηλαδή υδρογονάνθρακες στους οποίους δυο γειτονικά άτομα άνθρακα έχουν από δυο αδιάθετες μονάδες συγγένειας, που όταν ενώνονται μεταξύ τους μαζί με τον αρχικό δεσμό σχηματίζουν ένα **τριπλό δεσμό**.



Οι υδρογονάνθρακες αυτοί έχουν την κατάληξη **-ίνιο** (ο παραπάνω λέγεται **βουτίνιο**) και καλούνται **ακόρεστοι υδρογονάνθρακες της σειράς του ακετυλένιου**, από το όνομα του πρώτου μέλους της σειράς αυτής που είναι το ακετυλένιο ( $\text{CH} \equiv \text{CH}$ ), η γνωστή **ασετυλίνη**.

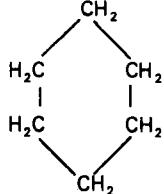
Όλοι οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες έχουν άμεση επίδραση στις ιδιότητες και φυσικά στην ποιότητα του προϊόντος, του οποίου αποτελούν συστατικά. Κυρίως παρουσιάζουν αστάθεια του μορίου τους (οξείδωση) και γι' αυτό είναι συνήθως ανεπιθύμητοι και απομακρύνονται κατά τα διάφορα στάδια εξευγενισμού. Ένας τρόπος για την αντιμετώπισή τους είναι η υδρογόνωση προς παραφίνες ή με αντιοξειδωτικά πρόσθετα. Υπενθυμίζεται και πάλι ότι σπανίως τα φυσικά πετρέλαια πε-

ριέχουν γενικά ολεφίνες, αλλά η παρουσία τους στα προϊόντα οφείλεται σε διυλιστηριακές διεργασίες (απόσταξη, πυρόλυση).

### 3.6 Ισομέρεια.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι σε ένα μοριακό τύπο, δηλαδή στον τύπο που δείχνει το σύνολο των ατόμων που αποτελούν το μόριο ενός υδρογονάνθρακα, αντιστοιχούν περισσότερα από ένα είδη, που διαφέρουν μεταξύ τους είτε ως προς τη δομή του μορίου, είτε ως προς τον αριθμό και τη θέση των πολλαπλών δεσμών που περιέχουν, π.χ. στο μοριακό τύπο  $C_6H_{12}$  αντιστοιχούν πάνω από 10 είδη υδρογονανθράκων μερικά από τα οποία περιέχει ο πίνακας 3.6.1.

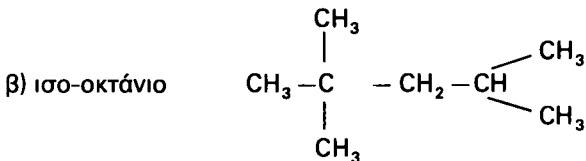
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6.1**  
**Ισομερείς υδρογονάνθρακες του τύπου  $C_6H_{12}$**

α/α	Συντακτικός τύπος	Ονομασία	Κατηγορία
1	$CH_3CH = CHCH_2CH_2CH_3$	Εξένιο-2,3	αλειφατικοί ακόρεστοι με ευθεία άλυσο
2	$CH_2 = CHCH_2CH_2CH_2CH_3$	Εξένιο-1,2	
3	$CH_3CH_2CH = CHCH_2CH_3$	Εξένιο-3,4	
4	$CH_3CH = C - CH_2CH_3$   CH <sub>3</sub>	3-μεθυλο-πεντένιο-2,3 (ισοεξένιο)	
5	$CH_2 = C - CH_2 - CH_2CH_3$   CH <sub>3</sub>	2-μεθυλο-πεντένιο-1,2 (ισοεξένιο)	αλειφατικοί ακόρεστοι με διακλαδούμενη άλυσο
6	$CH_2 = CH - CH - CH_2CH_3$   CH <sub>3</sub>	3-μεθυλο-πεντένιο-1,2 (ισοεξένιο)	
7	$CH_3 - C = CH - CH_2CH_3$   CH <sub>3</sub>	2-μεθυλο-πεντένιο-2,3 (ισοεξένιο)	
8			ναφθενικός

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ισομέρεια** και οι υδρογονάνθρακες με τον ίδιο μοριακό τύπο αλλά με διάφορη δομή ονομάζονται **ισομερείς**. Η ισομέρεια έχει σπουδαία σημασία για την τεχνολογία του πετρελαίου, γιατί μεταξύ δυο ισομερών

υδρογονανθράκων, που είναι συστατικά ενός προϊόντος του πετρελαίου, μπορεί να υπάρχουν σοβαρές διαφορές ιδιοτήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση των δύο ισομερών υδρογονανθράκων  $C_8H_{18}$ :

a) Κανονικό οκτάνιο  $CH_3 - CH - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$



που ως συστατικά της βενζίνης έχουν εντελώς αντίθετη συμπεριφορά ως προς την αντικροτική τους ικανότητα. Το ισοκτάνιο έχει άριστη αντικροτικότητα και βαθμολογείται με 100 στην κλίμακα του αριθμού οκτανίου, ενώ το κανονικό οκτάνιο έχει αρνητική τιμή, δηλαδή πάρα πολύ κακή αντικροτική ικανότητα. Στην αναμόρφωση της βενζίνης εξάλλου επιδιώκεται ο σχηματισμός των ισομερών με τις ευνοϊκότερες για το προϊόν ιδιότητες κυρίως αντικροτικότητας (όπως π.χ. οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες).

Πρέπει όμως να τονισθεί ότι οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες αυξάνουν μεν τον αριθμό οκτανίου της βενζίνης, έχουν όμως το μειονέκτημα να προκαλούν έντονη ρύπανση του περιβάλλοντος από τα προϊόντα της καύσεώς τους. Έτσι η βελτίωση των βενζινών ως προς την αντικροτικότητα επιδιώκεται και με άλλους τρόπους, όπως π.χ. με την προσθήκη χημικών ενώσεων που περιέχουν μόλυβδο, που είναι επίσης επιβλαβείς για την υγεία του ανθρώπου (παράγρ. 5.4.1).

Ο αριθμός των ισομερών είναι ανάλογος προς το μέγεθος του μορίου των υδρογονανθράκων, δηλαδή προς τον αριθμό ατόμων άνθρακα που περιέχει το μόριο του υδρογονάνθρακα.

Στον παρακάτω πίνακα παρέχεται μια εικόνα των ισομερών κορεσμένων υδρογονανθράκων της σειράς  $C_vH_{2v+2}$ , δηλαδή των παραφινικών:

Αριθμός ατόμων C	Ισομερή
6	5
7	9
8	18
9	35
12	355
15	4347
18	60523
25	36797588
40	62491178805831

### 3.7 Άλλα συστατικά των προϊόντων του πετρελαίου.

Εκτός από τους υδρογονάνθρακες, που αποτελούν ηθως το μεγαλύτερο μέ-

ρος των συστατικών του πετρελαίου, περιέχονται σε ποικίλη αναλογία σ' αυτό και τα εξής συστατικά:

### **3.7.1 Θείο.**

Η παρουσία του θείου στα καύσιμα είναι επιβλαβής και ως εκ τούτου ανεπιθύμητη, διότι κατά την καύση μετατρέπεται σε  $\text{SO}_2$  και τελικά σε θειικό οξύ, που μπορεί να προκαλέσει ισχυρές διαβρώσεις στα μεταλλικά μέρη της μηχανής με τα οποία έρχεται σε επαφή. Απομακρύνεται κατά τις διάφορες φάσεις επεξεργασίας, σε βαθμό που ποικίλλει ανάλογα με το τελικό προϊόν. Στο μαζούτ π.χ. η περιεκτικότητα του θείου μπορεί να φθάσει μέχρι 5%, ενώ στα άλλα καύσιμα τα επιτρεπόμενα όρια είναι πολύ χαμηλά (π.χ. για το πετρέλαιο diesel που προορίζεται ως καύσιμο αυτοκινήτων δεν επιτρέπεται περιεκτικότητα θείου μεγαλύτερη από 0,2%, και από 1-1-1996 για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσεως, έχει καθορισθεί ανώτατο όριο το 0,05%, για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος από τη ρύπανση). Εξίσου χαμηλά είναι τα όρια περιεκτικότητας θείου και στη βενζίνη. Για τις χώρες της Ε.Ε., άρα και για την Ελλάδα, τα όρια αυτά ήταν 0,10% και από 1-1-1995 0,05%.

### **3.7.2 Ανόργανα συστατικά.**

Είναι άλατα ή άλλες ενώσεις διαφόρων μετάλλων, όπως νατρίου - σιδήρου - βαναδίου κλπ. που περιέχονται στο πετρελαιοφόρο κοίτασμα και επιδρούν στην τέφρα των καυσίμων.

### **3.7.3 Οξυγόνο και άζωτο.**

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

### **3.7.4 Ειδικά πρόσθετα (additives).**

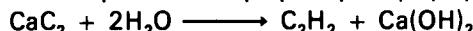
Αναμιγνύονται με τα διάφορα πετρελαιοειδή προϊόντα σε μικρή αναλογία κατά τις τελικές φάσεις επεξεργασίας, με σκοπό τη βελτίωση ορισμένων από τις ιδιότητές τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αντικροτικά πρόσθετα της βενζίνης, που είναι οργανομεταλλικές ενώσεις με βάση το μόλυβδο. Τα όρια περιεκτικότητας των βενζινών σε αντικροτικά μολυβδούχα ήταν αρχικά 4ml/U.S. Gal που αντιστοιχούν σε 1 g μολύβδου περίπου ανά λίτρο βενζίνης, ενώ σήμερα λόγω προστασίας του περιβάλλοντος περιορίζονται τα όρια σε 0,15 g Pb/λίτρο βενζίνης.

## **3.8 Προέλευση του πετρελαίου.**

Για την προέλευση του πετρελαίου έχουν διατυπωθεί αρκετές θεωρίες από τις οποίες σημαντικότερες είναι οι εξής:

### **α) Θεωρία της ανόργανης προελεύσεως.**

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή το πετρέλαιο σχηματίσθηκε στο εσωτερικό της γης από οργανομεταλλικές ενώσεις, δηλαδή ενώσεις μετάλλων με άνθρακα, με την επίδραση νερού κατά τρόπο ανάλογο με την παραγωγή ασετυλίνης:



Η θεωρία αυτή, που βρίσκει πλήρη εργαστηριακή επαλήθευση, υποστηρίχθηκε από τον Mendelejeff, τον πατέρα του περιοδικού συστήματος των στοιχείων. Σήμερα όμως δεν ευσταθεί.

### **β) Θεωρία της οργανικής προελεύσεως (ζωικής ή φυτικής).**

Κατά τη θεωρία αυτή ζωικά λείψανα από προγενέστερες γεωλογικές εποχές βρέθηκαν στο εσωτερικό της γης. Εκεί με την επίδραση υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών καθώς και διαφόρων μικροοργανισμών αποσυντέθηκαν και από τα προϊόντα αποσυνθέσεως προήλθε το πετρέλαιο. Τα φυτικά λείψανα δίνουν μεθάνιο και γαιάνθρακες. Και αυτή η θεωρία δεν ευσταθεί.

### **γ) Θεωρία του πλαγκτού.**

Είναι η επικρατέστερη θεωρία, σύμφωνα με την οποία η οργανική ύλη από θαλάσσιους, κυρίως, ζωικούς και φυτικούς μικροοργανισμούς, που ζουν και αναπτύσσονται στις θάλασσες και ονομάζονται **πλαγκτός**, μετά το θάνατό τους παρέμεινε πολλούς αιώνες αναμιγμένη με άλατα, άμμο και ιλύ στους πυθμένες αβαθών θαλασσών και λιμνών. Η μάζα που προήλθε από τη συνένωση όλων αυτών των υλικών ονομάσθηκε **σαπροπηλός**. Μετά την ξήρανσή τους οι θάλασσες και οι λίμνες σκεπάσθηκαν από ίζηματογενή πετρώματα ή από υπολείμματα άλλων ζωικών και φυτικών οργανισμών. Έτσι ο σαπροπηλός, με την πάροδο του χρόνου και υπό την επίδραση αναιερόβιων μικροοργανισμών, σε συνδυασμό με την καταλυτική επίδραση του περιβάλλοντος, έπαθε αποσύνθεση και από τα προϊόντα της σχηματίσθηκε το φυσικό πετρέλαιο. Τη θεωρία αυτή ενισχύει η ανεύρεση στο πετρέλαιο ορμονών, πρωτεΐνών, ιωδίου και άλλων συστατικών, των οποίων η παρουσία μόνο με την οργανική προέλευση του πετρελαίου μπορεί να εξηγηθεί. Τη θεωρία αυτή ενισχύει επίσης το γεγονός ότι το πετρέλαιο στρέφει το επίπεδο του πολωμένου φωτός, πράγμα που μόνο στις οργανικές ενώσεις παρουσιάζεται.

Το πετρέλαιο αφού σχηματίσθηκε παρέμεινε στην αρχή κατανεμημένο σε μικρές ποσότητες σε πολύ εκτεταμένες περιοχές. Ακολούθησαν οι γεωλογικές μεταβολές (καθιζήσεις, προσχώσεις κλπ.) που με τις πιέσεις του νερού και των αερίων προκάλεσαν τη μετακίνηση και τη συσσώρευσή του σε αδιαπέραστα στρώματα, όπου εγκλωβίσθηκε και παρέμεινε μέχρι την ανακάλυψή του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

#### 4.1 Γενικά.

Τα κυριότερα στάδια της παραγωγής και της επεξεργασίας του πετρελαίου είναι:

- α) Έρευνα για την ανακάλυψη κοιτασμάτων πετρελαίου.
- β) Παραγωγή (ανόρυξη).
- γ) Μεταφορά στα διυλιστήρια. Διαχωρισμός σε προϊόντα - Διύλιση.
- δ) Άλλες διεργασίες (μετά τη διύλιση).

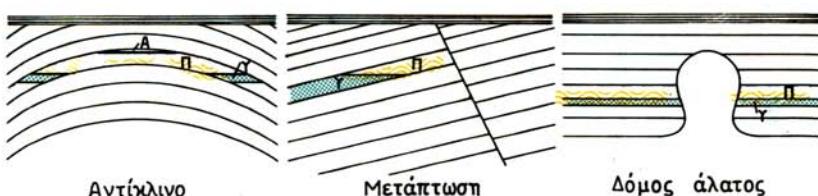
#### 4.2 Έρευνα για την ανακάλυψη κοιτασμάτων πετρελαίου.

Η έρευνα αυτή βασίζεται κυρίως:

- α) Στη μορφή του εδάφους.
- β) Σε γεωλογικές μεθόδους.

Ως προς τη μορφή του εδάφους (σχ. 4.2) έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένες μορφές εδάφους ευνοούν την ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου, όπως:

**α) Αντίκλινα.** Δηλαδή αμφικλινείς σχηματισμοί του εδάφους, με αργιλικό υπόστρωμα, πάνω στο οποίο διαμορφώνεται πορώδες πέτρωμα, που καλύπτεται με άλλο αδιαπέραστο αργιλικό πέτρωμα. Στο πορώδες πέτρωμα, που είναι διαπερατό, συγκεντρώνεται το πετρέλαιο Π, που συνήθως συνοδεύεται από υδάτινη στοιβάδα Υ στον πυθμένα, ενώ από πάνω υπάρχουν τα αέρια Α υπό πίεση. Το πετρελαιοφόρο πέτρωμα είναι αφ' ενός μεν πορώδες, ώστε στους πόρους του να εισχωρήσει το πετρέλαιο και αφ' ετέρου διαπερατό, δηλαδή οι πόροι του συγκοινωνούν μεταξύ τους, ώστε το πετρέλαιο να ρέει με ευκολία μέσα στο πέτρωμα.



Σχ. 4.2.

**β) Μεταπτώσεις** σχηματίζονται όταν η μια πλευρά του αντικλίνου υποστεί καθίζηση, οπότε το στρώμα του πετρελαίου Π παγιδεύεται υπό πίεση στο άλλο τμήμα του αντικλίνου.

**γ) Δόμοι άλατος.** Σχηματίζονται όταν κάτω από το πετρελαιοφόρο κοίτασμα υπάρχει στρώμα άλατος που ανυψώνεται προς τα πάνω από πλευρικές πιέσεις που δέχεται από γειτονικά στρώματα του υπεδάφους. Συχνά η ανύψωση φθάνει ως την επιφάνεια του εδάφους οπότε το κοίτασμα χωρίζεται σε δυο μέρη.

Οι σπουδαιότερες από τις **γεωλογικές μεθόδους** έρευνας είναι:

**α) Σεισμολογική μέθοδος:** Ισχυρές εκρήξεις προκαλούν τεχνητές δονήσεις των οποίων τα κύματα καταγράφονται με ειδικό σεισμογράφο. Η ταχύτητα με την οποία τα κύματα αυτά διαδίδονται και αντανακλώνται, εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους. Όπου υπάρχει αλλαγή εδαφικής συστάσεως, που θα μπορούσε να οφείλεται σε ένα πετρελαιοφόρο κοίτασμα, θα παρατηρείται απότομη αλλαγή της ταχύτητας.

**β) Βαρομετρική μέθοδος:** δηλαδή μέτρηση της εντάσεως της βαρύτητας, που επηρεάζεται αισθητά από τη σύσταση του εδάφους. Ένα κοίτασμα πετρελαίου προκαλεί αισιοδημάτως ελάττωση της τιμής του g.

**γ) Μαγνητική μέθοδος:** Η ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου μεταβάλλεται αισθητά, όταν μετρείται σε έδαφος, κάτω από το οποίο υπάρχει πετρελαιοφόρο κοίτασμα.

**δ) Ραδιενέργη μέθοδος:** Βασίζεται στη μέτρηση της ακτινοβολίας γ διαφόρων στρωμάτων, που προέρχεται από την απορρόφηση βραδέων νετρονίων από άτομα υδρογόνου. Το υδρογόνο αυτό όμως μπορεί να ανήκει σε μόρια υδρογονανθράκων, αλλά και σε μόρια νερού ( $H_2O$ ).

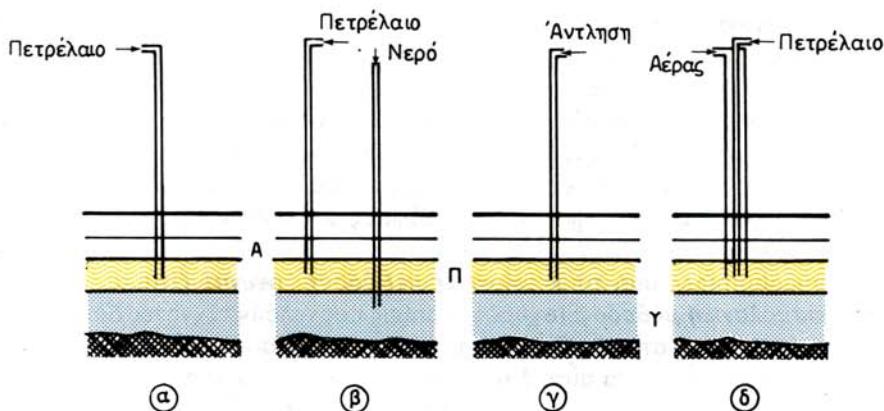
Πρέπει να τονισθεί ότι όλες οι μέθοδοι για τον εντοπισμό κοιτασμάτων πετρελαίου **μόνο ενδείξεις** για την παρουσία τους παρέχουν. Οι ενδείξεις αυτές μόνο με δοκιμαστική γεώτρηση και στη συνέχεια με άντληση μπορούν να επιβεβαιωθούν.

#### 4.3 Παραγωγή (ανόρυξη).

Με τον όρο **παραγωγή** εδώ εννοείται η μεταφορά του πετρελαίου από τα έγκατα της γης στην επιφάνεια για την οποία, απαιτείται διάτρηση των πετρωμάτων που καλύπτουν το πετρελαιοφόρο κοίτασμα με ειδικά γεωτρύπανα. Η γεώτρηση προχωρεί σε τόσο βάθος, ώστε να συναντήσει το στρώμα πετρελαίου, πράγμα που επιβεβαιώνεται με μια σειρά από δοκιμαστικές αντλήσεις.

Με τη γεώτρηση σχηματίζεται μια οπή με διάμετρο 40-45 cm, τα τοιχώματα της οποίας επενδύονται με χαλύβδινους σωλήνες, ώστε να προστατεύεται από την είσοδο σ' αυτή νερού ή χωμάτων. Έτσι σχηματίζονται τα λεγόμενα **φρέατα** που αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα της περιοχής στην οποία γίνεται η εκμετάλλευση του πετρελαιοφόρου κοιτάσματος.

Κατά τη διάρκεια της γεωτρήσεως το γεωτρύπανο λιπαίνεται και ψύχεται με μίγμα νερού και χώματος που σχηματίζει ιλύ (λάσπη) και που συγχρόνως εμποδίζει την απότομη έξοδο αερίων, νερού ή πετρελαίου, αλλά και μεταφέρει τα θραύσματα των βράχων της γεωτρήσεως, από τον πυθμένα του φρέατος στην επιφάνεια της γης.



**Σχ. 4.3.**  
Μέθοδοι παραγωγής πετρελαίου.

Η άνοδος του πετρελαίου στην επιφάνεια γίνεται με έναν από τους παρακάτω τρόπους (σχήμα 4.3.):

- Με φυσικό τρόπο, δηλαδή μόνο με την πίεση των υπερκειμένων στρωμάτων αερίων. Στην αρχή του λάχιστον η πίεση αυτή είναι αρκετή ώστε να ανεβάζει το πετρέλαιο ως την επιφάνεια υπό μορφή πίδακα.
- Με έγχυση νερού υπό πίεση.
- Με άντληση, με ειδικές αντλητικές μηχανές.
- Εμφυσώντας  $\text{CO}_2$  ή αέριους υδρογονάνθρακες υπό πίεση από άλλο πηγάδι.
- Με άλλες μεθόδους.

#### 4.4 Επεξεργασία του πετρελαίου.

Μετά την παραγωγή του το πετρέλαιο υποβάλλεται σε μια σειρά από επεξεργασίες με τις οποίες απαλλάσσεται από ανεπιθύμητα συστατικά ή αποκτά επιθυμητές ιδιότητες.

Οι επεξεργασίες αυτές κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Προκαταρκτικές διεργασίες.
- Απόσταξη.
- Τελικές διεργασίες μετά την απόσταξη.

Το σύνολο αυτών των επεξεργασιών αποτελούν τη **διύλιση** του πετρελαίου, της οποίας το μεγαλύτερο μέρος γίνεται σε ειδικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα γνωστά μας **διυλιστήρια**.

#### Προκαταρκτικές επεξεργασίες.

Με τις διεργασίες αυτές που γίνονται πριν από την απόσταξη, το φυσικό πετρέλαιο απαλλάσσεται από ανεπιθύμητα συστατικά που παρασύρονται κατά την ανόρυξη. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν:

- Φυσικό καθαρισμό: δηλαδή απομάκρυνση των γαιωδών προσμίξεων (χώμα-

τα, άμμος, λάσπη) που επιτυγχάνεται με φυγοκεντρική ροή σε κυλινδρικά τύμπανα και με καθίζηση στις δεξαμενές αποθηκεύσεως.

**β) Απαερίωση:** δηλαδή αποχωρισμό από τα αέρια συστατικά που περιέχει το πετρέλαιο και που επιβάλλεται γιατί τα αέρια:

- Είναι καύσιμη ύλη, άριστης ποιότητας.
- Είναι ανεπιθύμητα όταν παραμένουν μέσα στο πετρέλαιο.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βενζίνης (παράγρ. 4.6.).

**γ) Αφυδάτωση:** δηλαδή αφαίρεση όσο το δυνατό μεγαλύτερου μέρους του νερού που έχει αντληθεί μαζί με το πετρέλαιο. Για την αφυδάτωση εφαρμόζονται οι εξής μέθοδοι:

- Καθίζηση (settling), που βασίζεται στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ πετρελαίου και νερού.
- Απομάκρυνση με ειδικούς τρόπους.

Η απομάκρυνση του νερού δυσχεραίνεται, όταν το νερό σχηματίζει με το πετρέλαιο γαλάκτωμα, που πρέπει να διασπασθεί πριν επιχειρηθεί αφυδάτωση. Η διάσπαση του γαλακτώματος μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

- **Με χημική κατεργασία:** Στο πετρέλαιο προστίθενται ορισμένες ουσίες που προκαλούν τη συνένωση των σταγονιδίων νερού, που είναι διεσπαρμένα μέσα στο πετρέλαιο. Τα σταγονίδια αυτά μετά τη συνένωσή τους κατακαθίζουν στον πυθμένα των δεξαμενών, απ' όπου εύκολα απομακρύνονται με εξυδάτωση. Ουσίες του τύπου αυτού κυκλοφορούν με διάφορα εμπορικά ονόματα, όπως π.χ. το αμερικανικό σκεύασμα Trent-o-Lite.
- **Με ηλεκτρική κατεργασία:** Το πετρέλαιο διέρχεται από ηλεκτρικό διαχωριστή με ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, πάνω από 15000 V, που προκαλεί τη συνένωση των σταγονοδίων νερού, που έτσι διαχωρίζεται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στο ηλεκτρικό φορτίο που τα σταγονίδια νερού αποκτούν κατά την τριβή με το πετρέλαιο. Το φορτίο αυτό είναι συνήθως αρνητικό και γι' αυτό τα σταγονίδια του νερού, οδεύουν προς το θετικό πόλο του ηλεκτρικού πεδίου όπου συνενώνονται και καθιζάνουν.

#### 4.5 Διύλιση.

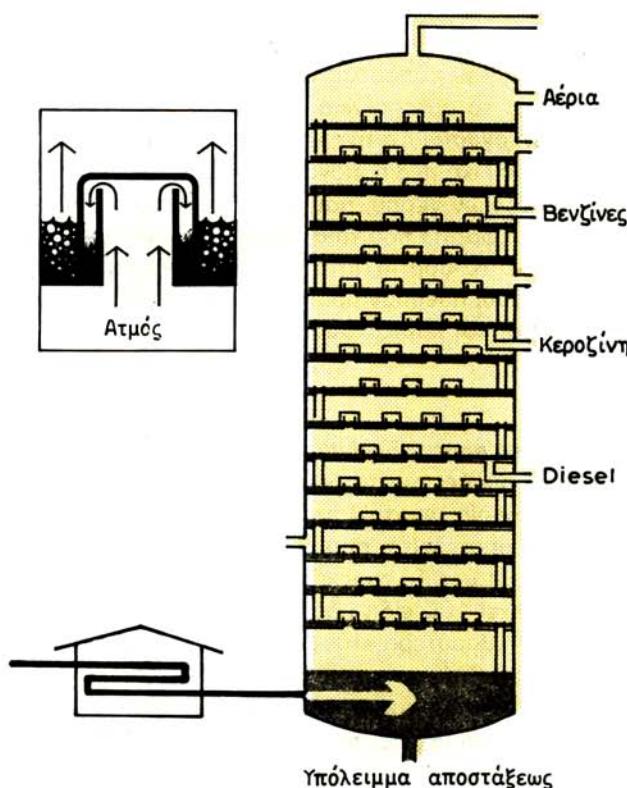
Η διύλιση ή κλασματική απόσταξη είναι η διεργασία με την οποία το φυσικό πετρέλαιο διαχωρίζεται σε ομάδες συστατικών που καλούνται **κλάσματα**, ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία αποστάζουν.

Το φυσικό πετρέλαιο αποτελείται από χιλιάδες συστατικά, κυρίως υδρογονάνθρακες, που ο διαχωρισμός μεταξύ τους είναι αδύνατος και άσκοπος. Υπολογίζεται ότι μόνο η βενζίνη περιέχει 100 είδη υδρογονανθράκων και βεβαίως πολύ περισσότερα είδη περιέχουν τα βαρύτερα κλάσματα. Η απόσταξη λοιπόν αποβλέπει στο διαχωρισμό των υδρογονανθράκων σε ομάδες. Κάθε ομάδα περιέχει υδρογονάνθρακες που αποστάζουν σε ορισμένα όρια θερμοκρασίας και στο σύνολό τους αποτελούν ορισμένο είδος καυσίμου, του οποίου οι ιδιότητες επιτρέπουν και συγκεκριμένη εφαρμογή. Έτσι μετά τα αέρια συστατικά, που αποτελούνται από υδρογονάνθρακες με 1 ως 4 άτομα άνθρακα, αποστάζουν υδρογονάνθρακες που έχουν σημείο βρασμού μεταξύ 50°C και 180°C και αποτελούν τις νάφθες από τις οποίες παράγονται οι βενζίνες. Ακολουθούν υδρογονάνθρακες που αποτελούν το φωτι-

στικό πετρέλαιο ( $150\text{--}240^{\circ}\text{C}$ ), το πετρέλαιο Diesel ( $200\text{--}360^{\circ}\text{C}$ ) και τέλος αυτό που δεν έχει αποσταχθεί μέχρι τους  $360^{\circ}\text{C}$ , υπό ατμοσφαιρική πίεση αποτελεί το **υπόλειμμα αποστάξεως ή μαζούτ**. Αυτό χρησιμοποιείται είτε ως πετρέλαιο λεβήτων, δηλαδή για εξωτερική καύση, είτε ως πετρέλαιο Diesel των ναυτικών μηχανών, είτε ως πρώτη ύλη για ορυκτέλαια, με περαιτέρω απόσταξη «εν κενώ». Στο υπόλειμμα της αποστάξεως «εν κενώ» βρίσκονται άσφαλτος ή κυλινδρέλαια, που αποτελούν πρόσθετα προϊόντα της βιομηχανίας των διυλιστηρίων με εξαιρετική εμπορική σπουδαιότητα.

Η απόσταξη γίνεται σε κατακόρυφη στήλη που ονομάζεται **πύργος αποστάξεως** και συνήθως λόγω του ύψους της ξεχωρίζει στις εγκαταστάσεις των διυλιστηρίων (σχ. 4.5).

Τα στοιχεία αποστάξεως βρίσκονται μέσα στον πύργο σε επάλληλους οριζόντιους δίσκους. Το αργό πετρέλαιο (φυσικό πετρέλαιο) προθερμαίνεται στους εναλλάκτες θερμότητας και μπαίνει στο σωληνωτό θερμαντήρα της καμίνου που θερμαίνεται στους  $380^{\circ}\text{C}$  περίπου. Το νέφος των ατμών και των σταγονιδίων εισέρχεται λίγο πιο κάτω από το μέσο της στήλης και οι ατμοί καθώς ανέρχονται προς το πάνω μέρος της στήλης ψύχονται και μέρος από αυτούς υγροποιείται και συγκεν-

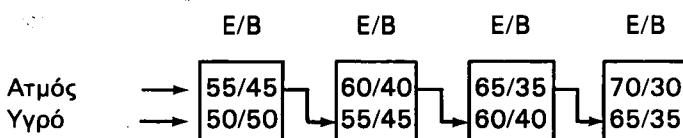


Σχ. 4.5.

τρώνεται στους οριζόντιους δίσκους. Το υγρό που υπερεκχυλίζει πέφτει στον παρακάτω δίσκο, που είναι θερμότερος και το υγρό ατμοποιείται ξανά. Έτσι οι ατμοί, καθώς ανέρχονται, εμπλουτίζονται συνεχώς με πτητικότερα συστατικά, ενώ τα λιγότερο πτητικά, που αντιστοιχούν σε βαρύτερα κλάσματα, συμπυκνώνονται στους κατώτερους δίσκους. Μ' αυτό τον τρόπο τα συμπυκνώματα που περιέχει κάθε δίσκος διατηρούν ορισμένη θερμοκρασία και αν η θερμοκρασία βρασμού των υδρογοναθράκων, που διέρχονται από αυτά, είναι υψηλότερη, τότε συμπυκνώνονται και παγιδεύονται. Οι υδρογονάθρακες όμως που έχουν θερμοκρασία βρασμού χαμηλότερη από αυτή που επικρατεί στη συγκεκριμένη περιοχή δίσκων, ανέρχονται πιο ψηλά, ώσπου να συμπυκνωθούν. Η αρχή αυτή, στην οποία βασίζεται η διύλιση, μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή αν ληφθεί υπόψη ότι τα υγρά με το χαμηλότερο σημείο βρασμού, δηλαδή τα πτητικότερα, ατμοποιούνται ευκολότερα. Επομένως οι ατμοί ενός μίγματος υγρών με διαφορετικά σημεία βρασμού, όπως είναι το πετρέλαιο, είναι εμπλουτισμένοι με τα πτητικότερα συστατικά, σε σύγκριση με το αρχικό μίγμα. Έτσι και το συμπύκνωμα που θα προκύψει θα έχει μεγαλύτερη αναλογία από το πτητικότερο συστατικό, που θα είναι και το ελαφρότερο.

Αν π.χ. με Ε συμβολίσομε τα ελαφρότερα (πτητικότερα) και με Β τα βαρύτερα (λιγότερο πτητικά) συστατικά ενός μίγματος υδρογοναθράκων Ε/Β σε αναλογία 50/50, το μίγμα αυτό κατά το βρασμό θα δώσει αέρια φάση με αναλογία έστω 55/45, δηλαδή πλουσιότερο σε πτητικά συστατικά, αφού αυτά εξατμίζονται, ευκολότερα από τα βαρύτερα, που είναι λιγότερο πτητικά συστατικά. Αν ο ατμός αυτός στον αρέσωντα επόμενο δίσκο συναντήσει υγρό της αναλογίας περίπου 55/45, τότε το μεν βαρύ συστατικό συμπυκνώνεται, ενώ η λανθάνουσα θερμότητα, που προκύπτει από τη συμπύκνωση, προκαλεί περαιτέρω εξάτμιση του πτητικού συστατικού, οπότε η νέα αναλογία τείνει προς το 60/40 κ.ο.κ.

Την παραπάνω αρχή, που αποτελεί τη βάση της κλασματικής αποστάξεως (συνεχούς), παριστάνει το παρακάτω διάγραμμα.



#### 4.6 Προϊόντα του φυσικού πετρελαίου.

Τα σπουδαιότερα προϊόντα που προκύπτουν από το διαχωρισμό του φυσικού πετρελαίου αναγράφονται στον πίνακα 4.6.1. Είναι φανερό ότι η κατάταξη γίνεται με βάση τη θερμοκρασία αποστάξεως που συμβαδίζει με το μέγεθος του μορίου των υδρογοναθράκων, δηλαδή με τον αριθμό ατόμων άνθρακα και με το ειδικό βάρος.

Συνοπτικά για τα προϊόντα αυτά μπορούμε να πούμε τα εξής:

##### 4.6.1 Αέρια.

Είναι τα πρώτα κλάσματα και αποτελούνται κυρίως από υδρογονάθρακες με 1-4

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.1**  
**Τα σπουδαιότερα προϊόντα διυλίσεως του φυσικού πετρελαίου**

a/a	Προϊόν	Ενδεικτικός αριθμός ατόμων άνθρακα	Θερμοκρασία αποστάξεως (°C)	Ειδικό βάρος	Παρατηρήσεις
1 α	Αέρια	1-2			
1 β	Υγραέρια	3-4			
2	Βενζίνες	4-10	Κάτω από 0°C 50-180	0,6-0,7*	
3	Κεροζίνη (φωτιστικό πετρέλαιο)	10-16	150-240	0,70-0,75 0,80	
4	Γκαζοϊλ ή Diesel	12-20	200-360	0,80-0,86	
5	Υπόλειμμα αποστάξεως (μαζούτ)	πάνω από 20	πάνω από 360	0,90-1,00	
6	Λιπαντέλαια	πάνω από 20	πάνω από 360	0,90-0,98	
7	Άσφαλτος	πάνω από 20	πάνω από 360	1,0-1,20	
					} Απόσταξη σε ατμοσφαιρική πίεση
					} με περαιτέρω απόσταξη του μαζούτ εν κενώ

\* Σε υγρή κατάσταση

άτομα άνθρακα. Οι δυο πρώτοι υδρογονάθρακες με 1 ή 2 άτομα άνθρακα είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το αιθάνιο ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) που χρησιμοποιούνται συνήθως ως καύσιμα του διυλιστηρίου. Οι υδρογονάθρακες με 3 ή 4 άτομα άνθρακα (προπάνιο, βουτάνιο) αποτελούν τα **υγραέρια**, που οφείλουν την ονομασίας τους στο ότι είναι μεν υπό συνήθη πίεση και θερμοκρασία αέρια, υγροποιούνται όμως πολύ εύκολα με μικρή πίεση και έτσι φέρονται στο εμπόριο υγροποιημένα σε χαλύβδινες φιάλες. Έχουν μεγάλη κατανάλωση για οικιακούς, εργαστηριακούς ή και βιομηχανικούς σκοπούς. Τελευταία χρησιμοποιούνται και ως καύσιμα βενζινομηχανών αυτοκινήτων.

#### 4.6.2 Βενζίνες.

Τα πρώτα υγρά αποστάγματα του πετρελαίου άρα και τα πιπτικότερα και ελαφρότερα κλάσματά του αποτελούν προϊόν γνωστό ως **νάφθα**. Αποτελείται από υδρογονάνθρακες και 4-10 άτομα άνθρακα και από αυτήν παράγονται οι βενζίνες.

Είναι το κύριο καύσιμο των βενζινομηχανών δηλαδή των μηχανών που είναι γνωστές και ως **μηχανές εκρήξεως** λόγω της πολύ μεγάλης ταχύτητας με την οποία γίνεται η καύση, που έχει τη μορφή εκρήξεως. Με βενζινομηχανές κινούνται τα περισσότερα επιβατικά αυτοκίνητα, ελάχιστα αεροπλάνα, μικρά σκάφη (άκατοι) ή λειτουργούν βιομηχανικοί κινητήρες μικρής ισχύος.

#### 4.6.3 Φωτιστικό πετρέλαιο ή Κεροζίνη.

Από την ανακάλυψη του πετρελαίου (1859) ως το τέλος του περασμένου αιώνα (1900) το φωτιστικό πετρέλαιο ήταν το πολυτιμότερο προϊόν της διυλίσεως που το χρησιμοποιούσαν κυρίως για φωτισμό και θέρμανση. Ο εξηλεκτρισμός του 20ου αιώνα εκμηδένισε την αξία του σε βαθμό που να αποτελεί προϊόν ανεπιθύ-

μητο μέχρι το 1940. Στο διάστημα αυτό, κυρίως μεταξύ 1930-1940, χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βενζίνης με πυρόλιυση. Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο επανήλθε στο προσκήνιο με ειδικές προδιαγραφές ως το κατ' εξοχήν καύσιμο των αεροστροβίλων (αεριωθούμενα αερoplάνα).

#### **4.6.4 Πετρέλαιο Diesel (Gasoil).**

Πάρα πολύ γνωστό με τη διεθνή του ονομασία dieseloil ή gasoil, είναι το κατ' εξοχήν καύσιμο των ΜΕΚ και ειδικότερα των ταχύστροφων πετρελαιομηχανών, ενώ στις βραδύστροφες μηχανές, που χρησιμοποιούν τα πλοία του Εμπορικού Ναυτικού για την πρόωσή τους, έχει αντικατασταθεί από το μαζούτ. Το Γκαζόιλ είναι το τελευταίο κλάσμα - απόσταγμα της ατμοσφαιρικής αποστάξεως του πετρελαίου και έχει τελικό σημείο ζέσεως περίπου 360°C. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή επέρχεται θερμική διάσπαση των υδρογοναθράκων που οδηγεί στην πυρόλιυσή τους. Παραπέρα απόσταξη συνεπώς, μόνο με ελαττωμένη πίεση (κενό) μπορεί να συνεχισθεί.

#### **4.6.5 Μαζούτ.**

Αποτελεί το **υπόλειμμα της αποστάξεως** δηλαδή το μέρος εκείνο του φυσικού πετρελαίου, που δεν έχει αποσταχθεί ως τους 360°C. Περιέχει τους βαρύτερους υδρογονάνθρακες με άτομα άνθρακα περισσότερα από 20 και γι' αυτό έχει και το σχετικά μεγαλύτερο ειδικό βάρος (0,90-1,00). Περιέχει ακόμα πολλές από τις προσμίξεις του φυσικού πετρελαίου γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε μηχανές εξωτερικής καύσεως (ατμομηχανές). Σήμερα όμως, λόγω του χαμηλού κόστους του, είναι το κατ' εξοχήν καύσιμο των πετρελαιομηχανών του Εμπορικού Ναυτικού (ντηζελομηχανών).

Με παραπέρα απόσταξη «εν κενώ», δηλαδή με πολύ χαμηλή πίεση, το μαζούτ διαχωρίζεται σε:

- α)** **Απόσταγμα**, που αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή των λιπαντελαίων και
- β)** **Υπόλειμμα**, που μπορεί να αποτελείται από:
  - **κυλινδρέλαια**, αν το αρχικό φυσικό πετρέλαιο έχει παραφινική βάση ή
  - **άσφαλτο**, αν το αρχικό φυσικό πετρέλαιο έχει ασφαλτική βάση.

Υποπροϊόντα της αποστάξεως είναι η παραφίνη και η βαζελίνη, χρησιμοποιούνται σε σημαντικές εφαρμογές, όπως η μεν παραφίνη π.χ. για βερνίκια στιλβώσεως και η βαζελίνη ως φαρμακευτικό έκδοχο.

#### **4.7 Διεργασίες μετά το διαχωρισμό.**

Τα προϊόντα αποστάξεως του φυσικού πετρελαίου υποβάλλονται σε διάφορες διεργασίες που αποσκοπούν στη βελτίωση των ιδιοτήτων τους και τη μετατροπή τους σε άλλα προϊόντα ανάλογα με τις ανάγκες ή τη ζήτηση που παρουσιάζουν. Σπουδαιότερες από τις διεργασίες αυτές είναι:

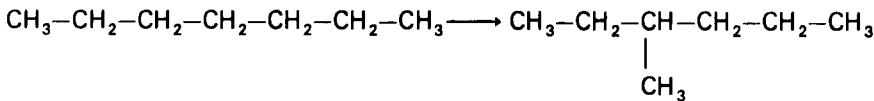
##### **4.7.1 Αναμόρφωση της νάφθας (refining).**

Είναι θερμική κατεργασία χημικής μετατροπής, με την οποία επέρχεται μοριακή

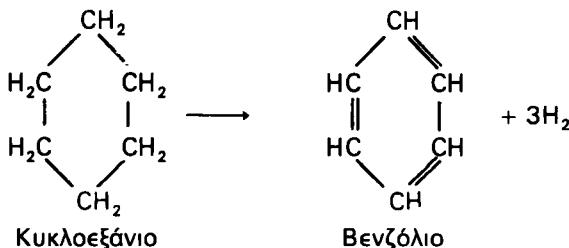
ανακατάταξη των υδρογονανθράκων που μεταβάλλει τη δομή τους, ώστε να προκύψουν υδρογονάνθρακες με καλύτερες ιδιότητες και κυρίως με μεγαλύτερο αριθμό οκτανίου, δηλαδή καλύτερη ποιότητα καύσεως (παράγρ. 5.4).

Η αναμόρφωση επιτυγχάνεται κυρίως με θέρμανση της βενζίνης σε 500°C-600°C υπό πίεση 15-20 ατμοσφαιρών. Συχνά χρησιμοποιούνται καταλύτες, δηλαδή ουσίες με βάση λευκόχρυσο σε αργιλοπυριτικό φορέα πόύ επιταχύνουν την αντίδραση αναμορφώσεως ή τη στρέφουν προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

Τυπικό παράδειγμα αντιδράσεως αναμορφώσεως αποτελεί η μετατροπή του κ-επτανίου (αριθμός οκτανίου 0) στο ισομερές ισο-εξάνιο.



Άλλο παράδειγμα αναμορφωτικής αντιδράσεως αποτελεί η μετατροπή κυκλοπαραφινών σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, που συνοδεύεται με παραγωγή υδρογόνου (αφυδρογόνωση) και οδηγεί επίσης στη βελτίωση της οκτανικής απόδοσεως.



Το παραγόμενο υδρογόνο χρησιμεύει για την υδρογόνωση, δηλαδή τη μετατροπή ακόρεστων υδρογονανθράκων σε κορεσμένους, καθώς και στην **αποθείωση** των προϊόντων διυλίσεως, δηλαδή στην απομάκρυνση του θείου.

Προϊόντα αναμορφώσεως είναι:

- Βενζίνη με μεγαλύτερο αριθμό οκτανίου.
- Αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή συνθετικής βενζίνης.

#### 4.7.2 Εξευγενισμός.

Την κατεργασία αυτή υφίστανται μερικά προϊόντα του φυσικού πετρελαίου και αποβλέπει στην απομάκρυνση συστατικών, των οποίων η παρουσία είναι επιβλαβής, όπως π.χ. κερί, κομμιώδη συστατικά (ρητίνες), θειούχες ενώσεις κλπ.

Κυριότερες μέθοδοι εξευγενισμού είναι:

##### a) Κατεργασία με διάλυση PbO σε NaOH.

Είναι γνωστή στην τεχνολογία των πετρελαιοειδών ως Doctor Process και συνίσταται στην επεξεργασία της βενζίνης με μολυβδώδες νάτριο ( $\text{NaPbO}_2$ ). Αυτό παρασκευάζεται με διάλυση οξειδίου του μολύβδου ( $\text{PbO}$ ) σε καυστική σόδα ( $\text{NaOH}$ ) και έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των δύσοσμων θειούχων ενώσεων σε μη

δύσοσμες ενώσεις. Η διεργασία αυτή λέγεται **γλύκανση** (sweetening).

### **β) Εξευγενισμός με απορροφητικές γαίες.**

Με τη μέθοδο αυτή εκμεταλλεύμαστε την ιδιότητα που έχουν ορισμένες απορροφητικές γαίες να συγκρατούν εκλεκτικά με προσρόφηση ορισμένα ανεπιθύμητα συστατικά των προϊόντων αποστάξεως του πετρελαίου.

### **γ) Εξευγενισμός με διαλύτες.**

Ορισμένες οργανικές ύλες διαλύουν εκλεκτικά μερικά συστατικά των πετρελαιοειδών, που διαχωρίζονται έτσι από τα υπόλοιπα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται πολύ κατά τον εξευγενισμό των ορυκτέλαιών με φουρφουράλη. Η φουρφουράλη είναι διαλύτης που παράγεται από τα πίτυρα και έχει την ιδιότητα να απομακρύνει από τα ορυκτέλαια ανεπιθύμητα συστατικά αρωματικής δομής.

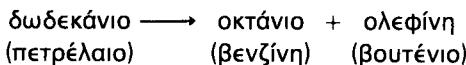
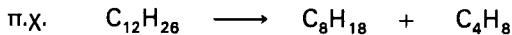
#### **4.7.3 Πυρόλυση (cracking).**

**Πυρόλυση** ή **πυροδιάσπαση** είναι η θερμική κατεργασία με την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση των μεγάλων ή μέτριων μορίων των υδρογονανθράκων προς υδρογονάνθρακες με μικρότερο μοριακό βάρος. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε π.χ. να μετατρέψουμε φωτιστικό πετρέλαιο ή πετρέλαιο Diesel σε βενζίνη.

Για την πυρόλυση εφαρμόζονται δύο κυρίως μέθοδοι:

**α) Θερμική πυρόλυση:** Για τη μέθοδο αυτή ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κυρίως πετρέλαιο Diesel ή μαζούτ, που μετατρέπεται σε βενζίνη με απόδοση 20-50%. Το υπόλοιπο είναι αέρια και κλάσματα από βαρύτερα καύσιμα, μεταξύ των οπίων και το κωκ. Η πυρόλυση συνήθως γίνεται σε αέρια φάση, με θερμοκρασία 500°C και με πίεση 15-20 ατμόσφαιρες. Η επαφή των ατμών των υδρογονανθράκων με τα θερμά μεταλλικά τοιχώματα του θαλάμου αντιδράσεως προκαλεί διάσπαση του μορίου τους με την οποία το πετρέλαιο μεταβάλλεται σε βενζίνη.

**β) Καταλυτική πυρόλυση.** Διαφέρει από τη θερμική πυρόλυση κατά το ότι στο θάλαμο αντιδράσεως τοποθετούνται καταλύτες, δηλαδή ουσίες με βάση αργιλοπυριτικές ενώσεις. Οι ουσίες αυτές διευκολύνουν την αντίδραση της πυροδιασπάσεως, αλλά και την κατεύθυνσην προς την επιθυμητή πορεία, χωρίς να συμμετέχουν σ' αυτήν. Έτσι η αντίδραση της πυροδιασπάσεως γίνεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και με καλύτερη απόδοση.



Από την πυροδιάσπαση προκύπτουν τα εξής προϊόντα:

**α) Βενζίνη**, που συνήθως αποτελεί το κύριο προϊόν της πυρολύσεως. Η απόδοση κυμαίνεται ανάλογα με την πρώτη ύλη και τις συνθήκες υπό τις οποίες γίνεται η πυρόλυση.

**β) Αέρια** (υδρογόνο, ελαφροί υδρογονάνθρακες).

**γ) Υπόλειμμα**, που αποτελείται από βαρείς υδρογονάνθρακες και χρησιμοποιεί-

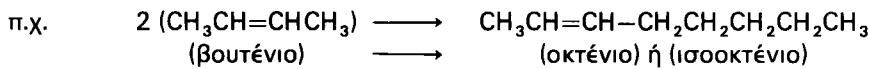
ται ως καύσιμο λεβήτων. Επειδή είναι πλούσιο σε ανθρακούχες ύλες είναι ακατάλληλο για πετρελαιομηχανές Diesel. Συνήθως αναμιγνύεται με ελαφρότερα προϊόντα (π.χ. Diesel), ώστε να αποκτήσῃ επιθυμητές ιδιότητες.

#### 4.7.4 Κατεργασία των αερίων.

Τόσο τα φυσικά αέρια όσο και τα αέρια που προκύπτουν από την απόσταξη ή πυρόλυση, υποβάλλονται κατ' αρχήν σε κλασματική απόσταξη με την οποία διαχωρίζονται:

- a)** Στο λεγόμενο **ξηρό αέριο**, δηλαδή μίγμα υδρογονανθράκων με ένα ή δυο άτομα άνθρακα (μεθάνιο, αιθάνιο, αιθυλένιο) που αποτελεί καύσιμο του διυλιστηρίου ή καύσιμο βιομηχανικής ή οικιακής εφαρμογής με ευρεία κατανάλωση στις ΗΠΑ.
- β)** Στα **υγραέρια** που αποτελούνται από **προπάνιο** ( $C_3H_8$ ) και **βουτάνιο** ( $C_4H_{10}$ ). Φέρονται στο εμπόριο σε χαλύβδινες φιάλες, σε υγρή κατάσταση με μικρή πίεση και χρησιμοποιούνται:
  - ως καύσιμο οικιακής χρήσεως.
  - ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία των **πετροχημικών**.
  - για την παραγωγή συνθετικής βενζίνης.

Η **σύνθεση βενζίνης** με πρώτες ύλες υγραέρια αποτελεί χημική αντίδραση ακριβώς αντίθετη από την πυροδιάσπαση: από ελαφρότερα συστατικά (υγραέρια) λαμβάνονται βαρύτερα (βενζίνη).

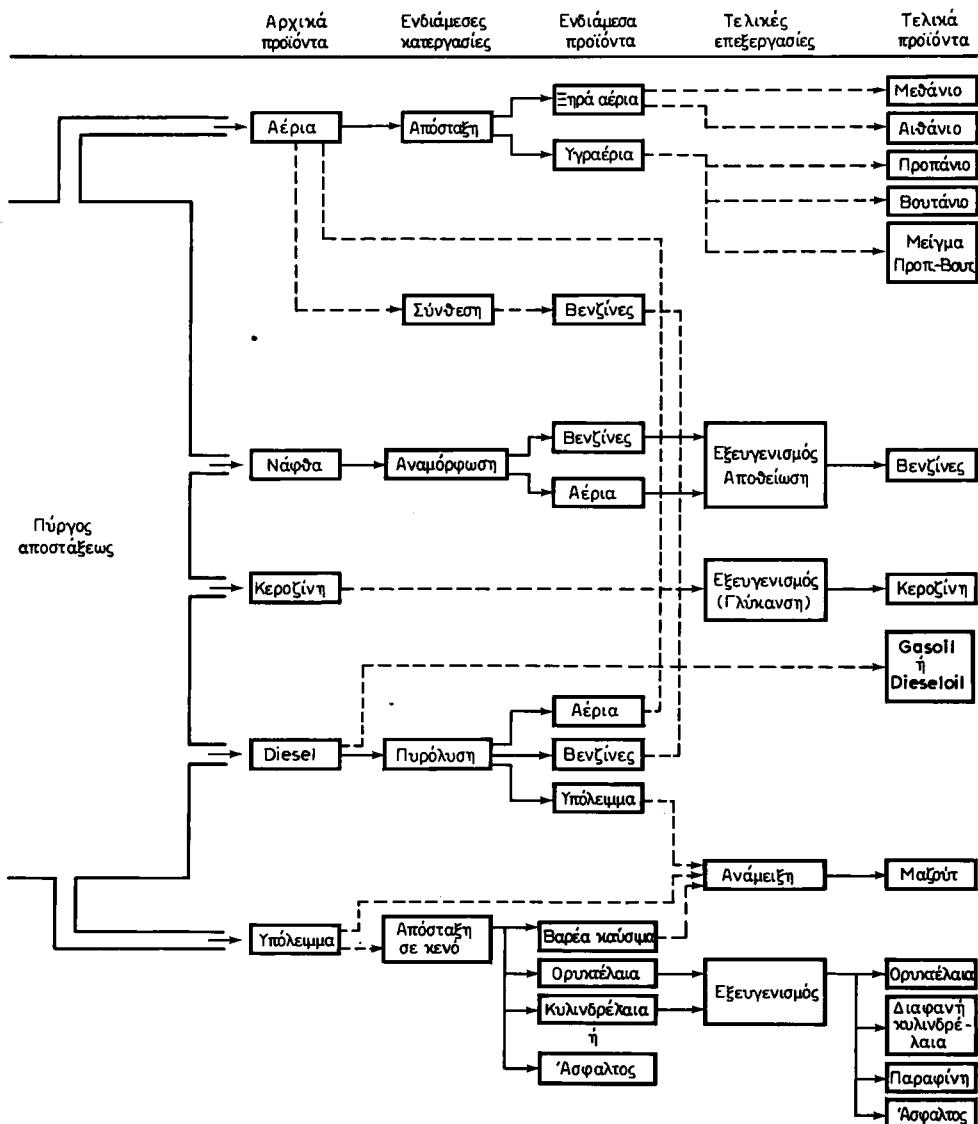


Η πράξη αυτή του πολλαπλασιασμού των μορίων ονομάζεται **πολυμερισμός** και επιτυγχάνεται με δυο κυρίως τρόπους:

- a) Καταλυτικός πολυμερισμός με θειικό οξύ:** Το προς πολυμερισμό αέριο (βουτένιο) διαβιβάζεται στον αντίδραστήρα με τον καταλύτη. Έτσι προκύπτουν ακόρεστοι υδρογονάθρακες με 8 ή και 12 άτομα άνθρακα, που ύστερα από υδρογόνωση δίνουν κυρίως οκτάνιο με πρόσμιξη δωδεκανίου που είναι συστατικά της βενζίνης.
- β) Η καταλυτική αλκυλώση,** όπου ισοβουτάνιο και βουτυλένιο δίνουν απευθείας ισοοκτάνιο, που είναι πολύ επιθυμητό συστατικό των βενζίνων. Ο τρόπος αυτός είναι καλύτερος από τον προηγούμενο.

Στον πίνακα 4.7.1 φαίνονται ενδεικτικά οι κυριότερες φάσεις επεξεργασίας του φυσικού πετρελαίου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7.1**  
**Οι κυριότερες φάσεις επεξεργασίας του φυσικού πετρελαίου (ενδεικτικά)**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### BENZINH

#### 5.1 Γενικά.

Η βενζίνη παράγεται από ελαφρότερα υγρά κλάσματα του φυσικού πετρελαίου που αποτελούν τη **νάφθα**, δηλαδή το πρώτο προϊόν της αποστάξεως μετά τα συγραέρια. Χάρη στη μεγάλη πτητικότητά της, στην ευκολία δηλαδή με την οποία εξατμίζεται, η βενζίνη είναι το μόνο καύσιμο που εξαερώνεται, πριν εισαχθεί στη μηχανή. Αυτό εξασφαλίζει πλήρη ανάμιξη με τον αέρα και συνεπώς καλύτερες συνθήκες καύσεως. Έχει όμως το μειονέκτημα να παρουσιάζει ευαισθησία ως προς την αντικρουστικότητα, που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να καταστρέψει τον κινητήρα. Αυτό αντιμετωπίζεται με την κατάλληλη **ποιότητα** της βενζίνης.

Η βενζίνη, μέχρι πριν λίγα χρόνια, ήταν το σπουδαιότερο καύσιμο, μια και οι βενζινομηχανές αποτελούσαν σχεδόν τη μοναδική προωστήρια μηχανή για τα αυτοκίνητα και τα αεροπλάνα, δηλαδή τα κύρια μεταφορικά μέσα επιβατών. Ήδη για μεν τα αεροπλάνα η βενζίνη έχει σχεδόν τελείως εκτοπισθεί από την κεροζίνη, που είναι το κύριο καύσιμο των αεροπορικών αεριοστροβίλων, στα δε αυτοκίνητα εκτοπίζεται συνεχώς από το πετρέλαιο *diesel*. Παρόλα αυτά παραμένει ένα από τα σημαντικότερα είδη καυσίμων, η δε ετήσια κατανάλωσή της στην Ελλάδα υπερβαίνει το ένα εκατομμύριο τόνους.

Για ναυτικές μηχανές η βενζίνη έχει πολύ περιορισμένη σημασία, αφού χρησιμοποιείται μόνο για την πρόωρη μικρού εκτοπίσματος σκαφών (βενζινάκατοι). Αυτό το κεφάλαιο περιορίζεται στην εξέταση των σπουδαιότερων ιδιοτήτων της βενζίνης.

#### 5.2 Ιδιότητες – Προδιαγραφές.

Οι ιδιότητες της βενζίνης εξαρτώνται από την ποιότητά της, που καθορίζεται με τις προδιαγραφές, δηλαδή με το σύνολο τιμών και απαιτήσεων για τις ιδιότητες που ενδιαφέρουν το κάθε προϊόν. Με τις προδιαγραφές για κάθε κατηγορία βενζίνης καθορίζεται η ποιότητα εκείνη, που θα εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία και την καλή απόδοση της μηχανής για την οποία προορίζεται.

Οι προδιαγραφές δεν έχουν στατικό χαρακτήρα. Τροποποιούνται, προσαρμόζονται ή επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- α) Εξέλιξη των βενζινομηχανών.
- β) Διαθεσιμότητα της βενζίνης.
- γ) Κόστος.
- δ) Προστασία περιβάλλοντος.
- ε) Συναλλαγματικοί λόγοι.

Ο πίνακας 5.2.1 περιέχει τις προδιαγραφές της βενζίνης που ισχύουν στη χώρα μας και στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένώσεως.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1**  
**Προδιαγραφές βενζινών**

Κύρια χαρακτηριστικά	Βενζίνη απλή Αμόλυβδη	Βενζίνη Super Μολυβδωμένη
1. Αριθμός οκτανίων (RON)	95 ελαχ.	96-98
2. Περιεκτικότητα σε μόλυβδο (gPb/λίτρο)	0,013 μεγ.	0,15 μεγ.
3. Βενζόλιο %, κατ' όγκον	5 μεγ.	5 μεγ.
4. Πυκνότητα (σε 15°C) kg/m <sup>3</sup>	725-780	720-770
5. Θείον % (m/m)	0,10 μεγ.*	0,10 μεγ.
6. Κομμιώδες υπόλειμμα (Gum) mg/100 ml	5 μεγ.	4 μεγ.
7. Διάβρωση χάλκινου ελάσματος (3h σε 50°C)	1 μεγ.	1 μεγ.
8. Απόσταξη		
– Απόσταγμα σε 70°C, %	15-45	10 ελαχ.
– Απόσταγμα σε 100°C, %	40 - 65	30-65
– Απόσταγμα σε 180°C, %	85 ελαχ.	85 ελαχ.
– Τέλος αποστάξεως, °C	215 μεγ.	215 μεγ.
– Υπόλειμμα αποστάξεως, %	2 μεγ.	2 μεγ.
9. Τάση ατμών σε 100°F (RVP), kPa		
– Θερινή περίοδος (1/4 ως 31/10)	35 - 70	62 μεγ.
– Χειμερινή περίοδος (1/11 ως 31/3)	45-80	80 μεγ.

\* Από 1-1-1995: 0,05% μεγ.

Από τις ιδιότητες που καθορίζουν οι παραπάνω προδιαγραφές μεγαλύτερη σπουδαιότητα έχουν:

- Η πτητικότητα της βενζίνης.
- Η ποιότητα καύσεως που εκφράζεται με την αντικροτικότητα.
- Ο βαθμός καθαρότητας.

### 5.3 Πτητικότητα.

Είναι η ιδιότητα που εκφράζει το πόσο εύκολα ή δύσκολα εξατμίζεται ορισμένη ποσότητα βενζίνης κάτω από ορισμένες συνθήκες. Έχει ιδιαίτερη σημασία για τη βενζίνη, γιατί είναι το μόνο καύσιμο που εισέρχεται στη μηχανή αφού προηγουμένως **εξαεριωθεί** και αναμιχθεί με τον αέρα σε ειδικό εξάρτημα της μηχανής που λέγεται **εξαεριωτήρας** (καρμπιρατέρ). 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-αέρα στην κατάλληλη αναλογία και πάντοτε μέσα στα όρια αναφλεξιμότητας, που για τη βενζίνη είναι 1-7% κατ' όγκο.

Θεωρητικά η αναλογία του μίγματος αέρα-καυσίμου είναι 14,7:1 κατά βάρος,

που αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα βενζίνης στο μίγμα 1,72% κατά όγκο. Η αναλογία αυτή ονομάζεται **στοιχειομετρική αναλογία** ή **στοιχειομετρική δύναμη μίγματος** γιατί προκύπτει από τις εξισώσεις καύσεως των στοιχείων που αποτελούν τη βενζίνη. Στις διάφορες φάσεις λειτουργίας των βενζινομηχανών εντούτοις, η αναλογία αυτή είναι άλλοτε μεγαλύτερη (πλούσιο μίγμα για το ξεκίνημα), κι άλλοτε μικρότερη (πτωχό μίγμα για οικονομική οδήγηση), δημοσίευση ο πίνακας 5.3.1.

Στην αναλογία 12:1, που είναι 20% περίπου πλούσιότερη από τη στοιχειομετρική, έχουμε τη μεγαλύτερη ισχύ της μηχανής, που χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση ή κατά την απογείωση των αεροπλάνων, ενώ στην αναλογία 17:1, που είναι 20% περίπου πτωχότερη από τα στοιχειομετρική, έχουμε τη μικρότερη κατανάλωση, δηλαδή την οικονομικότερη λειτουργία της μηχανής.

### **ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.1** **Μίγματα αέρα-καυσίμου στις βενζινομηχανές**

Φάση λειτουργίας	Αναλογία αέρα-καυσίμου (AFR) κατά βάρος	% κατ' όγκο περιεκτικότητα σε καύσιμο	Χαρακτηρισμός μίγματος
1. Εκκίνηση	1:1 ως 7:1	5% ως 2,6%	πολύ πλούσιο
2. Επιτάχυνση	12:1	2%	πλούσιο
3. Κανονική ταχύτητα (οικονομική)	14:1 ως 17:1	1,7% ως 1,5%	κανονικό ως πτωχό (στοιχ. αναλογία 1,72%)
4. Υψηλή ταχύτητα	12:1 ως 14:1	1,7% ως 2%	πλούσιο μίγμα

Η πηγητικότητα της βενζίνης ελέγχεται με δυο δοκιμές:

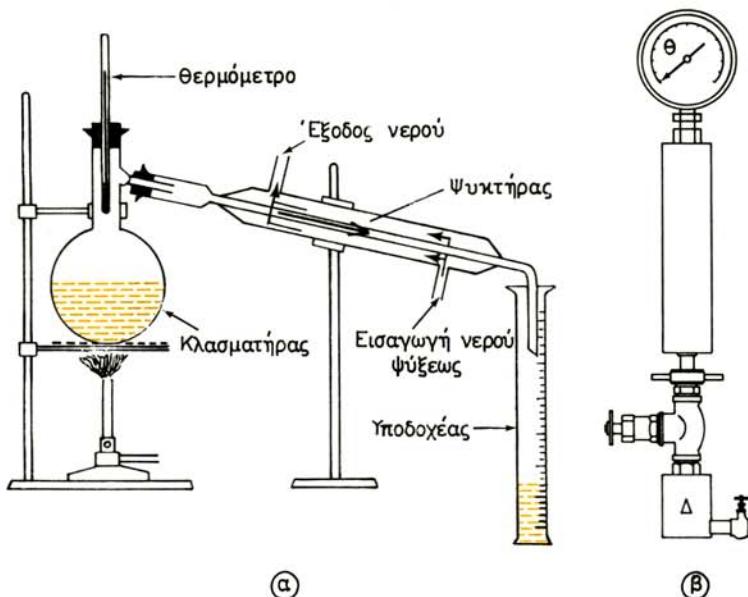
#### **α) Με την καμπύλη αποστάξεως.**

Σ' ένα κλασματήρα αποστάζεται ορισμένη ποσότητα βενζίνης υπό συνθήκες που έχουν καθοριστεί με απόλυτη ακρίβεια. Η βενζίνη μετά την εξάτμισή της συμπικνώνεται σε υδρόψυκτο σωλήνα και συλλέγεται σε βαθμολογημένο ογκομετρικό κύλινδρο. Καταγράφονται οι θερμοκρασίες στις οποίες συλλέγονται ορισμένα ποσοστά του αρχικού δείγματος (10%, 50%, 90%) και με τα στοιχεία αυτά ή καταρτίζεται ένας πίνακας θερμοκρασιών-κλασμάτων ή χαράσσεται καμπύλη (γραφική παράσταση) που αποτελεί την **καμπύλη αποστάξεως**. Τις τιμές αποστάξεως παρέχει ο πίνακας προδιαγραφών της βενζίνης (πίνακας 5.2.1), ενώ η συσκευή (σχ. 5.3) περιγράφεται λεπτομερέστερα στο κεφάλαιο 15.

#### **β) Με την τάση ατμών (μέθοδος Reid).**

Σε κλειστό μεταλλικό δοχείο θερμαίνεται σε 100°F ορισμένη ποσότητα βενζίνης και καταγράφεται η πίεση που αναπτύσσεται από τους παραγόμενους ατμούς της βενζίνης. Η πίεση αυτή συνήθως κυμαίνεται από 35 ως 80 kPa. Τα ακριβή όρια τιμών καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές (πίνακας 5.2.1).

Τα όρια τιμών πηγητικότητας της βενζίνης, τα οποία καθορίζουν οι σχετικές προδιαγραφές, πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα, αλλοιώς είναι δυνατόν να προκληθούν διάφορες ανωμαλίες στη μηχανή.

**Σχ. 5.3.**

Συσκευές ελέγχου ππητικότητας.

α) Συσκευή αποστάξεως. β) Συσκευή μετρήσεως τάσεως ατμών (Reid).

### 5.3.1 Χαμηλή ππητικότητα.

Προδίδεται από:

- Τάση ατμών κατά Reid (RVP) μικρότερη από τα ελάχιστα όρια που η αντίστοιχη προδιαγραφή καθορίζει.
- Θερμοκρασία αποστάξεως πάνω από τα ανώτατα όρια τιμών που αντιστοιχούν σε κάθε κλάσμα. Οι συνέπειες για τη λειτουργία της μηχανής από τη χαμηλή ππητικότητα της βενζίνης είναι:
  - Δυσχέρεια στην εκκίνηση.
  - Κακή προθέρμανση.
  - Μειωμένη επιτάχυνση.
  - Κακή διανομή του καυσίμου στους κυλίνδρους.
  - Ρύπανση του λαδιού με καύσιμο.

### 5.3.2 Υψηλή ππητικότητα.

Προδίδεται από:

- Τάση ατμών κατά Reid (RVP) μεγαλύτερη από τα ανώτατα όρια, που η αντίστοιχη προδιαγραφή καθορίζει.
- Θερμοκρασία αποστάξεως κάτω από τα ελάχιστα όρια τιμών που αντιστοιχούν σε κάθε κλάσμα.

Και η υψηλή ππητικότητα της βενζίνης είναι ανεπιθύμητη, γιατί έχει δυσάρεστες συνέπειες για τη λειτουργία της μηχανής, από τις οποίες σημαντικότερες είναι:

- Μεγάλες απώλειες λόγω εξαερώσεως.
- Κίνδυνος ατμοφράξεως (vapor lock).

Με τον όρο **ατμόδραζη** νοούνται δυο φαινόμενα που αν και είναι διάφορα μεταξύ τους, στην πράξη είναι γνωστά με το κοινό όνομα **μπούκωμα**. Τα φαινόμενα αυτά είναι:

- a) Η καθαυτό **ατμόδραζη** οφείλεται στη μεγάλη ποσότητα ατμών βενζίνης που συγκεντρώνεται στο δίκτυο του καυσίμου, κυρίως μεταξύ αποθήκης βενζίνης και αντλίας, τους οποίους η αντλία δεν μπορεί να μεταφέρει προς τον εξαεριωτήρα και συνεπώς η μηχανή θα σβύσει από κακή τροφοδότηση καυσίμου. Το φαινόμενο είναι ανάλογο προς το **ξέπασμα** των υδραντλιών.
- b) Συνηθέστερο φαινόμενο είναι η δυσκολία ή αδυναμία εκκινήσεως της μηχανής ύστερα από μακρά και μάλιστα εντατική λειτουργία, που προκαλεί υψηλές θερμοκρασίες. Οι θερμοκρασίες αυτές αυξάνουν ακόμη περισσότερο την έκλιση ατμών βενζίνης, οπότε παράγεται τόσο πλούσιο μίγμα, ώστε η ανάφλεξή του να είναι αδύνατη.

#### 5.4 Ποιότητα καύσεως – Αριθμός οκτανίου.

Η ποιότητα καύσεως της βενζίνης καθορίζεται από την **αντικροτική της ικανότητα**, δηλαδή την αντοχή της βενζίνης σε συμπίεση. Είναι γνωστό ότι η θερμική απόδοση των βενζινομηχανών εξαρτάται από το βαθμό συμπιέσεως, όπως προκύπτει από τη γνωστή από τη θερμοδυναμική σχέση:

$$\eta_{\text{θ}} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

όπου:  $\eta_{\text{θ}}$  ο θεωρητικός ιδανικός θερμικός βαθμός αποδόσεως

$r$  ο βαθμός συμπιέσεως ( $r = v_1/v_2$ )

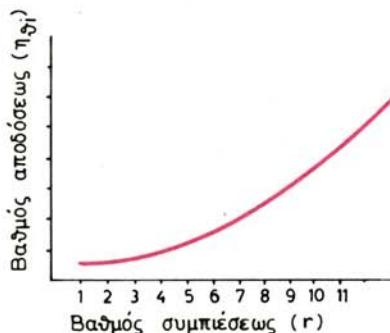
$\gamma$  ο λόγος  $C_p/C_V$  (θεωρητική τιμή για τον αέρα 1,4)

Ο πίνακας 5.4.1 δίνει τις τιμές του βαθμού αποδόσεως για τις διάφορες τιμές του βαθμού συμπιέσεως  $r$ .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.1**  
**Σχέση συμπιέσεως και αποδόσεως για βενζινομηχανές**

Βαθμός συμπιέσεως, $r = v_1/v_2$	Θεωρητικός ιδανικός βαθμός αποδόσεως ( $\eta_{\text{θ}}$ )
6	0,51
7	0,54
8	0,56
10	0,60
12	0,63
14	0,65
18	0,68

Τα συμπεράσματα αυτά μεταφερόμενα σε μια γραφική παράσταση δίνουν το διάγραμμα του σχήματος 5.4, από το οποίο φαίνεται ότι η βελτίωση του βαθμού αποδόσεως είναι σημαντική μέχρι την τιμή 8:1, ενώ πέρα από αυτή το κέρδος σε απόδοση είναι μικρότερο. Παρόλα αυτά ο ανταγωνισμός των αυτοκινητοβιομηχα-



Σχ. 5.4.

νιών ανάγκασε τους κατασκευαστές μηχανών αυτοκινήτων να αυξήσουν το βαθμό συμπιέσεως και πέρα από την τιμή 10:1 οπότε άρχισε να εμφανίζεται το φαινόμενο του **κτυπήματος** (knocking effect). Το μήγα βενζίνης-άερα στις πιέσεις που αναπτύσσονται με τόσο υψηλή συμπιέση και στις θερμοκρασίες που τις ακολουθούν δεν αντέχει και υφίσταται **προανάφλεξη** ή **εκρηκτική καύση** με πολύ δυσάρεστες για τη μηχανή συνέπειες.

Τη σχέση μεταξύ βαθμού συμπιέσεως, πιέσεως στο τέλος της συμπιέσεως και θερμοκρασίας στο τέλος της συμπιέσεως δείχνει ο πίνακας 5.4.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.2**  
**Σχέσεις βαθμού συμπιέσεως, τελικής πιέσεως και θερμοκρασίας**

Βαθμός συμπιέσεως (r)	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)
	Στο τέλος της συμπιέσεως	
6	10	380
7	13	425
8	16	460
9	20	490
10	22	520
11	25	540
12	28	560
13	30	575
14	32	600

Στις συνθήκες λοιπόν πιέσεως και θερμοκρασίας που αναπτύσσονται στο τέλος της συμπιέσεως είναι δυνατόν να συμβούν:

**α) Προανάφλεξη**, δηλαδή έκρηξη του μίγματος πριν από το σπινθηρισμό (φαινόμενο **προσπινθηρικό**), δηλαδή πριν από το Α.Ν.Σ., πράγμα που με τη σημερινή

ποιότητα των βενζινών είναι φαινόμενο μάλλον ασυνήθιστο και μόνο σε πολύ κακούς ντηρημένες βενζινομηχανές μπορεί να εμφανισθεί.

**β) Εκρηκτική καύση,** δηλαδή τοπικές εκρήξεις μετά το σπινθηρισμό (φαινόμενο μετασπινθηρικό). Προέρχονται από τοπικές εστίες που δημιουργούνται σε διάφορα σημεία του άκαυστου μίγματος βενζίνης-αέρα. Τις εστίες αυτές δημιουργούν εναποθέσεις διαφόρων καταλοίπων στο εσωτερικό των κυλίνδρων, που μπορεί να πυρακτώνονται από τις ψηλές θερμοκρασίες, υποκαθιστώντας έτσι το σπινθηριστή (bougie) χωρίς να είναι δυνατός ο έλεγχός τους.

Είναι φανέρο λοιπόν ότι το φαινόμενο του κτυπήματος θα είναι τόσο εντονότερο, όσο ο βαθμός συμπιέσεως της μηχανής είναι μεγαλύτερος.

Συνέπειες του **κτυπήματος** είναι:

- Απώλεια ισχύος από τα ωστικά κύματα που δημιουργούνται στο χώρο και που ενεργούν συχνά αντίθετα προς την εκτονωτική δράση του κύριου ωστικού κύματος που ενεργεί πάνω στο έμβολο.
- Καταπόνιση της μηχανής, που σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να φθάσει ως την πλήρη κατάρρευσή της.

Το **κτύπημα** στις βενζινομηχανές αντιμετωπίζεται εξασφαλίζοντας βενζίνη με κατάλληλη αντικροτική ικανότητα που μετράται με την **κλίμακα αριθμού οκτανίου**. Συγκρίνεται δηλαδή η συμπεριφρά της βενζίνης ως προς την αντοχή της σε συμπίεση υπό ορισμένες συνθήκες, με την αντίστοιχη συμπεριφορά δυο προτύπων καυσίμων, ή συνήθως, μίγματός τους, δηλαδή:

- Του κανονικού επτανίου (κ-επτάνιο):



- Του ισοοκτανίου  $\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3$



Στην κλίμακα αυτή το κ-επτάνιο βαθμολογείται με μηδέν, λόγω της κακής του αντικροτικότητας, ενώ το ισοοκτάνιο βαθμολογείται με 100, γιατί η αντοχή του σε συμπίεση είναι εξαιρετική. Η σύγκριση της βενζίνης με τα παραπάνω πρότυπα καύσιμα γίνεται σε μία πρότυπη μονοκύλινδρη βενζινομηχανή (CFR) που λειτουργεί με εντελώς καθορισμένες συνθήκες ως προς:

- Τη θερμοκρασία του νερού ψύξεως ( $100^{\circ}\text{C}$ ).
- Τη θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα.
- Τη προπορεία (avance)  $13^{\circ}$  κλπ.

και έχει εντελώς καθορισμένες διαστάσεις και ταχύτητα περιστροφής (600 rpm) ενώ ο βαθμός συμπιέσεως μπορεί να μεταβάλλεται, ώσπου να επιτευχθεί έντονο κτύπημα, του οποίου την παρουσία δείχνει ειδική μαγνητοσυστατική μηχανή (knockmeter).

Στην παραπάνω πρότυπη μονοκύλινδρη μηχανή χρησιμοποιείται ως καύσιμο η βενζίνη που πρόκειται να μετρηθεί και καταγράφεται η ένδειξη του κτυπήματος. Κατόπιν η μηχανή τροφοδοτείται διαδοχικά με μίγματα ισοοκτανίου/κ-επτανίου σε

γνωστές αναλογίες, ώσπου να βρεθεί η αναλογία εκείνη, με την οποία η μηχανή δίνει το κτύπημα που δίνει και με την εξεταζόμενη βενζίνη.

Όστε **αριθμός οκτανίου** βενζίνης είναι η κατά δύκο εκατοστιαία αναλογία ισο-οκτανίου σε μίγμα με κ-επτάνιο που δείχνει την ίδια αντικροτικότητα με την υπό εξέταση βενζίνη σε ορισμένες συνθήκες δοκιμής. Η σύγκριση γίνεται σε πρότυπη μονοκύλινδρη βενζινομηχανή που ο βαθμός συμπιέσεως της μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη λειτουργία της. Π.χ. αριθμός οκτανίου 90 (ON = 90) σημαίνει ότι η βενζίνη αυτή έχει την ίδια αντικροτικότητα δηλαδή την ίδια αντοχή σε συμπιέση, με εκείνο που θα είχε μίγμα αποτελούμενο κατά δύκο από 90% ισοοκτάνιο και 10% κ-επτάνιο. Διευκρινίζεται ότι η βενζίνη αυτή θα μπορούσε να μην έχει ως συστατικά καθόλου ισο-οκτάνιο ή κ-επτάνιο, αλλά άλλους υδρογονάνθρακες με αντίστοιχη προς αυτούς αντικροτικότητα.

#### **5.4.1 Επίδραση της ποιότητας του καυσίμου στο κτύπημα.**

Για τους συνηθισμένους βενζινοκινητήρες η απαιτούμενη αντικροτική ικανότητα (RON) της βενζίνης εξαρτάται κυρίως από το βαθμό συμπιέσεως, όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα 5.4.3 .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.3**  
**Σχέση βαθμού συμπιέσεως (r) και αριθμού οκτανίου (RON)\***

r	RON (ελάχιστος)	Παρατηρήσεις
6:1	70	Απλή
7:1	82	Απλή
8:1	90	Απλή
9:1	96	Super
10:1	100	Super

Διευκρινίζεται ότι η ελληνική βενζίνη, σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές διατίθεται σε δύο τύπους (βλ. πίνακα 5.2.1).

α) Απλή αμόλυβδη με ελάχιστο ON 95.

β) Super μολυβδωμένη με ελάχιστο ON 96-98.

Εκτός των δύο τύπων βενζίνης του πίνακα 5.2.1 προσφέρται στην ελληνική αγορά εμφανίστηκε και αμόλυβδη βενζίνη super με αριθμό οκτανίων 98. Η βενζίνη αυτή δεν καλύπτεται από επίσημες προδιαγραφές· επί του παρόντος ισχύουν και γι' αυτήν οι προδιαγραφές αμόλυβδης του πίνακα 5.2.1.

Αν ο αριθμός οκτανίου της βενζίνης είναι μικρότερος από τον κανονικό θα εμφανίζεται το κτύπημα με τις ολέθριες για τη μηχανή συνέπειες. Αντίθετα αριθμός οκτανίου μεγαλύτερος από τον κανονικό δεν προσφέρει κανένα όφελος και σε περίπτωση που περιέχει πολύ μόλυβδο (αεροπορική βενζίνη) μπορεί να καταστρέψει τον κινητήρα.

Ο αριθμός οκτανίου στη βενζίνη εξαρτάται από:

**α) Την πρώτη ύλη,** δηλαδή τη δομή των υδρογονανθράκων που την αποτελούν.

\* RON = Research Octane Number: η ένδειξη R καθορίζει τις συνθήκες της δοκιμής.

Υδρογονάνθρακες με ευθεία άλυσο έχουν γενικά χαμηλή οκτανική απόδοση, ενώ υδρογονάνθρακες με διακλαδούμενη άλυσο ή αρωματικοί χαρακτηρίζονται από ψηλό αριθμό οκτανίου (πίνακας 5.4.4). Η δομή αυτή των υδρογονανθράκων επιτυγχάνεται με την **αναμόρφωση** της νάφθας.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.4

##### Αριθμός οκτανίου μερικών υδρογονανθράκων

Είδος υδρογονάνθρακα	Αριθμός οκτανίων (ON)
Μεθάνιο	120
Αιθάνιο	118
Προπάνιο	112
κ-βουτάνιο	93
Ισοοκτάνιο	100
κ-εξάνιο	25
κ-επτάνιο	0
Κυκλοεξάνιο	85
Τολουδή	120
Αιθυλοβενζόλιο	107
Οκτυλένιο	60
κ-πεντάνιο	62
Ισοπροπυλοβενζόλιο	113

Γενικά η αντικροτική ικανότητα των διαφόρων ειδών υδρογονανθράκων ακολουθεί την εξής σειρά:

Υδρογονάνθρακες με μεγάλη αντικροτικότητα

{ Αρωματικοί  
 { Ισοπαραφίνες  
 { Ναφθενικοί  
 { Ολεφίνες  
 { Παραφίνες

Υδρογονάνθρακες με μικρή αντικροτικότητα

Επειδή οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες και κυρίως το βενζόλιο ρυπαίνουν σοβαρά την ατμόσφαιρα (έχει αποδειχθεί η καρκινογόνος δράση του βενζολίου) η παρουσία τους στη βενζίνη πρέπει να διατηρείται σε όσο το δυνατόν χαμηλά όρια. Για το βενζόλιο οι προδιαγραφές (πίνακας 5.2.1) καθορίζουν ανώτατο επιτρεπτό όριο 5% και προβλέπεται σύντομα η μείωση του σε 4%. Την αντικροτική ικανότητα, δηλαδή τον αριθμό οκτανίου, βελτιώνουν άλλες ουσίες οξυγονούχες, όπως η MTBE (Methyl, Tertiary-Butyl-Ether) που προστίθενται σε αναλογία μέχρι 10%. Είναι η γνωστή «πράσινη» βενζίνη (οικολογική), που η χρήση της συνεχώς διευρύνεται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των οικολογικών προβλημάτων που η χρήση της βενζίνης προκαλεί.

**β) Τα χημικά αντικροτικά πρόσθετα (additives), δηλαδή ουσίες που προσθέτονται σε μικρή αναλογία και αυξάνουν ως ένα σημείο με οικονομικό τρόπο την αντικροτική ικανότητα, δηλαδή τον αριθμό οκτανίου της βενζίνης. Απ' αυτές σημαντικότερη είναι ο τετρα-αιθυλικός μόλυβδος (TEL) που προσθέτεται σε αναλογία τέτοια, ώστε ο μόλυβδος να μην υπερβαίνει τα 0,15 g/l σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ισχύουν πρόσφατα για τις χώρες της Ε.Ε. Ενώ για την αμόλυβδη βενζίνη το όριο είναι 0,013g/l (πίνακας 5.2.1).**

Η αύξηση του αριθμού οκτανίου, που προκαλεί ορισμένη ποσότητα TEL, δεν είναι η ίδια για διεισιδεμένες τις βενζίνες. Εξαρτάται από το είδος των υδρογονανθράκων που τις αποτελούν. Σε γενικές όμως γραμμές στην αρχή έχομε σημαντική αύξηση, ενώ από ορισμένο δριο και πέρα η αύξηση του ON είναι ασήμαντη ή και μηδενική. Στον πίνακα 5.4.5 παρέχεται ένα παράδειγμα επιδράσεως του αριθμού οκτανίου (ON) από TEL σε μια βενζίνη που χωρίς TEL είχε αριθμό οκτανίου (ON) 74.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.5**  
**Εχέση ON και περιεκτικότητας TEL σε μια βενζίνη**

Περιεκτικότητα σε TEL (g Pb/λίτρο βενζίνης)	ON	Αύξηση ON
0	74	—
0,06	79	5
0,12	83	4
0,20	86	3
0,26	88	2
0,30	89	1
0,38	90	1
0,45	91	1
0,50	91	0
0,60	91	0

#### 5.4.2 Επίδραση της μηχανής στο «κτύπημα».

Πολλοί παράγοντες της μηχανής επιδρούν στην εμφάνιση και στην ένταση του κτυπήματος, που αν τους έχει υπόψη του ο χειριστής της μηχανής μπορεί να το αποφύγει ή να το περιορίσει.

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να διαιρεθούν σε δυο κατηγορίες.

- α) Κατασκευαστικοί.
- β) Λειτουργικοί.

#### α) Κατασκευαστικοί παράγοντες.

Σπουδαιότεροι από τους παράγοντες της κατηγορίας αυτής είναι:

##### — Βαθμός συμπιέσεως.

Η αύξηση του βαθμού συμπιέσεως σε μια βενζινομηχανή προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του μίγματος αέρα - βενζίνης και συνεπώς επιταχύνει την εκρηκτική καύση, άρα και το φαινόμενο του κτυπήματος (πίνακας 5.4.2). Αν λοιπόν η μηχανή δεν τροφοδοτείται με το κατάλληλο καύσιμο, δηλαδή με το καύσιμο που αντιστοιχεί στο βαθμό συμπιέσεως της (πίνακας 5.4.3) το κτύπημα και οι συνέπειες απ' αυτό θα είναι αναπόφευκτα. Περιορίζοντας το βαθμό συμπιέσεως, ελαττώνομε και το βαθμό αποδόσεως της μηχανής (πίνακας 5.4.1). Η έλλειψη ή το υψηλό κόστος βενζίνων με μεγάλη οκτανική απόδοση (ON μεγαλύτερο του 98) ανάγκασε τους κατασκευαστές των βενζινομηχανών, που προορίζονται για αυτοκίνητα, να περιορίσουν το βαθμό συμπιέσεως κάτω από το 10:1, δριο που στη δεκαετία 1960-1970 είχε ξεπεραστεί με στόχο την καλύτερη απόδοση.

### — Θάλαμος καύσεως.

Το σχήμα και γενικά η σχεδίαση του θαλάμου καύσεως επηρεάζουν αισθητά το **κτύπημα** κατά διάφορους τρόπους και κυρίως:

Συγκεκριμένο σχήμα θαλάμου καύσεως ελαττώνει τη διαδρομή του μετώπου της φλόγας, περιορίζοντας έτσι την πιθανότητα εκρηκτικής καύσεως.

Αν ο Θάλαμος καύσεως είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αυξάνει το στροβιλισμό, θα αυξηθεί η ταχύτητα και συνεπώς έχομε και πάλι περιορισμό της πιθανότητας εκρηκτικής καύσεως.

Σπινθηριστής (μπουζί). Το είδος, η μορφή και προ πάντων η θέση του σπινθηριστή επιδρούν στο κτύπημα. Η θέση του σπινθηριστή πρέπει να είναι εκείνη που εξασφαλίζει τη μικρότερη διαδρομή για το μέτωπο της φλόγας.

### β) Παράγοντες λειτουργικοί.

#### — Θερμοκρασία.

Επειδή η ταχύτητα αναφλέξεως του μίγματος μέσα στον κύλινδρο είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία του, κάθε αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την πιθανότητα κτυπήματος από εκρηκτική καύση. Αντίθετα, σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες περιορίζουν ένα τέτοιο ενδεχόμενο.

Υψηλές θερμοκρασίες, που επιτείνουν το **κτύπημα**, εμφανίζονται σε κυλίνδρους που στα τοιχώματά τους έχουν ανθρακούχα κατάλοιπα ή που το νερό ψύξεως έχει σχετικά υψηλή θερμοκρασία.

Υψηλές θερμοκρασίες έχομε ακόμα όταν η μηχανή αναγκάζεται να λειτουργήσει κάτω από μεγάλα φορτία. Παράδειγμα αποτελεί η κίνηση ενός φορτωμένου οχήματος σε ανήφορο, που προκαλεί καθώς γνωρίζομε υπερθέρμανση της μηχανής που συνοδεύεται από κτύπημα. Η μηχανή ανακουφίζεται στην περίπτωση αυτή μόνο με κατάλληλη ρύθμιση της σχέσεως μεταδόσεως ενέργειας από τη μηχανή στον άξονα, πράγμα που επιτυγχάνεται με το κιβώτιο ταχυτήτων.

Χαμηλές θερμοκρασίες, που περιορίζουν την πιθανότητα κτυπήματος, μπορούν να επιτευχθούν ανάμεσα σ' άλλα με έγχυση νερού ή άλλων ψυκτικών μιγμάτων μέσα στον κύλινδρο. Ο τρόπος αυτός για την αντιμετώπιση του κτυπήματος έχει εφαρμοσθεί σε κινητήρες αεροπλάνων με μίγματα νερού αλκοόλης 1:1, που προστίθενται στο καύσιμο σε αναλογία 1:4 περίπου (μίγμα : καύσιμο) και περιορίζει το κτύπημα σε βαθμό που να προκαλεί μια φαινομενική αύξηση της αντικροτικότητας κατά 25% περίπου. Δηλαδή βενζίνη με αριθμό οκτανίων 100, στην οποία προσθέτομε μίγμα αλκοόλης-νερού σε ποσοστό 25%, συμπεριφέρεται όπως η βενζίνη με αριθμό οκτανίων 125.

#### — Ταχύτητα περιστροφής.

Όσο λιγότερες στροφές παίρνει η μηχανή τόσο μεγαλώνει ο χρόνος συνεπαφής καυσίμου-αέρα, όρα αυξάνει η πιθανότητα να συμβεί εκρηκτική καύση. Μπορούμε, συνεπώς, να απομακρύνουμε το ενδεχόμενο εκρηκτικής καύσεως, φροντίζοντας ώστε η μηχανή να παίρνει τόσο περισσότερες στροφές, όσο το φορτίο της επιτρέπει, πράγμα που και πάλι επιτυγχάνεται με τη μείωση της σχέσεως μεταδόσεως. Έτσι εξηγείται γιατί σε ανήφορο δίνομε περισσότερες στροφές στη μηχανή κατεβάζοντας την ταχύτητα (από 4η σε 3η ή 2η) για να **μην κτυπάνε τα πειράκια**, δηλαδή για να περιορίζεται το κτύπημα που η εκρηκτική

καύση του μίγματος προκαλεῖ.

### **— Προπορεία (avance).**

Η προπορεία, δηλαδή η ανάφλεξη του μίγματος βενζίνης-αέρα πριν από το ΑΝΣ αυξάνει την τελική πίεση μέσα στον κύλινδρο, άρα και τη θερμοκρασία του, πράγμα που μπορεί να προκαλέσει εκρηκτική καύση, δηλαδή **κτύπημα**. Η μείωση της προπορείας εξουδετερώνει τον κίνδυνο κτυπήματος, αλλά σε βάρος του βαθμού αποδόσεως.

### **— Αναλογία καυσίμου-αέρα.**

Στις συνηθισμένες βενζινομηχανές και υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας η αναλογία καυσίμου-αέρα κυμαίνεται γύρω στο 1:14 (πίνακας 5.3.1) Αν το μίγμα αυτό τείνει να παρουσιάσει εκρηκτική καύση, μπορούμε να διορθώσουμε την κατάσταση εμπλουτίζοντάς το σε καύσιμο, γιατί η επιπλέον βενζίνη κατά την έξαριστή της απορροφά θερμότητα, πράγμα που προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας και συνεπώς απομάκρυνση του κινδύνου εκρηκτικής καύσεως. Αυτό επιδιώκεται με την υπερτροφοδότηση των βενζινομηχανών (supercharge), όπου η αναλογία καυσίμου-αέρα φθάνει το 1:9 (πλούσιο μίγμα). Έτσι παίρνομε από τη μηχανή μεγαλύτερη ισχύ χωρίς κίνδυνο εκρηκτικής καύσεως, και πάλι όμως σε βάρος του βαθμού αποδόσεως. Η υπερτροφοδότηση ενδιαφέρει ιδιαίτερα τους κινητήρες αεροπλάνων, ιδίως κατά την απογείωση.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι κάθε τι που τείνει να αυξήσει τη θερμοκρασία του μίγματος ή το χρόνο κατά τον οποίο το μίγμα αυτό διατηρεί σε επαφή τα συστατικά του, οδηγεί σε εκρηκτική καύση, δηλαδή αυξάνει την πιθανότητα **κτυπήματος**.

## **5.5 Αριθμός ισχύος ή λειτουργίας ή συμπεριφοράς (performance number).**

Για τη μέτρηση της αντικροτικής ικανότητας βενζινών με αριθμό οκτανίων πάνω από 100, όπως είναι οι βενζίνες αεροπλάνων, χρησιμοποιούνται δυο κλίμακες:

### **α) Κλίμακα ισο-οκτανίου + TEL.**

Η αντικροτικότητα στην κλίμακα αυτή μετράται με τα κυβικά εκατοστά (cm<sup>3</sup>) : TEL που προσθέτονται σε κάθε γαλόνι ισοοκτανίου. Σε μία σειρά από τέτοια μίγματα ισοοκτανίου + TEL συγκρίνεται η βενζίνη στην ίδια πρότυπη βενζινομηχανή (παράγρ. 5.4), ώσπου να βρεθεί το μίγμα που παρουσιάζει το ίδιο κτύπημα με την υπό εξέταση βενζίνη. Π.χ. αντικροτική ικανότητα 100 + 1,28 TEL σημαίνει ότι η βενζίνη αυτή έχει τόση αντικροτική ικανότητα όση μίγμα ισοοκτανίου που περιέχει 1,28 cm<sup>3</sup>/TEL ανά αμερικανικό γαλλόνι. Αυτό αντιστοιχεί σε αριθμό οκτανίου 110, αν η κλίμακα του αριθμού οκτανίου επεκταθεί πέρα από το 100. Την αντιστοιχία του πίνακα ισοοκτανίου + TEL, με την κλίμακα ON και την κλίμακα PN δίνει ο πίνακας 5.5.1.

### **β) Κλίμακα αριθμού συμπεριφοράς.**

**Αριθμός συμπεριφοράς ή αριθμός ισχύος ή αριθμός λειτουργίας (PN, performance number)** είναι το εκατονταπλάσιο του λόγου της ισχύος P<sub>1</sub> που μπορεί να δώσει σε μια πρότυπη βενζινομηχανή η εξεταζόμενη βενζίνη, προς τη μέγιστη ισχύ

$P_2$  που δίνει στην ίδια μηχανή, με τις ίδιες συνθήκες, το ισοοκτάνιο, του οποίου ο PN λαμβάνεται ίσος με 100.

$$\boxed{PN = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100}$$

Ως μέτρο της ισχύος λαμβάνεται η **μέση ενδεικτική πίεση** (IMEP) που εύκολα μπορεί να μετρηθεί κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Αν π.χ. στην πρότυπη βενζινομηχανή CFR με ισοοκτάνιο ώσπου να εμφανισθεί κτύπημα η IMEP φθάσει τη μέγιστη τιμή 15 atm, ενώ με τις ίδιες συνθήκες, στην ίδια μηχανή το δοκιμαζόμενο καύσιμο με την ίδια δύναμη μίγματος δίνει IMEP 17,5 atm χωρίς κτύπημα, ο αριθμός συμπεριφοράς (PN) του καυσίμου αυτού θα είναι:

$$PN = (17,5 / 15) \cdot 100 = 116,7$$

Ο αριθμός συμπεριφοράς συνδέεται με τον αριθμό οκτανίου, αν υποτεθεί ότι η κλίμακα του αριθμού οκτανίου επεκταθεί πέρα από το 100, με τη σχέση:

$$\boxed{ON = 100 + \frac{PN - 100}{3}}$$

π.χ. βενζίνη με PN = 130 θα είχε σε μια κλίμακα αριθμού οκτανίου, που εκτείνεται πέρα από το 100,

$$ON = 100 + \frac{130 - 100}{3} = 110$$

Στον πίνακα 5.5.1 δίνεται η αντιστοιχία των τριών κλιμάκων.

- α) Κλίμακας ON πέρα από το 100.
- β) Κλίμακας PN.
- γ) Κλίμακας ισοοκτανίου + TEL.  
για τιμές ON πέρα από το 100.

Διευκρινίζεται ότι η αντικροτική ικανότητα βενζινών αεροπορίας εκφράζεται με δυο αριθμούς. Ο πρώτος από αυτούς αντιστοιχεί σε αντικροτική ικανότητα που υπολογίζεται στη μηχανή CFR με μέθοδο στην οποία χρησιμοποιείται φτωχό μίγμα (συνθήκες κανονικής πτήσεως) και ο δεύτερος σε άλλη μηχανή, με μέθοδο στην οποία χρησιμοποιείται πλούσιο μίγμα και με υπερτροφοδότηση (συνθήκες απογειώσεως). Π.χ. βενζίνη 100/130 σημαίνει ότι η βενζίνη αυτή όταν καίεται με συνθήκες φτωχού μίγματος έχει αριθμό συμπεριφοράς (PN) 100, ενώ με συνθήκες πλούσιου μίγματος, που πρέπει να επικρατούν κατά την απογείωση, ο αριθμός συμπεριφοράς είναι 130. Μπορούμε δηλαδή με τις συνθήκες αυτές να πάρομε χωρίς κτύπημα αυξημένη ισχύ, που η μηχανή έχει ανάγκη κατά την απογείωση.

## 5.6 Βαθμός καθαρότητας.

Ο βαθμός καθαρότητας των βενζινών επηρεάζει σημαντικά την απόδοση και

γενικά την κατάσταση των μηχανών τις οποίες τροφοδοτούν.

Τα σημαντικότερα από τα ανεπιθύμητα συστατικά που προσδιορίζουν το βαθμό καθαρότητας των βενζινών είναι:

α) Θειούχες ενώσεις.

β) Κομμιώδεις ουσίες.

Η περιεκτικότητα αυτών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα ανώτατα όρια που καθορίζουν οι προδιαγραφές.

### **ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.1**

#### **Αντιστοιχία κλιμάκων μετρήσεως αντικροτικής ικανότητας βενζίνης**

Ισοοκτάνιο + TEL (cm <sup>3</sup> /αρ. γαλ.)	Αριθμός συμπεριφοράς (PN)	Αριθμός οκτανίου (ON)
0	100	100
0,1	104	101,3
0,2	107,4	102,3
0,3	110,5	103,5
0,4	113,3	104,5
0,5	115,8	105,3
0,6	118,1	106
0,7	120,2	106,7
0,8	122,2	107,4
0,9	124	108
1	125,7	108,6
1,2	128,8	109,6
1,4	131,6	110,5
1,6	134,1	111,4
1,8	136,3	112,1
2	138,4	112,8
2,2	140	113,3
2,4	142	114
2,6	143,6	114,5
2,8	145,1	115
3	146,4	115,5
3,2	148	116
3,4	149,2	116,4
3,6	150,3	116,8
3,8	151,5	117,2
4	152,5	117,5
4,2	153,6	117,9
4,4	154,5	118,2
4,6	155,5	118,5
4,8	156,4	118,8
5	157,2	119,1
5,2	158	119,3
5,4	158,8	119,6
5,6	159,6	119,9
5,8	160,3	120,1
6	161	120,3

### 5.6.1 Θειούχες ενώσεις.

Η περιεκτικότητα της βενζίνης σε θειούχες ενώσεις πρέπει να είναι τόση, ώστε το συνολικό ποσοστό του θείου να μην υπερβαίνει το όριο των προδιαγραφών. Το όριο αυτό ποικίλλει στις διάφορες χώρες και συχνά μεταβάλλεται, γιατί επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως:

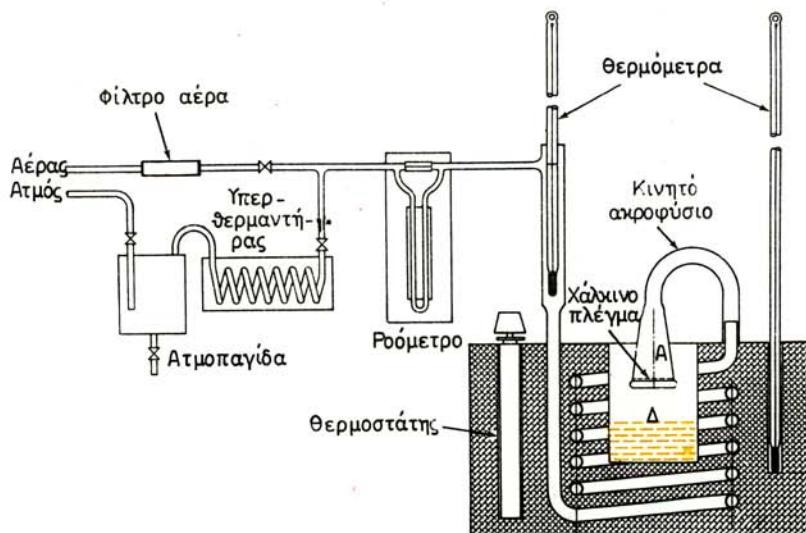
- Τη βλαβερή επίδραση που έχει το θείο για τη μηχανή, αφού μετά την καύση μετατρέπεται σε  $\text{SO}_2$  και τελικά σε θειικό οξύ, που αποτελεί ισχυρότατο διαβρωτικό παράγοντα για τη μηχανή.
- Το κόστος της αποθειώσεως δηλαδή της αφαιρέσεως του θείου από τη βενζίνη, που είναι πολύ υψηλό.
- Την ανάγκη περιορισμού της ρυπάνσεως της ατμόσφαιρας από το  $\text{SO}_2$  που παράγεται κατά την καύση.

Η περιεκτικότητα σε θείο για τις βενζίνες που κυκλοφορούν στην Ελλάδα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ισχύουν σήμερα, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,10%, ενώ από 1-1-1995 η ανώτατη περιεκτικότητα θείου περιορίζεται στο 0,05%.

Ο προσδιορισμός του θείου περιγράφεται στο κεφάλαιο 15.

### 5.6.2 Κομμιώδεις ουσίες (gum).

Οι κομμιώδεις ουσίες δημιουργούνται κατά την παραμονή της βενζίνης στις δεξαμενές ή σε δοχεία: οφείλονται στην οξείδωση των υδρογονανθράκων που περιέχει, ιδίως των ακορέστων. Η παρουσία τους δεν είναι εύκολα αντιληπτή, γιατί οι ουσίες αυτές είναι διαλυτές στη βενζίνη και εμφανίζονται κατά την εξάτμιση της σαν υπολείμματα (κομμιώδες υπόλειμμα). Τα συστατικά αυτά είναι επικίνδυνα, γιατί μπορεί να προκαλέσουν αποφράξεις των σωληνίσκων τροφοδοσίας της βενζίνης



**Σχ. 5.6.**

Μέθοδος ASTM D-381 προσδιορισμού κομμιωδών ουσιών στις βενζίνες.

(ζιγκλέρ) του εξαεριωτήρα και γενικά του συστήματος εισαγωγής καυσίμου της μηχανής. Η περιεκτικότητά τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4 mg/100 cm<sup>3</sup> βενζίνης.

Η συσκευή προσδιορισμού των κομμιώδων ουσιών φαίνεται στο σχήμα 5.6. Δείγμα βενζίνης 100 cm<sup>3</sup> εξατμίζεται στο δοχείο Δ με ρεύμα αέρα ή υπέρθερμου ατμού, που προκαλείται από το ακροφύσιο Α. Στο τέλος ζυγίζεται το υπόλειμμα που παραμένει στο δοχείο Δ και που αποτελείται από τις κομμιώδεις ουσίες, που δεν έχουν εξατμισθεί.

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται οι κομμιώδεις ουσίες που ήδη υπάρχουν στη βενζίνη (existent gum) κατά τη στιγμή της δοκιμής, ενώ ενδιαφέρουν και οι κομμιώδεις ουσίες που μπορεί να σχηματισθούν στη βενζίνη κατά την αποθήκευση. Αυτά τα συστατικά αναγκάζονται να εμφανισθούν θερμαίνοντας τη βενζίνη υπό πίεση σε κλειστό χώρο παρουσία οξυγόνου. Με τις συνθήκες αυτές εκδηλώνεται κάθε τάση σχηματισμού κομμιώδων ουσιών που αναφέρονται ως **δυνητικές κομμιώδεις ουσίες** (potential gum) και αποτελούν κριτήριο για τον υπολογισμό της διάρκειας, που η βενζίνη μπορεί να αποθηκεύεται.

Ο προσδιορισμός τους ακολουθεί την ίδια διαδικασία όπως και στις υπάρχουσες κομμιώδεις ουσίες (existent gum), που περιγράψαμε.

## 5.7 Συνθετική βενζίνη.

Μέχρι το έτος 1950 η παραγωγή της βενζίνης δεν ήταν αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες της καταναλώσεως που συνεχώς αυξάνονται από τη ραγδαία αύξηση των βενζινομηχανών (κυρίως για αυτοκίνητα). Το έλλειμμα ως τότε καλύπτονταν:

- Με την **πυρόλυση** ή τη **σύνθεση αερίων** (παρ. 4.7).
- Με συνθετική βενζίνη που μπορεί να παραχθεί με δυο κυρίως τρόπους:

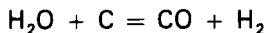
**α) Υδρογόνωση άνθρακα (Μέθοδος Bergius).** Κατά τη μέθοδο αυτή λεπτή σκόνη άνθρακα αιωρείται σε μαζούτ ή ορυκτέλαια. Στο μήγμα αυτό διαβιβάζεται υδρογόνο με πίεση 150-300 atm και θερμοκρασία 450°-500°C, παρουσία καταλυτών, οπότε γίνεται η αντίδραση:



Προκύπτει δηλαδή μήγμα υδρογονανθράκων, από το οποίο με απόσταξη παράγεται και βενζίνη, αλλά με απόδοση που δεν υπερβαίνει το 10%.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόσθηκε από τους γερμανούς στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, για την κάλυψη των τεραστίων αναγκών σε καύσιμα των γερμανικών ενόπλων δυνάμεων και κυρίως της αεροπορίας.

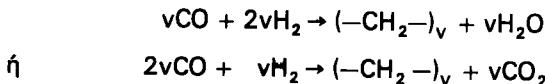
**β) Σύνθεση αερίων (μέθοδος Fischer-Tropsch).** Σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιείται το υδαταέριο, δηλαδή μήγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου και παράγεται από την επίδραση υδρατμών σε διάπυρο άνθρακα.



Το υδαταέριο συνήθως εμπλουτίζεται με υδρογόνο και διοχετεύεται σε κιβώτια αντιδράσεως, που περιέχουν καταλύτες νικελίου ή κοβαλτίου. Σε θερμοκρασία 400°C περίπου γίνονται πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις, από

τις οποίες παράγονται διάφορα προϊόντα: υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, αλδεύδες κλπ.

Η αντίδραση αυτή γνωστή ως αντίδραση Fischer-Tropsch μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Η σύνθεση του τελικού προϊόντος και η απόδοση εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες και κυρίως:

- Την αναλογία CO προς H<sub>2</sub>.
- Τους καταλύτες.
- Τη Θερμοκρασία.

Από τα προϊόντα αυτά η βενζίνη παράγεται ύστερα από απόσταξη. Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοσθεί σε βιομηχανική κλίμακα, όχι μόνο για βενζίνη, αλλά γενικότερα για καύσιμα MEK και κυρίως πετρελαίου Diesel. Από τις μονάδες που έχουν ιδρυθεί σημαντικότερη είναι η SASOL στη Νοτιοαφρικανική Ένωση, που λειτουργεί από το 1958 και καλύπτει το 15% των αναγκών της χώρας αυτής σε υγρά καύσιμα.

Οι μέθοδοι παραγωγής συνθετικής βενζίνης και γενικότερα συνθετικών υγρών καυσίμων μετά το τέλος του β' παγκόσμιου πολέμου είχαν εγκαταλειφθεί, γιατί ήταν οικονομικά ασύμφορες, σε σχέση δηλαδή με το κόστος παραγωγής των καυσίμων αυτών από φυσικό πετρέλαιο. Η ενέργειακή κρίση της δεκαετίας 1970-1980 επανέφερε τις διαδικασίες αυτές στο προσκήνιο, προβλέπεται δε ότι τα συνθετικά καύσιμα με βάση τον άνθρακα θα παίξουν σημαντικό ρόλο στα αμέσως προσεχή χρόνια ως πηγές ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ DIESEL (GASOIL)

#### 6.1 Γενικά.

Το καύσιμο αυτό οφείλει το όνομά του στο γεγονός ότι αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιόταν στις μηχανές Diesel λόγω των ιδιοτήτων του και κυρίως:

- Του χαμηλού ίξωδους, που επέτρεπε καλύτερο διασκορπισμό.
- Του υψηλού βαθμού καθαρότητας, που εξασφάλιζε καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα.

Σήμερα χρησιμοποιείται μόνο για ταχύστροφες μηχανές μικρής σχετικά ισχύος, φερόμενο στο εμπόριο με το όνομα Gasoil ή Dieseloil. Σε όλες τις άλλες κατηγορίες μηχανών Diesel μεγάλης ισχύος και κυρίως τις ναυτικές, χρησιμοποιούνται βαρύτερα καύσιμα με βάση το μαζούτ. Το όνομα **Gasoil**, οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για **έλαιο** (oil) που με εξαερίωση παράγει αέριο (gas).

Κύριο χαρακτηριστικό του, με το οποίο διακρίνεται από τις άλλες κατηγορίες πετρελαίου που χρησιμοποιούνται στις μηχανές Diesel, είναι ότι αποτελεί **απόσταγμα** του φυσικού πετρελαίου, ανήκει δηλαδή στα **ευγενή** προϊόντα του. Αυτό έχει ως συνέπεια να κατατάσσεται στα καλύτερα και ακριβότερα καύσιμα ΜΕΚ. Χρησιμοποιείται λοιπόν ως καύσιμο μηχανών Diesel, όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που αποκλείουν τη χρήση των βαρύτερων καυσίμων, που παράγονται με βάση το μαζούτ, όπως π.χ.

- a) Υψηλή ταχύτητα περιστροφής.
- β) Μικρές ιπποδυνάμεις.
- γ) Ευχέρεια προσαρμογής καύσεως στις απαιτήσεις φορτίου της μηχανής, όπως συμβαίνει κατά τους χειρισμούς απόπλου ή κατάπλου ενός σκάφους και γενικά ενός δύσκολου ή ειδικού πλου, όπου απαιτείται γρήγορη αυξομείωση της ισχύος της μηχανής, στην οποία μόνο το πετρέλαιο Diesel μπορεί με ευχέρεια να ανταποκριθεί.

Το πετρέλαιο Diesel αποτελεί το τελευταίο κλάσμα του φυσικού πετρελαίου, και έχει όρια θερμοκρασιών ζέσεως 200°-360°C. Συνήθως δεν χρειάζεται άλλη επεξεργασία μετά την απόσταξη, και χρησιμοποιείται όπως λαμβάνεται από τον πύργο αποστάξεως. Η εξέλιξη των πετρελαιομηχανών επιβάλλει για το πετρέλαιο Diesel ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες, που εξασφαλίζονται με τις αντίστοιχες προδιαγραφές (πίνακας 6.1.1). Οι σπουδαιότερες από τις ιδιότητες αυτές περιγράφον-

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1**  
**Προδιαγραφές πετρελαίου diesel**  
**(πετρέλαιο κινήσεως)**

Κύρια χαρακτηριστικά	Όρια τιμών
1. Σημείο αναφλέξεως, °C	55 ελαχ.
2. Ανθρακούχο υπόλειψμα (επί 10% υπολ.)%	0,30 μεγ.
3. Τέφρα, %	0,01 μεγ.
4. Νερό, mg/kg	500 μεγ.
5. Διάβρωση ελάσματος χαλκού (3 ώρες, σε 50°C)	1 μεγ.
6. Θείον %	0,2 μεγ.
7. Αριθμός κετανίου,	49 ελαχ.
8. Πυκνότητα σε 15°C kg/m <sup>3</sup>	820-860
9. Ιεώδες, σε 40°C, cSt	2-4,5
10. Απόσταξη	
— Συμπύκνωμα 10%, °C	αναφέρεται
— Συμπύκνωμα 50%, °C	αναφέρεται
— Συμπύκνωμα 65%, °C	250 ελαχ.
— Συμπύκνωμα 85%, °C	350 μεγ.
— Συμπύκνωμα 95%, °C	370 μεγ.

τα παρακάτω και σχετίζονται με τα κύρια λειτουργικά γνωρίσματα των πετρελαιομηχανών: Την **εκτόξευση**, την **ανάφλεξη** και την **καύση**.

Οι προδιαγραφές του πίνακα 6.1.1 αφορούν στο «πετρέλαιο κινήσεως», δηλαδή στο καύσιμο που προορίζεται για τις ταχύστροφες πετρελαιομηχανές των αυτοκινήτων, και καλύπτονται τόσο από την ελληνική νομοθεσία όσο και από κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ενώσεως. Οι προδιαγραφές αυτές αποβλέπουν τόσο στην ικανοποιητική λειτουργία των πετρελαιομηχανών για τις οποίες το καύσιμο αυτό προορίζεται, όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος, θέτοντας αυστηρά όρια σε ρυπογόνα συστατικά όπως το θείον για το οποίο η ανωτάτη περιεκτικότητα καθορίζεται σε 0,20%, με προοπτική να περιορισθεί στο μέλλον ακόμα περισσότερο.

Ευνόητο είναι ότι οι απαιτήσεις και συνεπώς οι προδιαγραφές για άλλες πετρελαιομηχανές, όπως π.χ. οι ναυτικές, είναι πιο ελαστικές και είτε καθορίζονται από προδιαγραφές των Ενόπλων Δυνάμεων (Π.Ν.) είτε αναφέρονται σε διεθνείς προδιαγραφές που περιλαμβάνονται στα συμβόλαια προμήθειας των καυσίμων που συνάπτονται μεταξύ των ναυτιλιακών εταιριών και των εταιριών προμήθειας καυσίμων.

Στον πίνακα 6.1.2 παρέχονται ενδεικτικά οι προδιαγραφές πετρελαίου diesel.

α) Για το πετρέλαιο diesel που χρησιμοποιείται ως καύσιμο πετρελαιομηχανών πλοίων του Π.Ν. (MIL-F-16884).

β) Για το πετρέλαιο diesel, που προορίζεται για τους καυστήρες κεντρικής θέρμανσης (καλοριφέρ) (πετρέλαιο θερμάνσεως).

γ) Για πετρέλαιο diesel προοριζόμενο για M.E.K. γενικά (κατάταξη κατά A.S.T.M.)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.2**  
**Προδιαγραφές διαφόρων κατηγοριών πετρελαίου diesel**

Κύρια χαρακτηριστικά	Πετρέλαιο θερμάνσεως	Πετρέλαιο πλοίων του Π.Ν (MIL-F-16884)	Πετρέλαιο Μ.Ε.Κ. (κατά ASTM)		
				κατηγορία	
			1D	2D	4D
1. Πυκνότητα σε 15°					
2. Απόσταξη					
– Το 50%, θα αποστάξει, σε °C μεγ.	–	αναφέρεται			
– Το 85%, θα αποστάξει, σε °C μεγ.	350	–			
– Το 90%, θα αποστάξει, σε °C μεγ.	–	357	288	338	–
– Τέλος αποστάξεως, °C μεγ.	–	385			
3. Θείον %, μεγ.	0,3	1	0,5	0,5	2
4. Νερό %, μεγ.	0,1	–	0,05	0,05	0,50
5. Δείκτης κετανίου, ελαχ.	40	45	40	40	30
6. Σημείο αναφλέξεως, °C, ελαχ.	55	55	38	52	55
7. Ανθρακούχο υπόλειμμα (επί 10% υπολ.), μεγ.	0,30	0,2	0,15	0,35	–
8. Τέφρα, %, μεγ.	0,02	0,005	0,01	0,01	0,10
9. Ιεώδες, σε 40°C, cSt, μεγ.	6	1,8-4,5	1,3-2,4	1,9-4,1	5,5-24
10. Διάβρωση χάλκινου ελάσματος (3h, σε 50°C), μεγ.	3	–	3	3	–
11. Σημείο ροής, °C, μεγ.					
α) Χειμερινή περίοδος (1/10 - 15/3)	-9	-6,7			
β) Θερινή περίοδος (16/3 - 30/9)	0				

## 6.2 Ποιότητα αναφλέξεως - Αριθμός κετανίου.

Η ποιότητα αναφλέξεως του πετρελαίου Diesel καθορίζεται από την ταχύτητα με την οποία αναφλέγεται μέσα στον κύλινδρο της μηχανής μετά την εκτόξευσή του από τον καυστήρα. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ εκτοξεύσεως και εναύσεως πρέπει να είναι κατά το δυνατό μικρότερος. Επιβράδυνση της εναύσεως θα έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση στο θάλαμο καύσεως αρκετού πετρελαίου, που η απότομη ανάφλεξή του δημιουργεί απότομες αυξήσεις της πιέσεως. Οι αυξήσεις αυτές γίνονται αντιληπτές σαν **κτύπημα** (knocking), δηλαδή κραδασμοί και δονήσεις που επιδρούν καταστρεπτικά στη μηχανή και μειώνουν την απόδοσή της. Ο χρόνος μεταξύ εκτοξεύσεως και εναύσεως, που είναι γνωστός σαν **καθυστέρηση αναφλέξεως** (delay period) και ο οποίος επηρεάζει την εξέλιξη όλου του φαινομένου, εξαρτάται:

- α) Από την ποιότητα του καυσίμου (αριθμός κετανίου), δηλαδή από το είδος και την αναλογία των υδρογονανθράκων που περιέχει.
- β) Από τις συνθήκες που δημιουργούνται μέσα στον κύλινδρο κατά τη στιγμή της εγχύσεως. Είναι γνωστό ότι στην πετρελαιομηχανή η ανάφλεξη του καυσίμου γίνεται χωρίς σπινθηριστή, έχομε δηλαδή **αυτανάφλεξη**, που για να

συμβεί πρέπει να εξασφαλίσομε κατάλληλες συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας. Πράγματι ο βαθμός συμπιέσεως σε μια πετρελαιομηχανή κυμαίνεται από 14:1 ως 20:1, πράγμα που ανεβάζει τη θερμοκρασία του αέρα στο τέλος της συμπιέσεως σε 450-500°C, αρκετή ώστε το καύσιμο, που ψεκάζεται λίγες μοίρες πριν από το ΑΝΣ, να υποστεί αυτανάφλεξη. Η αυτανάφλεξη αυτή που προκαλεί την καύση δεν είναι ακαριαία, γιατί το καύσιμο στη Diesel βρίσκεται υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων, δηλαδή σε υγρή κατάσταση και πρέπει πριν την ανάφλεξη να προηγηθούν άλλες διεργασίες, όπως:

- Πλήρης ανάμιξη των σταγονιδίων με τον αέρα.
- Εξαερίωση των σταγονιδίων.
- Ανάμιξη των ατμών του καυσίμου με τον αέρα.
- Προφλογική οξείδωση του καυσίμου.
- Τοπική ανάφλεξη κλπ.

μετά από τις οποίες ακολουθεί η καύση του όλου μίγματος.

Ακόμα και στα άερια καύσιμα η ανάφλεξη δεν είναι ακαριαία, είναι όμως πολύ ταχύτερη από δ.τι στο πετρέλαιο.

Με τις ίδιες λειτουργικές και μηχανικές συνθήκες, η εξέλιξη του φαινομένου της καύσεως, εξαρτάται πια από το καύσιμο και μάλιστα από την ιδιότητά του που χαρακτηρίζεται σαν **ποιότητα αναφλέξεως**: αυτή μετράται με τον αριθμό κετανίου, που εξετάζεται στο κεφάλαιο αυτό.

Για την κατανόηση του φαινομένου εξετάζονται συνοπτικά τα κύρια στάδια της καύσεως στις μηχανές Diesel.

### **Στάδιο 1. Καθυστέρηση εναύσεως (delay period).**

Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την έγχυση του καυσίμου ως την ανάφλεξή του και συνήθως δεν υπερβαίνει 1,5-1,8 millisec (χιλιοστά του δευτερολέπτου). Έχει καθοριστική σημασία για την εξέλιξη των επομένων σταδίων καύσεως, γιατί, αν ο χρόνος αυτός παρατείνεται πέρα από τα παραπάνω δρια, η ποσότητα του άκαυστου πετρελαίου που συγκεντρώνεται στο θάλαμο καύσεως είναι αρκετή, ώστε η επόμενη φάση να πάρει μορφή εκρήξεως, που εκδηλώνεται σα κτύπημα. Το στάδιο αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία και για την ευχέρεια εκκινήσεως της μηχανής.

### **Στάδιο 2. Ταχεία ή ανεξέλεγκτη καύση (uncontrolled burning).**

Αρχίζει από τη στιγμή της εναύσεως, ως τη στιγμή που το πλεόνασμα του καυσίμου, που έχει συγκεντρωθεί στο θάλαμο καύσεως κατά το προηγούμενο στάδιο, καίγεται, ώστε η καύση, που ακολουθεί στο στάδιο 3, να είναι ομαλή. Σ' αυτό το στάδιο 2 η καύση είναι τόσο πιο γρήγορη και απότομη, όσο περισσότερο καθυστερεί η έναυση, όπως είπαμε παραπάνω. Οι πιέσεις αυξάνονται τόσο απότομα, ώστε μπορούν να οδηγήσουν σε εκρηκτική καύση, που γίνεται αντιληπτή σαν γδούπος ή κραδασμός της μηχανής (**κτύπημα**).

### **Στάδιο 3. Ελεγχόμενη καύση.**

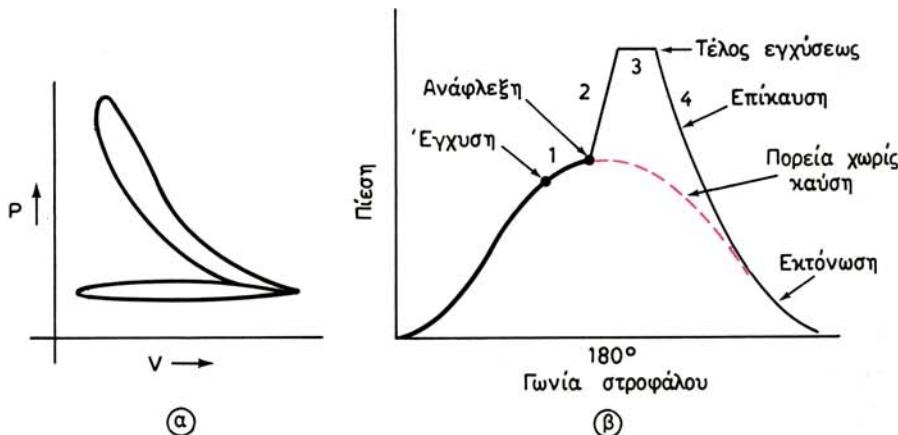
Σ' αυτό το στάδιο το καύσιμο που ψεκάζει ο καυστήρας καίεται ομαλά, αμέσως μετά την είσοδό του στο θάλαμο καύσεως, όπου συναντά την υψηλή θερμοκρασία από το καύσιμο που καίεται ήδη. Η πίεση στο στάδιο αυτό παραμένει σχεδόν σταθερή.

#### Στάδιο 4. Επίκαυση (afterburning).

Αντιστοιχεί στην καύση που συνεχίζεται και μετά τη διακοπή της εγχύσεως, όπότε εξακολουθούν να καίονται τα βαρύτερα κλάσματα του πετρελαίου, που ως λιγότερο πτητικά, απαιτούν περισσότερο χρόνο για την εξαερίωσή τους, αλλά και για την καύση τους.

Τα παραπάνω στάδια καύσεως φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 6.2, στο οποίο η πορεία της καύσεως καταγράφεται σε συνάρτηση της πιέσεως και της γωνίας στροφάλου.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η **ποιότητα αναφλέξεως** του πετρελαίου Diesel σχετίζεται άμεσα με την **ταχύτητα εναύσεως**, που θα περιορίσει στα επιθυ-



**Σχ. 6.2.**  
Διάγραμμα πορείας καύσεως σε μηχανή Diesel.

μητά όρια τη διάρκεια του σταδίου 1 (καθυστέρηση αναφλέξεως) και θα εξουδετερώσει τον κίνδυνο εκρηκτικής καύσεως.

Μέτρο της ποιότητας του πετρελαίου Diesel αποτελεί ο **αριθμός κετανίου**, για τον οποίο χρησιμοποιείται μια αυθαίρετη κλίμακα, σχετική προς την κλίμακα του αριθμού οκτανίου, με την οποία βαθμολογείται η αντικροτικότητα της βενζίνης.

Στην κλίμακα του αριθμού κετανίου για τις ακραίες τιμές του μηδέν και του 100 χρησιμοποιούνται δύο γνωστοί υδρογονάνθρακες:

**α)** **To κανονικό δεκαεξάνιο** (κ-δεκαεξάνιο)  $C_{16}H_{34}$ , που λέγεται για χάρη συντομίας **κετάνιο**. Είναι ένας παραφινικός υδρογονάνθρακας (και τα 16 άτομα άνθρακα στη σειρά) που δεν παρουσιάζει σχεδόν καθόλου επιβράδυνση εναύσεως και στην παραπάνω κλίμακα βαθμολογείται με 100.

**β)** **H α-μεθυλοναφθαλίνη** ( $C_{11}H_{10}$ ) που έχει πολύ μεγάλη επιβράδυνση εναύσεως και στην κλίμακα αριθμού κετανίου βαθμολογείται με 0.

Μίγματα των δύο παραπάνω υδρογονανθράκων σχηματίζουν την κλίμακα αριθμού κετανίου από 0 ως 100 (πίνακας 6.2.1). Η σύγκριση του υπό μέτρηση πετρελαίου με μίγμα κετανίου α-μεθυλοναφθαλίνης γνωστής αναλογίας, γίνεται σε πρότυπη μονοκύλινδρη πετρελαιομηχανή, στην οποία συγκρίνεται η ένταση του κτυπήματος του κινητήρα.

Ονομάζεται **αριθμός κετανίου** η % περιεκτικότητα δεκαεξανίου σε μίγμα με α-μεθυλοναφθαλίνη που έχει την ίδια ποιότητα, δηλαδή την ίδια καθυστέρηση εναύσεως με το εξεταζόμενο δείγμα, όταν η σύγκριση γίνεται σε πρότυπη πετρελαιομηχανή με βάση τη συχνότητα και την ένταση των κτυπημάτων που η μηχανή αυτή καταγράφει.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1**  
**Κλίμακα αριθμού κετανίου**

Αριθμός κετανίου (CN)	Περιεκτικότητα %	
	κ-δεκαεξάνιο (κετάνιο)	α-μεθυλοναφθαλίνη
100	100	0
90	90	10
80	80	20
70	70	30
60	60	40
50	50	50
40	40	60
30	30	70
20	20	80
10	10	90
0	0	100

Πετρέλαιο π.χ. με αριθμό κετανίου 35 (CN=35) σημαίνει ότι το πετρέλαιο αυτό έχει την ίδια ποιότητα αναφλέξεως, δηλαδή την ίδια καθυστέρηση αναφλέξεως, με μίγμα υδρογονανθράκων που περιέχει 35% κ-δεκαεξάνιο (κετάνιο) και 65% α-μεθυλοναφθαλίνη. Βεβαίως, αντί για τους παραπάνω συγκεκριμένους υδρογονάνθρακες, τόσο το υπό εξέταση πετρέλαιο όσο και το μίγμα συγκρίσεως μπορεί να περιέχει άλλους ισοδύναμους ως προς την ποιότητα αναφλέξεως υδρογονάνθρακες.

Η τιμή του αριθμού κετανίου, άρα και η ποιότητα αναφλέξεως ενός πετρελαίου εξαρτάται βασικά από το είδος των υδρογονανθράκων που το αποτελούν. Υδρογονάνθρακες παραφινικοί με ευθεία άλυσο, που σαν συστατικά βενζινών είναι ανεπιθύμητοι, γιατί μειώνουν τον αριθμό οκτανίου, ευνοούν την αύξηση του αριθμού κετανίου. Αυτό συμβαίνει γιατί αναφλέγονται εύκολα, ενώ αντίθετα οι υδρογονάνθρακες με διακλαδισμένη άλυσο ή με δακτύλιο στο μόριό τους (ναφθενικοί, αρωματικοί κλπ.), έχουν μικρό αριθμό κετανίου, γιατί η ανάφλεξή τους καθυστερεί. Μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές για τον αριθμό κετανίου ορισμένων υδρογονανθράκων δίνει ο πίνακας 6.2.2.

Ο αριθμός κετανίου μπορεί να αυξηθεί επίσης με τη χρήση χημικών προσθέτων (additives) που προσθέτονται στο πετρέλαιο σε μικρή αναλογία (γύρω στο 1%), όπως είναι το νιτρώδες αιμύλιο, νιτρικό αιθύλιο, νιτρικό ισοπροπύλιο κλπ. Οι ενώσεις αυτές επιταχύνουν την ανάφλεξη αυξάνοντας έτσι τον αριθμό κετανίου, δεν έχουν όμως επικρατήσει μέχρι τώρα για τους εξής κυρίως λόγους:

- Απαιτούν άσκοπη επιβάρυνση του κόστους του πετρελαίου, αφού το παραγόμενο από τα διυλιστήρια πετρέλαιο Diesel, μπορεί ως τώρα άνετα να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της καταναλώσεως ως προς τον αριθμό κετανίου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.2**  
**Αριθμός κετανίων υδρογονανθράκων**

Υδρογονάνθρακας	Κατηγορία	Αριθμός κετανίου
Οκτάνιο	Παραφινικός	65
Δεκαεξάνιο	Παραφινικός	100
Οκτένιο	Ολεφινικός	40
Δεκαεξένιο	Ολεφινικός	84
Δεκαλίνη	Ναφθενικός	42
Αμυλοβενζόλιο	Αρωματικός	8
Εξυλιοβενζόλιο	Αρωματικός	28
α-μεθυλοναφθαλίνη	Αρωματικός	0

β) Τα πρόσθετα αυτά είναι ενώσεις με μεγάλη τοξικότητα και εκρηκτικότητα και απαιτούν εξαιρετικά μέτρα ασφάλειας κατά τη διακίνησή τους.

Θετική και αποτελεσματική είναι η χρησιμοποίησή τους, για την επίτευξη εύκολης εκκινήσεως των πετρελαιομηχανών σε χαμηλές θερμοκρασίες, αφού επιταχύνουν την ανάφλεξη, αν και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται με συνεισπνοή άλλα εύφλεκτα και πτητικά υγρά, π.χ. αιθέρας, αλδεύδες, αλκοόλες κλπ.

### 6.3 Μέτρηση του αριθμού κετανίου.

Η μέτρηση του αριθμού κετανίου του πετρελαίου μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους που κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

- α) Άμεσοι ή μηχανικοί τρόποι.
- β) Έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι.

#### 6.3.1 Άμεσοι ή μηχανικοί τρόποι μετρήσεως του αριθμού κετανίου.

Σ' αυτή την ομάδα κατατάσσονται οι διάφοροι τρόποι μετρήσεως που βασίζονται σε πρότυπη πετρελαιομηχανή, στην οποία συγκρίνεται το υπό δοκιμή πετρέλαιο με άλλο πρότυπο καύσιμο, του οποίου ο αριθμός κετανίου είναι γνωστός. Το πρότυπο καύσιμο ή είναι μίγμα γνωστής αναλογίας κ-δεκαεξανίου (κετανίου) με αμεθυλοναφθαλίνη ή άλλο καύσιμο ισοδύναμο ως προς την ποιότητα καύσεως με μίγμα από τους παραπάνω δυο υδρογονάνθρακες. Υπάρχει σειρά από τέτοια μίγματα που αντιστοιχούν σε όλες τις πιθανές τιμές του αριθμού κετανίου (από 20 ως 60) που συγκρίνονται διαδοχικά με το άγνωστης ποιότητας καύσεως πετρέλαιο, ώσπου να βρεθεί εκείνο, του οποίου η ποιότητα καύσεως συμπίπτει απόλυτα με το άγνωστο καύσιμο. Ανάλογα με το χαρακτηριστικό στοιχείο ως προς το οποίο γίνεται η σύγκριση διακρίνομε τις εξής επί μέρους μεθόδους:

##### α) Μέθοδος καθυστερήσεως αναφλέξεως.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε μηχανή Diesel που λειτουργεί με σταθερό φορτίο και σταθερή ταχύτητα. Με ηλεκτρονικό μετρητή μετράται η πραγματική καθυστέρηση αναφλέξεως, δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που ανεβαίνει η βελόνα του εκνεφωτή ως τη στιγμή ενάρξεως της αναφλέξεως. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες και στην ίδια μηχανή αναζητείται από τη σειρά προτύ-

πων καυσίμων, δηλαδή με γνωστό αριθμό κετανίων, εκείνο το καύσιμο που έχει την ίδια ακριβώς καθυστέρηση αναφλέξεως με το μετρούμενο δείγμα. Ο αριθμός κετανίου του πρότυπου αυτού καυσίμου είναι ο ζητούμενος αριθμός κετανίου του μετρούμενου δείγματος.

### **β) Μέθοδος ASTM.**

Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται μηχανή Diesel στην οποία ο βαθμός συμπιέσεως μπορεί να μεταβάλλεται, ώστε η ανάφλεξη να γίνεται πάντοτε στο ANS και ακριβώς  $13^{\circ}$  μετά την έγχυση. Η έγχυση δηλαδή γίνεται πάντοτε  $13^{\circ}$  πριν το ANS και η συμπίεση ρυθμίζεται έτσι ώστε η ανάφλεξη να γίνεται ακριβώς μετά  $13^{\circ}$ , δηλαδή τη στιγμή που το έμβολο βρίσκεται στο ANS. Είναι ευνόητο ότι κάθε καύσιμο απαιτεί διαφορετική συμπίεση για να εξασφαλισθεί η ανάφλεξη στη διαδρομή  $13^{\circ}$ - $0^{\circ}$  ( $0^{\circ}$  = ANS): Θα χρειασθεί τόσο λιγότερη συμπίεση, όσο πιο εύκολα αναφλέγεται το καύσιμο, δηλαδή όσο μεγαλύτερο αριθμό κετανίου έχει. Αντίθετα, καύσιμα με μικρό αριθμό κετανίου, που αναφλέγονται δυσκολότερα, απαιτούν μεγαλύτερη συμπίεση για να εξασφαλισθεί ανάφλεξη ακριβώς στα όρια διαδρομής στροφάλου  $13^{\circ}$ - $0^{\circ}$ . Αναζητείται λοιπόν το πρότυπο καύσιμο, που απαιτεί την ίδια συμπίεση για καθυστέρηση αναφλέξεως  $13^{\circ}$ , δση και το μετρούμενο δείγμα. Ο αριθμός κετανίου του πρότυπου αυτού καυσίμου είναι και αριθμός κετανίου του άγνωστου δείγματος.

### **γ) Πρότυπη μηχανή CFR (F<sub>g</sub>).**

Η μηχανή αυτή βασίζεται στην ίδια αρχή που βασίζονται και οι μηχανές CFR (Cooperative Fuel Research) για τη μέτρηση του αριθμού οκτανίου. Με ειδική ηλεκτρονική συσκευή που διαθέτουν (knocrometer) συγκρίνονται τα κτυπήματα που παρουσιάζει η μηχανή όταν λειτουργεί με το άγνωστο καύσιμο, με τα κτυπήματα που με τις ίδιες συνθήκες καταγράφονται, όταν η μηχανή λειτουργεί με καύσιμο γνωστού αριθμού κετανίων.

### **6.3.2 Έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι μετρήσεως του αριθμού κετανίου.**

Με μικρότερη ακρίβεια ο αριθμός κετανίου του πετρελαίου μπορεί να μετρηθεί με εργαστηριακές μεθόδους, που είναι πολύ απλούστερες από τις προηγούμενες. Η μέτρηση αυτή είναι έμμεση, δηλαδή βασίζεται σε άλλες ιδιότητες του πετρελαίου, που εξαρτώνται από τη δομή των υδρογονανθράκων που το αποτελούν και που, ως γνωστό, βρίσκεται σε άμεση σχέση με την ποιότητα αναφλέξεως, δηλαδή τον αριθμό κετανίου. Οι ιδιότητες αυτές είναι:

#### **a) Το ειδικό βάρος σε μονάδες API.**

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

όπου:  $\rho$  η πυκνότητα σε μονάδες του μετρικού συστήματος ( $\text{g/cm}^3$  ή  $\text{kg/l}$ ).

**β) Το σημείο ανιλίνης ( $^{\circ}\text{FI}$ ), δηλαδή η ελάχιστη θερμοκρασία σε βαθμούς  $^{\circ}\text{F}$ , πάνω από την οποία ίσοι δύκοι ανιλίνης και πετρελαίου αναμιγνύονται πλήρως σχηματίζοντας ομοιογενές διάφανές διάλυμα.**

γ) **Η Θερμοκρασία ( $T_{so}$ )**, δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία αποστάζει το 50% του πετρελαίου (σε °F).

Με βάση τις παραπάνω ιδιότητες η ποιότητα καύσεως του πετρελαίου μπορεί να εκφρασθεί με δυο τρόπους:

### 1) Δείκτης Diesel (DI = Diesel Index).

Βρίσκεται από τη σχέση:

$$DI = \frac{A.P. (°F) \times API}{100}$$

όπου: AP το σημείο ανιλίνης (Aniline Point) σε βαθμούς °F, που εύκολα μετράται στο εργαστήριο (παράγρ. 15.12) και

API το ειδικό βάρος στην ομώνυμη κλίμακα, σε 60°F (παράγρ. 15.3).

Ο δείκτης Diesel μετατρέπεται σε αριθμό κετανίων με τις εμπειρικές σχέσεις:

$$CN = DI - 3$$

ή

$$CN = 0,72DI + 10$$

### 2) Αριθμός ή δείκτης κετανίου από υπολογισμό (CCI).

Βρίσκεται με πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις ή με νομογραφήματα, που περιγράφονται στη μέθοδο ASTM D-976/IP-218.

Κατά προσέγγιση μπορεί να εφαρμοσθεί η σχέση:

$$CCI = 175,4 \log T + 1,98G - 496$$

όπου: CCI ο αριθμός κετανίου από υπολογισμό (Calculated Cetane Index).

T η θερμοκρασία αποστάζεως του 50% (°F).

G το ειδικό βάρος σε 60°F (κλίμακα API)

## 6.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το κτύπημα στις πετρελαιομηχανές.

Είδαμε ότι (παράγρ. 6.2) το κτύπημα στις πετρελαιομηχανές οφείλεται στην καθυστέρηση αναφλέξεως, που κατά κύριο λόγο εξαρτάται από το καύσιμο και μάλιστα από το είδος των υδρογονανθράκων που το αποτελούν. Το φαινόμενο αυτό όμως, που έχει ιδιαίτερη σημασία για τη ζωή και την απόδοση της μηχανής, επηρεάζεται από μία σειρά λειτουργικών και μηχανικών παραγόντων της μηχανής, από τους οποίους οι σπουδαιότεροι εξετάζονται στην παράγραφο αυτή. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι κάθε παράγοντας που αυξάνει τη θερμοκρασία στο θάλαμο καύσεως ή το χρόνο επαφής καυσίμου-αέρα, περιορίζει το ενδεχόμενο κτυπήματος, ενώ αντίθετα παράγοντες που μειώνουν τη θερμοκρασία ή το χρόνο επαφής αέρα-καυσίμου αυξάνουν την πιθανότητα κτυπήματος της μηχανής. Τα παραπάνω εξηγούνται εύκολα από το γεγονός ότι η υψηλή θερμοκρασία και ο σχετικά μεγαλύτερος χρόνος επαφής καυσίμου-αέρα αυξάνουν την πιθανότητα έγκαιρης αναφλέξεως, που θα μπορούσε να περιορίσει ή και να εκμηδενίσει το ενδεχόμενο κτυπήματος της μηχανής.

#### **6.4.1 Ταχύτητα περιστροφής.**

Η ταχύτητα περιστροφής βρίσκεται σε άμεση σχέση με το κτύπημα της μηχανής. Μία ταχύστροφη μηχανή περιορίζει το χρόνο επαφής καυσίμου-αέρα και συνεπώς απαιτεί καύσιμα με μεγάλο αριθμό κετανίου, που εξασφαλίζει μικρότερη επιβράδυνση αναφλέξεως. Αντίθετα οι βραδύστροφες μηχανές αρκούνται και σε λιγότερα κετάνια, ενώ ο διαθέσιμος για την ανάφλεξη χρόνος είναι μεγαλύτερος.

Ενδεικτικά οι απαιτήσεις σε αριθμό κετανίου σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής τής μηχανής, φαίνονται στον πίνακα 6.4.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4.1**  
**Σχέση ταχύτητας περιστροφής (rpm) και αριθμού κετανίων (CN)**

Κατηγορία μηχανής	rpm	Απαιτούμενος αριθμός κετανίου
Βραδύστροφη	< 500	25-35
Μέσης ταχύτητας	500-1000	35-45
Ταχύστροφη	> 1000	45-60

#### **6.4.2 Συμπίεση.**

Ο βαθμός συμπιέσεως αυξάνει την τελική θερμοκρασία του αέρα στο τέλος της συμπιέσεως, γι' αυτό και είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την καθυστέρηση αναφλέξεως. Όσο πιο μεγάλος είναι ο βαθμός συμπιέσεως, τόσο ταχύτερη είναι η ανάφλεξη του καυσίμου μετά την έγχυση, συνεπώς τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα κτυπήματος.

#### **6.4.3 Στροβιλισμός.**

Αν ο θάλαμος καύσεως είναι κατασκευασμένος έτσι, ώστε να ευνοεί την αύξηση του στροβιλισμού, το κτύπημα του κινητήρα θα είναι μικρότερο.

#### **6.4.4 Προπορεία εγχύσεως (inversion).**

Η προπορεία εγχύσεως είναι απαραίτητη στις μηχανές Diesel, ώστε η αύξηση της πιέσεως να συνεχίζεται και όταν το έμβολο φθάση στο ΑΝΣ. Υπάρχει όμως ένα δριο προπορείας ( $10\text{--}30^\circ$ ) ανάλογα με την κάθε περίπτωση, πέρα από το οποίο η προπορεία επιτείνει το κτύπημα. Αυτό οφείλεται στο ότι η πίεση και η αντίστοιχη θερμοκρασία δεν έχουν φθάσει σε τιμές που να εξασφαλίζουν άνετη αυτανάφλεξη. Την προπορεία της κάθε μηχανής καθορίζει ο κατασκευαστής της και αντιστοιχεί βεβαίως σε ορισμένο είδος καυσίμου που επίσης υποδεικνύεται από τον κατασκευαστή.

#### **6.4.5 Υπερπλήρωση (supercharge).**

Η υπερπλήρωση στις μηχανές Diesel περιορίζει το κτύπημα, γιατί αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία του αέρα στο τέλος της συμπιέσεως, συνεπώς ευνοεί την αυτανάφλεξη του καυσίμου.

## 6.4.6 Φορτίο.

Όταν μία μηχανή Diesel λειτουργεί με μεγάλα φορτία, έχομε αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας στους κυλίνδρους, πράγμα που επιταχύνει την ανάφλεξη και συνεπώς περιορίζει το κτύπημα. Συνεπώς μία αφόρτιστη μηχανή ή μία μηχανή που λειτουργεί με μικρό φορτίο, μπορεί να παρουσιάζει κτύπημα, που με την αύξηση του φορτίου ελαττώνεται. Αν λοιπόν η μηχανή διαθέτει μειωτήρα ή γενικά έχει τη δυνατότητα ρυθμίσεως της σχέσεως μεταδόσεως στροφών από τη μηχανή προς τον άξονα, είναι δυνατόν με κατάλληλους συνδυασμούς ο χειριστής να περιορίσει το κτύπημα και τις βλαβερές για τη μηχανή συνέπειές του.

**Συμπέρασμα:** Οι παραπάνω παράγοντες δείχνουν τους τρόπους, με τους οποίους μπορεί να αντιμετωπισθεί το ενδεχόμενο **κτυπήματος** σε μία πετρελαιομηχανή. Μερικοί από αυτούς (στροφές, φορτίο, avance), παρέχουν τη δυνατότητα και στο χειριστή της μηχανής να αντιμετωπίσει ένα παρόμοιο ενδεχόμενο, εξαντλώντας όσα από τα παραπάνω μέσα έχει στη διάθεσή του, εφόσον φυσικά δεν έχει τη δυνατότητα να αλλάζει το καύσιμο, στο οποίο συνήθως οφείλεται το φαινόμενο του κτυπήματος.

## 6.5 Συνέπειες από τη χρήση καυσίμου με αντικανονικό αριθμό κετανίου.

Τον αριθμό κετανίου που πρέπει να έχει το καύσιμο για μια συγκεκριμένη πετρελαιομηχανή, τον υποδεικνύει πάντοτε ο κατασκευαστής στα εγχειρίδια που συνοδεύουν τη μηχανή. Αν το καύσιμο που χρησιμοποιείται δεν ανταποκρίνεται στις υποδείξεις του κατασκευαστή ως προς τον αριθμό κετανίου, οι συνέπειες μπορεί να είναι σοβαρές για τη λειτουργία, την απόδοση ή τη ζωή της μηχανής. Από την άποψη αυτή διακρίνομε δύο περιπτώσεις:

### 6.5.1 Καύσιμα με αριθμό κετανίου μικρότερο από τον κανονικό (υποκετανικά).

Αριθμός κετανίου μικρότερος από τον κανονικό συνεπάγεται πρώτα-πρώτα καθυστέρηση αναφλέξεως, που οδηγεί στις εξής συνέπειες:

**α) Θορυβώδης λειτουργία** της μηχανής από το κτύπημα, που οφείλεται στη συσσώρευση πετρελαίου στο θάλαμο καύσεως, όσο διαρκεί η καθυστέρηση αναφλέξεως.

**β) Μηχανική καταπόνηση,** την οποία προκαλεί το κτύπημα και που μπορεί να έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα για τη μηχανή.

**γ) Απώλεια ισχύος,** γιατί είναι πιθανό να μην είναι δυνατό να απορροφηθεί όλη η ενέργεια που παράγεται από την απότομη αύξηση της πιέσεως κατά τη διάρκεια της ανεξέλεγκτης καύσεως (παράγρ. 6.2, Στάδιο 2).

**δ) Δυσχέρεια εκκίνησεως.** Αν και η εκκίνηση της μηχανής από την ψυχρή κατάσταση εξαρτάται κυρίως από την πτητικότητα του καυσίμου, ο ρόλος του αριθμού κετανίου είναι σημαντικός. Με αριθμό κετανίου μικρότερο από το κανονικό απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την εκκίνηση, αφού δυσχεραίνεται η ανάφλεξη, ιδίως τώρα που η μηχανή είναι κρύα. Ο πίνακας 6.5.1 δείχνει την επίδραση του αριθμού κετανίου στο χρόνο εκκίνησεως σε μία πετρελαιομηχανή.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5.1**  
**Επίδραση του αριθμού κετανίου στο χρόνο εκκινήσεως μηχανών Diesel**

Θερμοκρασία εκκινήσεως (°C)	Χρόνος εκκινήσεως (δευτερόλεπτα)		
	40 CN	55 CN	70 CN
-10	90	50	25
-5	50	30	10
0	20	12	8
5	10	8	6
10	6	5	5

Από τον πίνακα φαίνεται ότι η επίδραση του αριθμού κετανίου στο χρόνο εκκινήσεως ψυχρής πετρελαιομηχανής είναι σημαντικός για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες (10°C) είναι ασήμαντος.

### 6.5.2 Καύσιμα με αριθμό κετανίων μεγαλύτερο του κανονικού (υπερκετανικά).

Με υπερκετανικά καύσιμα όλες οι ανωμαλίες που περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο (6.5.1) εξαφανίζονται. Η μοναδική, αλλά αρκετά σοβαρή, συνέπεια από τη χρήση υπερκετανικών καυσίμων στις πετρελαιομηχανές είναι ότι λόγω της μεγάλης ταχύτητας αναφλέξεως, ο διαθέσιμος χρόνος για την ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα, είναι ανεπαρκής και η καύση είναι ατελής.

Η ατελής καύση έχει τις παρακάτω συνέπειες:

- α) Εξαγωγή καπνού από την εξάτμιση (απαγωγή καυσαερίων) της μηχανής.
- β) Μείωση του βαθμού αποδόσεως.
- γ) Ρύπανση του κυλίνδρου. Τα εξανθρακώματα που σχηματίζονται από την ατελή καύση επικάθονται στο προστόμιο του καυστήρα, όπου σχηματίζουν αποθέσεις, συχνά αρκετά ογκώδεις. Τμήματα σκληρών αποθέσεων παρασύρονται και μπορεί να επικαθήσουν στις έδρες των βαλβίδων, προκαλώντας έτσι τη βαθμιαία φθορά τους. Αυτό γίνεται συχνά αιτία να καίονται οι βαλβίδες, γιατί η επαφή με τη βάση τους δεν είναι πλήρης και συνεπώς η ψύξη τους είναι ανεπαρκής, πράγμα που οδηγεί σε υπερθέρμανση (κάψιμο).

### 6.6 Λοιπές ιδιότητες του πετρελαίου Diesel.

Από τις υπόλοιπες ιδιότητες του πετρελαίου Diesel οι σπουδαιότερες εξετάζονται συνοπτικά παρακάτω:

#### 6.6.1 Ιξώδες.

Είναι ιδιότητα που σχετίζεται με τη ρευστότητα του πετρελαίου και εκφράζει την εσωτερική αντίσταση λόγω τριβής μεταξύ των μορίων του πετρελαίου κατά τη ροή του. Κάθε υγρό με μικρό ιξώδες ρέει ευκολότερα από άλλο υγρό, του οποίου το ιξώδες είναι μεγαλύτερο.

Για το πετρέλαιο Diesel η τιμή του ιξώδους έχει ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να βρίσκεται στα όρια που οι αντίστοιχες προδιαγραφές καθορίζουν (πίνακας 6.6.1). Έξω από τα όρια αυτά εμφανίζονται οι εξής ανωμαλίες:

**α) Ιξώδες μικρότερο από το κανονικό** σημαίνει ότι το πετρέλαιο είναι πολύ λεπτόρρευστο, πράγμα που οδηγεί σε κακή διείσδυση στο θάλαμο καύσεως, όπου κατά τη στιγμή της εγχύσεως επικρατούν υψηλές πιέσεις. Έτσι η ανάμιξη με τον αέρα δεν είναι καλή και η καύση είναι ατελής με όλα τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα (μαύρος καπνός στην εξαγωγή, ρύπανση των κυλίνδρων, μειωμένη απόδοση).

**β) Ιξώδες μεγαλύτερο από το κανονικό** προκαλεί δυσχέρειες στην άντληση και διακίνηση του πετρελαίου, αλλά και μειωμένο διασκορπισμό (χοντρά σταγονίδια) κατά την έγχυση στο θάλαμο καύσεως, πράγμα που οδηγεί και πάλι σε ατελή καύση, με τις ίδιες όπως και στην προηγούμενη περίπτωση ατέλειες. Είναι γνωστό όλλωστε ότι ο βαθμός διασκορπισμού, δηλαδή το μέγεθος των σταγονιδίων, επηρεάζει άμεσα την επαφή καυσίμου αέρα και συνεπώς την πληρότητα της καύσεως.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ιξώδους, παίρνουν την ονομασία τους από τη συσκευή με την οποία γίνεται η μέτρηση (μέθοδος Redwood, Saybolt, Engler κλπ). Οι συσκευές διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως κατά την ποσότητα του δείγματος και τη διάμετρο της οπής εκροής και περιγράφονται στο κεφάλαιο 15. Η συσκευή Redwood έχει καταργηθεί πια από το Αγγλικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (I.P.) και επομένως δεν πρέπει να αναφέρεται σήμερα. Παρατίθεται όμως για λόγους συγκρίσεως με όρια που περιέχονται σε μερικές μη συγχρονισμένες προδιαγραφές. Η τιμή του ιξώδους πρέπει να συνοδεύεται και από τη θερμοκρασία στην οποία αναφέρεται.

### 6.6.2 Πτητικότητα.

Αν και η πτητικότητα του πετρελαίου Diesel δεν έχει τη σημασία που η ιδιότητα αυτή έχει για τη βενζίνη, εντούτοις επηρεάζει την καύση του σε ένα κινητήρα Diesel, γιατί από αυτήν εξαρτώνται οι συνθήκες εκνεφώσεως του πετρελαίου, που επηρεάζει άμεσα και την ανάφλεξη και την καύση που ακολουθεί.

Μέτρο της πτητικότητας, που εξασφαλίζει καλή εκνέφωση και συνεπώς τις κατάλληλες συνθήκες αναφλέξεως και καύσεως, είναι η θερμοκρασία στην οποία αποστάζουν διάφορα κλάσματα του πετρελαίου, και κυρίως:

- 1) Η θερμοκρασία στην οποία αποστάζει το 50%.
- 2) Η θερμοκρασία στην οποία αποστάζει το 90%.
- 3) Το τέλος της αποστάξεως.

Τα όρια των παραπάνω θερμοκρασιών καθορίζονται από τις ισχύουσες προδιαγραφές για κάθε τύπο πετρελαίου (παράγρ. 6.1).

### 6.6.3 Περιεκτικότητα θειούχων ενώσεων.

Η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θείο (S) υπό οποιαδήποτε μορφή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που οι διάφορες προδιαγραφές καθορίζουν. Τα όρια αυτά ποικίλλουν ανάλογα με την περίπτωση. Σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των ορίων αυτών παίζει η προστασία του περιβάλλοντος από τη ρύπανση, που τα προϊόντα καύσεως του θείου προκαλούν, αν και ο παράγοντας αυτός για τα καύσιμα των Ναυτικών Μηχανών δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Η τιμή του πετρελαίου μεταβάλλεται αντίστροφα προς την περιεκτικότητά του σε θείο και επειδή το κόστος

των καυσίμων στην Εμπορική Ναυτιλία έχει τεράστια σημασία, στόχος των κατασκευαστών ναυτικών μηχανών αλλά και των υπευθύνων για τη συντήρησή τους, είναι η διεύρυνση των ορίων περιεκτικότητας σε θείο, όσο οι δυσάρεστες συνέπειες από τα προϊόντα καύσεως το επιτρέπουν. Τα όρια αυτά σήμερα σε γενικές γραμμές είναι:

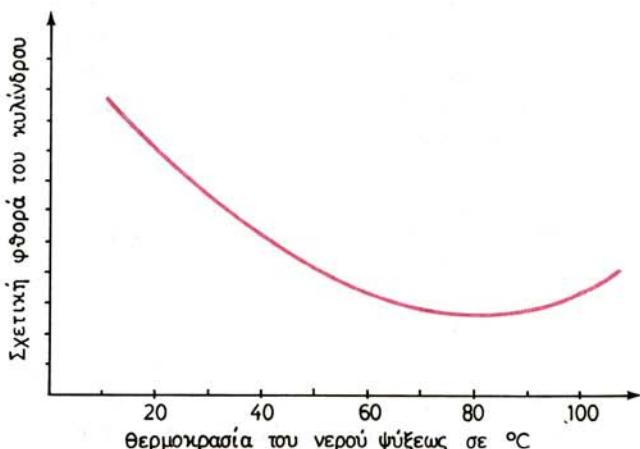
- |  |              |
|--|--------------|
| α) Πετρέλαιο Diesel, γενικώς                             | 1% μέγιστο   |
| β) Πετρέλαιο Diesel για οδικές μεταφορές<br>και Θέρμανση | 0,3% μέγιστο |
| γ) Βαριά καύσιμα για ναυτικές μηχανές                    | 5% μέγιστο   |

(Όσον αφορά στο πετρέλαιο diesel για οδικές μεταφορές και θέρμανση στην Ελλάδα από 1/1/95 καθορίζεται όριο 0,2% μέγιστο).

Είναι γεγονός ότι όσο περισσότερο θείο περιέχει το πετρέλαιο τόσο μεγαλύτερη θα είναι η διαβρωτική επίδραση των προϊόντων καύσεως του ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) στα μεταλλικά μέρη της μηχανής με τα οποία έρχονται σε επαφή. Η απομάκρυνση όμως του θείου από το πετρέλαιο (αποθείωση) επιβαρύνει το κόστος του σημαντικά και σε ορισμένες περιπτώσεις αποβαίνει αντιοικονομική και συνέπως ασύμφορη.

Στις περιπτώσεις αυτές η επιβάρυνση από τη φθορά της μηχανής από τις θειούχες ενώσεις είναι προτιμότερη, παρά η προμήθεια καυσίμων με μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο. Υπάρχουν άλλωστε τρόποι, με τους οποίους οι επιβλαβείς συνέπειες από τις θειούχες ενώσεις που το πετρέλαιο περιέχει, μπορούν να αντιμετωπισθούν ίκανοποιητικά. Μεταξύ αυτών σπουδαιότεροι είναι:

- Διατήρηση του νερού ψύξεως της μηχανής σε θερμοκρασίες που αποκλείουν τη συμπύκνωση των ατμών και το σχηματισμό του διαβρωτικού



Σχ. 6.6.

Επίδραση της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως στη φθορά του κυλίνδρου από τη διαβρωτική δράση των προϊόντων καύσεως του θείου.

Θειικού οξέος. Η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται από  $60^{\circ}$  -  $80^{\circ}$  C. Η επίδραση της θερμοκρασίας του χιτωνίου στη διαβρωτική φθορά των προϊόντων καύσεως του θείου φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 6.6.

- β) Χρήση λιπαντελαίων ενισχυμένων με χημικά πρόσθετα αλκαλικής βάσεως που εξουδετερώνουν το θειικό οξύ. Η αλκαλικότητα των λαδιών αυτών εκφράζεται με τον ολικό αριθμό αλκαλικότητας (Total Base Number ή TBN). Η τιμή του TBN αποτελεί μέτρο του βαθμού μολύνσεως του λαδιού από τα οξεινά συστατικά των καυσαερίων και συνεπώς μέτρο της προστασίας της μηχανής από τα επιβλαβή αυτά συστατικά.
- γ) Μεταλλουργική προστασία των επιφανειών που προσβάλλονται και που επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:
  - 1) Με επιχρωμίση των χιτωνίων.
  - 2) Με την κατασκευή χιτωνίων από ανοξείδωτο χάλυβα.

Τα αποτέλεσματα είναι ακόμα καλύτερα αν η επιχρωμίση έχει πορώδη υφή, που επιτυγχάνεται με επίδραση οξέος στο στρώμα του χρωμάτου και που έχει σαν αποτέλεσμα να συγκρατεί καλύτερα τη λιπαντική μεμβράνη που σχηματίζει το λιπαντέλαιο στα τοιχώματα του χιτωνίου. Πρέπει να διευκρινισθεί ότι τα ελατήρια του εμβόλου δεν επιχρωμιώνονται γιατί η τριβή μεταξύ δύο επιχρωμιωμένων επιφανειών προκαλεί τη γρήγορη φθορά τους. Έτσι τα ελατήρια κατασκευάζονται από κοινό χυτοχάλυβα που φθείρεται ταχύτερα οπότε και αντικαθίστανται συχνότερα.

#### **6.6.4 Σημείο αναφλέξεως.**

Η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί που σχηματίζονται κατά τη θέρμανση του πετρελαίου αναφλέγονται προσεγγίζοντας τη φλόγα μιας ειδικής συσκευής, και υπό ειδικές συνθήκες, ονομάζεται **σημείο αναφλέξεως**. Η τιμή του για το πετρέλαιο Diesel πρέπει για λόγους ασφάλειας να μην είναι κάτω από τους  $50^{\circ}\text{C}$ .

#### **6.6.5 Βαθμός καθαρότητας.**

Το πετρέλαιο Diesel, ως απόσταγμα του φυσικού πετρελαίου, διακρίνεται από τον υψηλό βαθμό καθαρότητας, στον οποίο κυρίως οφείλεται η υπεροχή του από τα άλλα καυσίμων, που προορίζονται για τις ΜΕΚ και έχουν σαν βάση το μαζούτ. Έτσι και τα προϊόντα καύσεως θα έχουν ανάλογη καθαρότητα και συνεπώς οι φθορές της μηχανής από επιβλαβείς προσμίξεις περιορίζονται στο ελάχιστο.

Ο βαθμός καθαρότητας του πετρελαίου Diesel ελέγχεται με δύο κυρίως τρόπους:

**α) Με φυγοκέντριση ορισμένης ποσότητας δείγματος** (100 cc) υπό ορισμένες συνθήκες, προσδιορίζονται οι ακαθαρσίες που μαζί με το νερό περιέχονται στο πετρέλαιο. Το σύνολό τους, που εκφράζεται ως **νερό και ξένες ύλες διά φυγοκέντρισεως** (Bottom Sediment and Water ή BSW) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,05% και

**β) Με τον προσδιορισμό της τέφρας του πετρελαίου**, της οποίας ένα ανώτατο δριο τίθεται στις προδιαγραφές.

### 6.6.6 Εξανθράκωμα (carbon residue).

Είναι το ανθρακούχο υπόλειμμα, που καταλείπει το πετρέλαιο, όταν καίεται ατελώς υπό εντελώς ορισμένες συνθήκες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται συνήθως η συσκευή Conradson (παράγρ. 15.11) στην οποία το εξανθράκωμα σε υπόλειμμα 10%, που προκύπτει μετά την απόσταξη του υπόλοιπου 90% του αρχικού δείγματος, δεν πρέπει για ένα καλής ποιότητας πετρέλαιο Diesel να είναι μεγαλύτερο από 0,2%. Η τιμή του εξανθρακώματος φανερώνει κυρίως την τάση που έχει το πετρέλαιο να σχηματίζει ανθρακούχα κατάλοιπα κατά την καύση του.

Οι απαιτήσεις αυτές ως προς την καθαρότητα του πετρελαίου Diesel εξασφαλίζονται βέβαια κατά την αρχική παραλαβή του από το διυλιστήριο ή από το σταθμό ανεφοδιασμού. Είναι όμως δύσκολο η καθαρότητα αυτή να διατηρηθεί μέχρι τη στιγμή της καύσεως. Είναι πιθανό κατά την παραμονή του στις δεξαμενές ή κατά τη μετάγγιση μέσω του δικτύου να έχουμε μόλυνση με νερό ή με ξένες ύλες, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πια συμφωνία με τις προδιαγραφές. Για την αντιμετώπιση του ενδεχομένου αυτού το πετρέλαιο πριν από την είσοδό του στη μηχανή υποβάλλεται σε καθαρισμό με φυγοκέντριση ή με φίλτρα σε ειδικές εγκαταστάσεις που κάθε πλοίο διαθέτει (παράγρ. 8.7).

### 6.6.7 Σημείο ροής.

Είναι η κατώτατη θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο μπορεί να ρέει υπό ορισμένες συνθήκες. Η σημασία του σημείου ροής για την ποιότητα του πετρελαίου έγκειται στο ότι αυτό έχει άμεση συνάρτηση με την αντλητικότητα του πετρελαίου. Υψηλές τιμές του σημείου ροής επηρεάζουν την αντλητικότητά του σε σημείο που η διακίνησή του στο δίκτυο είναι προβληματική.

### 6.6.8 Ειδικό βάρος.

Η τιμή του κυμαίνεται από 0,80 ως 0,87 και δεν καθορίζεται από τις προδιαγραφές. Είναι και αυτό μέτρο της ππητικότητας του καυσίμου. Η μέτρησή του έχει ιδιαίτερη σημασία για τη διακίνηση του πετρελαίου, όταν αυτή γίνεται σε **μονάδες βάρους**, γιατί το βάρος είναι ανεξάρτητο από τη θερμοκρασία, ενώ ο όγκος εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία μετράται. Επειδή, λοιπόν, το πετρέλαιο δεν μπορεί να ζυγισθεί, ενώ ο όγκος μετράται εύκολα είτε με μετρητές είτε με την ογκομέτρηση των δεξαμενών, το βάρος βρίσκεται από τη σχέση:

$$\text{Βάρος} = \text{Όγκος} \times \text{Ειδικό βάρος}$$

Αυτονόητο είναι ότι για να υπολογίσουμε την ακριβή τιμή του βάρους πρέπει ο όγκος και το ειδικό βάρος να **έχουν μετρηθεί στην ίδια θερμοκρασία**. Σήμερα η διακίνηση του γκαζόιλ γίνεται σε μονάδες όγκου ( $\text{lίτρα ή m}^3$ ) στη θερμοκρασία των  $15^\circ\text{C}$ . Για να γίνει η αναγωγή του όγκου του πετρελαίου σε  $15^\circ\text{C}$  ( $60^\circ\text{F}$ ) χρησιμοποιούνται ειδικοί πίνακες, ανάλογα με την τιμή του ειδικού βάρους (πίνακες API). Ένα τμήμα τέτοιων πινάκων περιέχεται στον πίνακα 6.6.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6.1***Αναγωγή δύκου σε 60°F (15°C)**Συνοπτικός πίνακας**Απόσπασμα από τους «ASTM-IP petroleum Measurement Tables» 1952*

Θερμοκρασία σε °F	Αριθμός ομάδας και περιοχή ειδικού βάρους σε 60/60°F			Θερμοκρασία σε °C	Αριθμός ομάδας και περιοχή ειδικού βάρους σε 60/60°F			Θερμοκρασία σε °F	Αριθμός ομάδας και περιοχή ειδικού βάρους σε 60/60°F		
	Ομάδα 0	Ομάδα 1	Ομάδα 2		Ομάδα 0	Ομάδα 1	Ομάδα 2		Ομάδα 0	Ομάδα 1	Ομάδα 2
	API 0-14.9 Sp.Gr. 1,0760 έως 0,9660	API 15.0-34.9 Sp.Gr. 0,9659 έως 0,8499	API 35.0-50.9 Sp.Gr. 0,8498 έως 0,7754		API 0-14.9 Sp.Gr. 1,0760 έως 0,9660	API 15.0-34.9 Sp.Gr. 0,9659 έως 0,8499	API 35.0-50.9 Sp.Gr. 0,8498 έως 0,7754		API 0-0-14.9 Sp.Gr. 1,0760 έως 0,9660	API 15.0-34.9 Sp.Gr. 0,9659 έως 0,8499	API 35.0-50.9 Sp.Gr. 0,8498 έως 0,7754
	Συντελεστής αναγωγής δύκου σε 60°F					Συντελεστής αναγωγής δύκου σε 60°F					Συντελεστής αναγωγής δύκου σε 60°F
0	1,0211	1,0241	1,0298	50	1,0035	1,0040	1,0050	100	0,9861	0,9842	0,9801
1	1,0208	1,0237	1,0293	51	1,0031	1,0036	1,0045	101	0,9857	0,9838	0,9796
2	1,0204	1,0233	1,0288	52	1,0028	1,0032	1,0040	102	0,9854	0,9834	0,9791
3	1,0201	1,0229	1,0283	53	1,0024	1,0028	1,0035	103	0,9851	0,9830	0,9786
4	1,0197	1,0225	1,0278	54	1,0021	1,0024	1,0030	104	0,9847	0,9826	0,9781
5	1,0194	1,0221	1,0273	55	1,0017	1,0020	1,0025	105	0,9844	0,9822	0,9776
6	1,0190	1,0217	1,0268	56	1,0014	1,0016	1,0020	106	0,9840	0,9818	0,9771
7	1,0186	1,0213	1,0263	57	1,0010	1,0012	1,0015	107	0,9837	0,9814	0,9766
8	1,0183	1,0209	1,0258	58	1,0007	1,0008	1,0010	108	0,9833	0,9810	0,9761
9	1,0179	1,0205	1,0253	59	1,0003	1,0004	1,0005	109	0,9830	0,9806	0,9756
10	1,0176	1,0201	1,0248	60	1,0000	1,0000	1,0000	110	0,9826	0,9803	0,9751
11	1,0172	1,0197	1,0243	61	0,9997	0,9996	0,9995	111	0,9823	0,9799	0,9746
12	1,0169	1,0193	1,0238	62	0,9993	0,9992	0,9990	112	0,9819	0,9795	0,9741
13	1,0165	1,0189	1,0233	63	0,9990	0,9988	0,9985	113	0,9816	0,9791	0,9736
14	1,0162	1,0185	1,0228	64	0,9986	0,9984	0,9980	114	0,9813	0,9787	0,9731
15	1,0158	1,0181	1,0223	65	0,9983	0,9980	0,9975	115	0,9809	0,9783	0,9726
16	1,0155	1,0177	1,0218	66	0,9979	0,9976	0,9970	116	0,9806	0,9779	0,9721
17	1,0151	1,0173	1,0214	67	0,9976	0,9972	0,9965	117	0,9802	0,9775	0,9717
18	1,0148	1,0168	1,0209	68	0,9972	0,9968	0,9960	118	0,9799	0,9771	0,9712
19	1,0144	1,0164	1,0204	69	0,9969	0,9964	0,9955	119	0,9795	0,9767	0,9707
20	1,0141	1,0160	1,0199	70	0,9965	0,9960	0,9950	120	0,9792	0,9763	0,9702
21	1,0137	1,0156	1,0194	71	0,9962	0,9956	0,9945	121	0,9788	0,9760	0,9697
22	1,0133	1,0152	1,0189	72	0,9958	0,9952	0,9940	122	0,9785	0,9756	0,9692
23	1,0130	1,0148	1,0184	73	0,9955	0,9948	0,9935	123	0,9782	0,9752	0,9687
24	1,0126	1,0144	1,0179	74	0,9951	0,9944	0,9930	124	0,9778	0,9748	0,9682
25	1,0123	1,0140	1,0174	75	0,9948	0,9940	0,9925	125	0,9775	0,9744	0,9677
26	1,0119	1,0136	1,0169	76	0,9944	0,9936	0,9920	126	0,9771	0,9740	0,9672
27	1,0116	1,0132	1,0164	77	0,9941	0,9932	0,9916	127	0,9768	0,9736	0,9667
28	1,0112	1,0128	1,0159	78	0,9937	0,9929	0,9911	128	0,9764	0,9732	0,9662
29	1,0109	1,0124	1,0154	79	0,9934	0,9925	0,9906	129	0,9761	0,9728	0,9657
30	1,0105	1,0120	1,0149	80	0,9930	0,9921	0,9901	130	0,9758	0,9725	0,9652
31	1,0102	1,0116	1,0144	81	0,9927	0,9917	0,9896	131	0,9754	0,9721	0,9647
32	1,0098	1,0112	1,0139	82	0,9923	0,9913	0,9891	132	0,9751	0,9717	0,9642
33	1,0095	1,0108	1,0134	83	0,9920	0,9909	0,9886	133	0,9747	0,9713	0,9637
34	1,0091	1,0104	1,0129	84	0,9916	0,9905	0,9881	134	0,9744	0,9709	0,9632
35	1,0088	1,0100	1,0124	85	0,9913	0,9901	0,9876	135	0,9740	0,9705	0,9627
36	1,0084	1,0096	1,0119	86	0,9909	0,9897	0,9871	136	0,9737	0,9701	0,9622

Συνεχίζεται

37	1,0081	1,0092	1,0114	87	0,9906	0,9893	0,9866	137	0,9734	0,9697	0,9617
38	1,0077	1,0088	1,0109	88	0,9902	0,9889	0,9861	138	0,9730	0,9693	0,9612
39	1,0074	1,0084	1,0104	89	0,9899	0,9885	0,9856	139	0,9727	0,9690	0,9607
40	1,0070	1,0080	1,0099	90	0,9896	0,9881	0,9851	140	0,9723	0,9686	0,9602
41	1,0067	1,0076	1,0094	91	0,9892	0,9877	0,9846	141	0,9720	0,9682	0,9597
42	1,0063	1,0072	1,0089	92	0,9889	0,9873	0,9841	142	0,9716	0,9678	0,9592
43	1,0060	1,0068	1,0084	93	0,9885	0,9869	0,9836	143	0,9713	0,9674	0,9587
44	1,0056	1,0064	1,0079	94	0,9882	0,9865	0,9831	144	0,9710	0,9670	0,9582
45	1,0053	1,0060	1,0075	95	0,9878	0,9861	0,9826	145	0,9706	0,9666	0,9577
46	1,0049	1,0056	1,0070	96	0,9875	0,9857	0,9821	146	0,9703	0,9662	0,9572
47	1,0046	1,0052	1,0065	97	0,9871	0,9854	0,9816	147	0,9699	0,9659	0,9567
48	1,0042	1,0048	1,0060	98	0,9868	0,9850	0,9811	148	0,9696	0,9655	0,9562
49	1,0038	1,0044	1,0055	99	0,9864	0,9846	0,9806	149	0,9693	0,9651	0,9557

Αν π.χ. ο όγκος του πετρελαίου ειδικού βάρους 0,86 βρέθηκε 2500 λίτρα σε 80° F αναγόμενος σε 15° C (60° F) θα είναι:

$$2500 \times 0,9921 = 2480 \text{ λίτρα.}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΛΕΒΗΤΩΝ (MAZOYT)

#### 7.1 Γενικά.

Το μέρος του φυσικού πετρελαίου που δεν αποστάζει ως τους  $360^{\circ}\text{C}$  εξέρχεται από τη βάση του πύργου αποστάξεως του διυλιστηρίου και αποτελεί ένα πολύτιμο καύσιμο, που φέρεται με το γενικό όνομα **υπόλειμμα αποστάξεως** (residual fuel oil), πιο πολύ γνωστό ως **μαζούτ**. Πολύτιμο γιατί:

- α) Αποτελεί περίπου το 50% του φυσικού πετρελαίου.
- β) Είναι φθηνό (περίπου το  $\frac{1}{2}$  της τιμής του Diesel).
- γ) Έχει ευρύτατη εφαρμογή σαν καύσιμο λεβήτων αλλά και πετρελαιομηχανών.
- δ) Είναι η πρώτη ύλη για την παραγωγή των λιπαντικών. Το όνομά του (πετρέλαιο λεβήτων) οφείλεται στο γεγονός ότι αρχικά χρησιμοποιήθηκε σαν καύσιμο λεβήτων, δηλαδή στις μηχανές ατμού, όπου έχει εκτοπίσει τους γαιάνθρακες, ενώ σήμερα χρησιμοποιείται, με ορισμένες προϋποθέσεις, ως το κύριο καύσιμο στις πετρελαιομηχανές του εμπορικού ναυτικού.

Η χρήση του σαν καύσιμο λεβήτων, στις πρωτότυπες εγκαταστάσεις πλοίων ατμού (παλινδρομικές – ατμοστρόβιλοι) οφείλεται στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα που έχει σε σύγκριση με τους γαιάνθρακες, μεταξύ των οποίων σημαντικότερα είναι:

- α) Η ομοιομορφία της ποιότητας, που δεν απαιτεί συχνές αλλαγές ρυθμίσεως των συστημάτων καύσεως, όπως συμβαίνει με τα στερεά καύσιμα.
- β) Η μεγάλη θερμαντική ικανότητα, της οποίας η μέση τιμή είναι κατά 80% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή των στερεών καυσίμων.
- γ) Η ευχέρεια διακινήσεως με αντλίες και σωληνώσεις: έτσι η μεταφορά του καυσίμου είναι πιο γρήγορη, απλή και οικονομική σε σχέση με τα στερεά καύσιμα.
- δ) Η απόδοση καύσεως και η ακτίνα ενέργειας είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται όχι μόνο στη θερμαντική ικανότητα, αλλά και στα γεγονός ότι η πυκνότητα του πετρελαίου σε σύγκριση προς την πυκνότητα των γαιανθράκων είναι μεγαλύτερη και συνεπώς οι αποθηκευτικές δυνατότητες των δεξαμενών είναι επίσης μεγαλύτερες (περίπου κατά 50%).
- ε) Η καθαρότητα του μηχανοστασίου και η ετοιμότητα ενός πλοίου που κινείται με μαζούτ αποτελούν επίσης σοβαρά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα στερεά καύσιμα.

- στ) Το υπόλειμμα καύσεως (τέφρα) του μαζούτ είναι ασήμαντο σε σχέση με τα στερεά καύσιμα και οπωσδήποτε δεν υπάρχει πρόβλημα αποκομιδής του.
- ζ) Απαιτείται λιγότερο προσωπικό μηχανής.

Παρά ταύτα η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας 1970-1980, επανέφερε τη χρήση των γαιανθράκων για τη λειτουργία των μηχανών ατμού, αλλά και γενικότερα δίνει στον άνθρακα άλλη βαρύτητα σαν πηγή ενέργειας, ακόμα και για την πρόωση πλοίων. Το θέμα αυτό εξετάζεται ιδιαίτερα στο κεφάλαιο 11.

Στο κεφάλαιο αυτό το μαζούτ εξετάζεται σαν καύσιμο λεβήτων, ενώ οι διάφορες ποιότητες μαζούτ για τις ΜΕΚ εξετάζονται ιδιαίτερα στο κεφάλαιο 8.

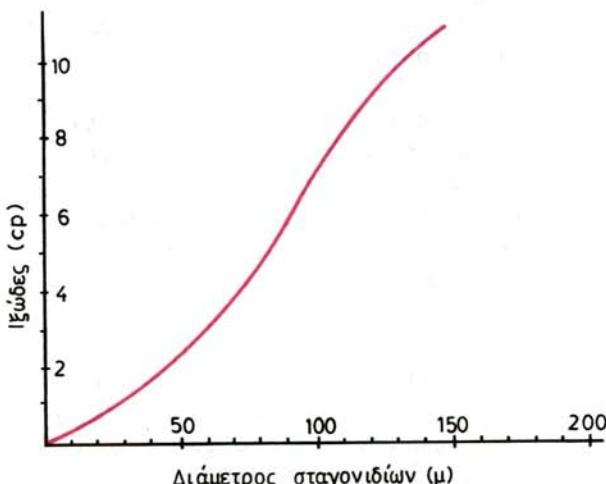
## 7.2 Ιδιότητες του μαζούτ.

### 7.2.1 Ιξώδες.

Η ιδιότητα αυτή επηρεάζει κυρίως τις συνθήκες διασκορπισμού του πετρελαίου στους καυστήρες, άρα και την ποιότητα καύσεως.

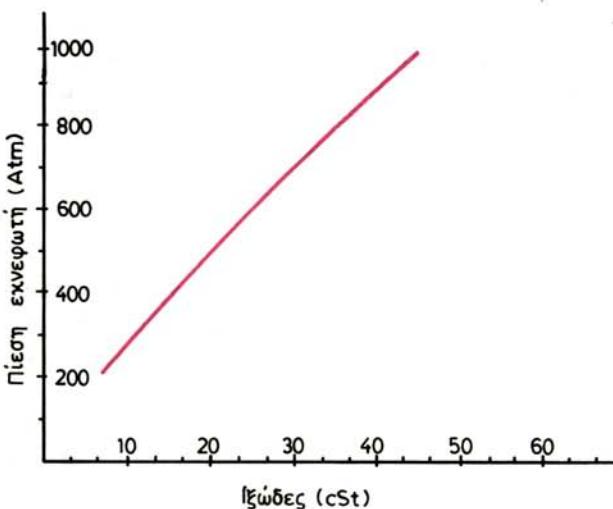
Αν το πετρέλαιο έχει ιξώδες μεγαλύτερο από το κανονικό, εκτός από τα προβλήματα διακινήσεως που μπορούν να παρουσιασθούν λόγω μειωμένης αντλητικότητας, είναι πολύ πιθανόν να εμφανισθεί κακός διασκορπισμός, που οδηγεί τελικά σε ατελή καύση με αποτέλεσμα να παραμένουν κατάλοιπα άνθρακα στο χώρο καύσεως. Την επίδραση του ιξώδους στο μέγεθος των σταγονιδίων, δηλαδή στο βαθμό διασκορπισμού του καυσίμου, δείχνει και το σχήμα 7.2α, ενώ στο σχήμα 7.2β φαίνεται η επίδραση του ιξώδους στην πίεση του εκνεφωτή που απαιτείται για να επιτευχθεί ορισμένος βαθμός διασκορπισμού. Και τα δύο διαγράμματα αφορούν καυστήρες ΜΕΚ.

Για τους παραπάνω λόγους οι προδιαγραφές του μαζούτ καθορίζουν ανώτατο όριο ιξώδους, που συνήθως δεν υπερβαίνει τις  $6000 \text{ RI}$  σε  $100^{\circ}\text{F}$  (παράγρ. 7.3).



Σχ. 7.2α.

Επίδραση του ιξώδους στο βαθμό διασκορπισμού του καυσίμου.



**Σχ. 7.2B.**  
Σχέση του ιξώδους και της πιέσεως εκνεφωτή.

Αν η τιμή ιξώδους του καυσίμου είναι τόσο υψηλή, ώστε να προκαλεί δυσχέρειες εκνεφώσεως και επομένως κακή καύση, τότε επιβάλλεται προθέρμανση του καυσίμου, που μειώνει την τιμή του ιξώδους στα επιθυμητά όρια.

Αντίθετα, πολύ χαμηλό ιξώδες πιθανόν να προκαλέσει επιστροφή της φλόγας και ακανόνιστη καύση, που μπορεί να φθάσει ως την έμφραξη του εκνεφωτή. Παρόλα αυτά κατώτατο όριο ιξώδους οι προδιαγραφές του μαζούτ δεν καθορίζουν.

### 7.2.2 Θείο (Θιάφι).

Για το πετρέλαιο λεβήτων οι απαιτήσεις ως προς την περιεκτικότητα σε θείο είναι πολύ πιο ελαστικές από όλα τα άλλα καύσιμα, γιατί οι βλάβες που μπορούν να προκαλέσουν τα προϊόντα καύσεως του θείου στην εστία του λέβητα και σ' όλη τη διαδρομή των καυσαερίων ως την εξαγωγή τους (καπνοδόχος), όταν εφαρμοσθούν ορισμένα μέτρα δεν είναι σημαντικές. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις είναι δεκτό μαζούτ με περιεκτικότητα σε θείο μέχρι 5%.

### 7.2.3 Βαθμός καθαρότητας.

Ελέγχεται συνήθως με φυγοκέντριση ορισμένης ποσότητας δείγματος και εκφράζεται, όπως και στο Diesel, ως **νερό και ξένες ύλες διά φυγοκεντρίσεως** (bottom sediment and water ή BSW) καθώς και με την περιεκτικότητα σε τέφρα. Η τιμή του BSW δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5%.

Με άλλη μέθοδο (απόσταξη με ξυλόλη σε ειδική συσκευή) μπορεί να προσδιορισθεί η περιεκτικότητα σε νερό, που δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1%. Υπέρβαση του ορίου BSW και περιεκτικότητας νερού μπορεί να έχει τις εξής συνέπειες:

- α) Μείωση της θερμογόνου δυνάμεως του πετρελαίου.
- β) Έμφραξη των διασκορπιστήρων και/ή των φίλτρων.
- γ) Ανωμαλίες στην καύση, που μπορεί να φθάσει ως το σβύσιμο των καυστήρων.
- δ) Διαβρωτικά φαινόμενα στους καυστήρες, ιδίως όταν το νερό περιέχει διαλυμένα άλατα.

#### **7.2.4 Σταθερότητα.**

Το μαζούτ είναι μίγμα πολλών και ποικίλων συστατικών, κυρίως υδρογοναθράκων, και γι' αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζει ευπάθεια ως προς τη σταθερότητά του, που εκδηλώνεται με βαθμιαία συσσωμάτωση. Τα συσσωματώματα ως βαρύτερα συστατικά, καθώς αποχωρίζονται, κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής και σχηματίζουν ένα παχύρρευστο στρώμα με ασφαλτική υφή που δύσκολα αντλείται, αλλά και όταν αντληθεί μπορεί να προκαλέσει έμφραξη των φίλτρων ή των διασκορπιστήρων ή ανωμαλίες κατά την καύση. Η τάση αυτή αποχωρισμού των συσσωματωμάτων του μαζούτ επιτείνεται κατά την προθέρμανση, πράγμα που μπορεί να προκαλέσει σχηματισμό καταλοίπων στον προθερμαντήρα.

Η θερμική σταθερότητα του μαζούτ (*thermal stability*), ελέγχεται με ειδική εργαστηριακή συσκευή, γνωστή ως N.B.T.L. Heater. Στη συσκευή αυτή το εξεταζόμενο δείγμα μαζούτ διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία  $150^{\circ}\text{F}$ , που είναι η συνηθισμένη θερμοκρασία προθερμάνσεως του μαζούτ. Μ' αυτή τη θερμοκρασία κυκλοφορεί με ειδική αντλία επί 20 ώρες σε κλειστό κύκλωμα. Στο δοχείο της συσκευής που περιέχει το δείγμα τοποθετείται χαλύβδινη ράβδος, που έχει λειανθεί, και, στο τέλος των 20 ωρών, εξετάζεται ο βαθμός ρυπάνσεως, που προκαλείται από τις σχηματιζόμενες ασφαλτούχες αποθέσεις στην επιφάνεια της ράβδου. Μεγάλες αποθέσεις καταλοίπων προδίδουν έλλειψη θερμικής σταθερότητας και επιβάλλουν την απόρριψη του προϊόντος αυτού ως καύσιμο λεβήτων.

Με ανάλογο τρόπο ελέγχεται και η αναμιξιμότητα δυο ποσοτήτων του μαζούτ (*compatibility*). Συχνά μία δεξαμενή με μαζούτ χρειάζεται να συμπληρωθεί με μαζούτ άλλης προελεύσεως. Η ανάμιξη αυτή μπορεί να μειώσει τη θερμική σταθερότητα του καυσίμου σε βαθμό που να προκαλέσει έντονες συσσωματώσεις με τα γνωστά προβλήματα από την αποβολή ασφαλτικών αποθέσεων. Στην περίπτωση αυτή η δοκιμή της θερμικής σταθερότητας που περιγράφεται παραπάνω γίνεται σε δείγμα που αποτελείται από μίγμα των δύο καυσίμων στην αναλογία με την οποία θα περιέχονται στη δεξαμενή, στην οποία θα αναμιχθούν.

#### **7.3 Προδιαγραφές του μαζούτ.**

Το μαζούτ που προορίζεται για καύση σε εστίες λεβήτων χαρακτηρίζεται γενικά από ελαστικά όρια προδιαγραφών. Οι τιμές των κυριοτέρων χαρακτηριστικών παρέχονται ενδεικτικά στον πίνακα 7.3.1, για δύο περιπτώσεις:

- α) Για μαζούτ που χρησιμοποιούν ατροκίνητα πολεμικά πλοία με βάση την προδιαγραφή MIL – F – 859 (αμερικανική) (Navy Special Fuel oil).
- β) Για μαζούτ που χρησιμοποιείται σε ατροκίνητα πλοία του Εμπορικού Ναυτικού, όπου τα όρια τιμών είναι ευρύτερα.

Για το μαζούτ που προδορίζεται για Μ.Ε.Κ. γίνεται λόγος στο κεφάλαιο 8, που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.1**  
**Προδιαγραφές πετρελαίου λεβήτων**

α/α	Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	'Ορια τιμών	
		Εμπορικό ναυτικό	Πολεμικό ναυτικό
1.	Σημείο αναφλέξεως, σε °F	150-300	150 min
2.	Ειδικό βάρος	0,95-0,99	0,98 max
3.	Ιξώδες		
	α) Σε 122 °F, SSU	700-2500	225 max
	β) Σε 100°F, RI	1500-6000	360 max
4.	Τέφρα, %	0,05-0,1	0,1 max
5.	Νερό και ξένες ύλες (BSW)	0,2-1	0,5 max
6.	Εξανθράκωμα, %	10-15	15 max
7.	Θερμική σταθερότητα	—	ικανοπ.
8.	Θείο %	1-5	3,5 max

Στον πίνακα 7.3.2 αναγράφονται οι προδιαγραφές μαζούτ που ισχύουν από τον Ιούλιο του 1994 για την Ελλάδα, με υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 320/26-4-94).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.2**  
**Ελληνικές προδιαγραφές μαζούτ**

Κύρια χαρακτηριστικά	Μαζούτ χαμηλού θείου		Μαζούτ υψηλού θείου	
	No1	No3	No1	No3
1. Πυκνότητα, σε 15°C, kg/m³, μεγ.	970	980	991	995
2. Σημείο αναφλέξεως, °C, ελαχ.	66	66	66	66
3. Σημείο ροής, °C, μεγ.				
α) Χειμερινή περίοδος (1/10 ως 15/5)	10	—	10	30
β) Θερινή περίοδος (10/5 ως 30/9)	15	—	15	30
4. Ιξώδες, σε 50°C, cSt, ελαχ.	—	181	—	181
Ιξώδες, σε 50°C, cSt, μεγ.	180	380	180	380
5. Ανθρακούχο υπόλειμμα, %, μεγ.	15	15	15	17
6. Νερό, %, μεγ.	0,5	0,5	0,5	0,5
7. Τέφρα, %, μεγ.	0,10	0,10	0,10	0,15
8. Θείον, %, μεγ.	0,7	0,7	3,5	3,5
9. Βανάδιο, PPM., μεγ.	120	150	220	250
10. Νάτριο, PPM., μεγ.	100	100	100	150
11. Ολικό ίζημα, %, μεγ.	0,15	0,15	0,15	0,15

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΚΑΥΣΙΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

#### 8.1 Γενικά – Ιστορική αναδρομή.

Μέχρι τη δεκαετία 1950-1960 στην πρόωση πλοίων Ε.Ν. υπερτερούσε ο ατμοστρόβιλος σε σύγκριση με τη μηχανή Diesel, όπως φαίνεται από τον πίνακα 8.1.1. Έκτοτε η πρόωση με Diesel άρχισε να εκτοπίζει τον ατμοστρόβιλο, πράγμα που συνεχίζεται ως τις μέρες μας.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1.1

Σύγκριση αριθμών ατμοστρόβιλου - Diesel για την πρόωση πλοίων  
(έτη 1950 - 1980)

Έτος	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΟΙΩΝ		ΟΛΙΚΟ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ (10 <sup>6</sup> τον)	
	Ατμοστρόβιλος	Diesel	Ατμοστρόβιλος	Diesel
1950	20000	11500	60	12
1955	17000	16000	70	30
1960	15500	15500	75	50
1965	10000	30000	80	80
1970	8000	43000	90	125
1975	6000	55000	120	225
1980	5000	65000	140	250

Συγκρίνοντας τα πρωστήρια συστήματα πλοίων με ατμοστρόβιλο ή Diesel μπορούμε να αναφέρομε ως πλεονεκτήματα:

α) Για τον ατμοστρόβιλο:

- Απλούστερη και ευκολότερη συντήρηση.
- Μικρότερο αρχικό κόστος.

β) Για την Diesel:

- Καλύτερος βαθμός αποδόσεως.
- Καλύτερη σχέση βάρους-ισχύος.
- Μικρότερος δύκος της πρωστήριας εγκαταστάσεως.
- Άμεση ετοιμότητα λειτουργίας.

Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους ο ατμοστρόβιλος παρέμεινε για πολλά χρόνια το σπουδαιότερο πρωστήριο σύστημα των εμπορικών πλοίων ήταν και το γεγονός ότι χρησιμοποιούσε φθηνά καύσιμα (μαζούτ), ενώ η μηχανή Diesel

απαιτούσε καύσιμα υψηλής ποιότητας που επιβάρυναν σημαντικά το κόστος των θαλασσίων μεταφορών.

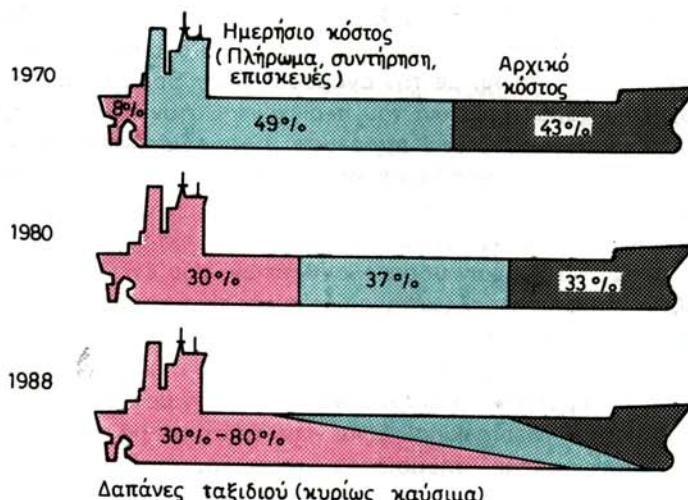
Από τις αρχές της δεκαετίας 1950-1960 άρχισε να δοκιμάζεται η λειτουργία των πετρελαιομηχανών με μαζούτ και γενικά με καύσιμα που ήταν μίγματα μαζούτ και Γκαζόλ, των οπίων το κόστος ήταν πολύ χαμηλότερο από το κόστος του ως τότε χρησιμοποιούμενου πετρελαίου Diesel. Οι δοκιμές ήταν ενθαρρυντικές, γιατί οι ποιοτικές απαιτήσεις σε καύσιμο για τις βαριές και αργόστροφες μηχανές του E.N. μπορούσαν να ικανοποιηθούν και με τα υπολείμματα αποστάξεως, δηλαδή με μαζούτ, που έγινε το κύριο καύσιμο για τις ναυτικές πετρελαιομηχανές. Υπάρχουν εντούτοις περιπτώσεις που το μαζούτ δεν μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στις απαιτήσεις καύσεως, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις χειρισμού του πλοίου μέσα στο λιμάνι, όπου απαιτείται γρήγορη προσαρμογή της καύσεως στο φορτίο της μηχανής, στις οποίες μόνο το Diesel μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά. Επίσης ορισμένοι τύποι μηχανών Diesel απαιτούν καύσιμο με ορισμένες προδιαγραφές τις οποίες καθορίζει ο κατασκευαστής. Έτσι σήμερα υπάρχει μία πολύ μεγάλη ποικιλία καυσίμων για ναυτικές πετρελαιομηχανές. Η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου ανάγεται κυρίως στην ευθύνη του αρχιμηχανικού της εταιρίας, στην οποία ανήκει το πλοίο και εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

α) Τύπος και χαρακτηριστικά της μηχανής.

β) Κατάσταση της μηχανής.

γ) Κόστος και διαθεσιμότητα καυσίμων.

Η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου, με στόχο τη μείωση του κόστους λειτουργίας ενός πλοίου, αποκτά ολοένα μεγαλύτερη σημασία, αν ληφθεί υπόψη ότι το κόστος των καυσίμων το 1980 εκάλυπτε ποσοστό μέχρι 30% των δαπανών της λειτουργίας του και προβλέπεται να φθάσει ως το 1990 το 80% (σχ. 8.1).



Σχ. 8.1.

## 8.2 Κατάταξη των καυσίμων για ναυτικές μηχανές.

Τα καύσιμα που προορίζονται για τις ναυτικές πετρελαιομηχανές κατατάσσονται κατ' αρχήν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- α) Στα αποστάγματα (distillates), δηλαδή τα κλάσματα του φυσικού πετρελαίου που αποστάζουν συνήθως υπό ατμοσφαιρική πίεση σε θερμοκρασίες 250-360°C. Σ' αυτά ανήκει και το πετρέλαιο Diesel (diesel oil ή Gasoil) που περιγράφεται στο κεφάλαιο 6. Είναι η καλύτερη ποιότητα καυσίμου για πετρελαιομηχανές, αλλά συγχρόνως και η ακριβότερη. Προορίζεται μόνο για ταχύστροφες πετρελαιομηχανές, μικρής σχετικά ιπποδυνάμεως, που απαιτούν υψηλό βαθμό καθαρότητας και καλή ποιότητα καύσεως (αριθμός κετανίου). Χρησιμοποιείται ακόμα για τις κοινές ναυτικές μηχανές σε ειδικές περιπτώσεις (παράγρ. 6.1. και 8.1)**
- β) Στα υπόλειμματα αποστάξεως (residual oils) που λαμβαίνονται από τη βάση του πύργου αποστάξεως, γιατί η απόσταξη δεν μπορεί να προχωρήσει πέρα από τους 360°C υπό ατμοσφαιρική πίεση. Διατίθενται στη διεθνή αγορά καυσίμων για την Εμπορική Ναυτιλία (bunkering) στους σταθμούς ανεφοδιασμού πλοίων σε πολύ μεγάλη ποικιλία. Εκτός από καύσιμα λεβήτων, είναι τα κατ' εξοχή καύσιμα των ναυτικών πετρελαιομηχανών λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους σε σχέση με το Diesel (30%-50% φθηνότερα). Για να χρησιμοποιηθούν δύμας σε Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως απαιτούν διάφορες επεξεργασίες, που εξετάζονται στην παράγραφο 8.3. Στο εμπόριο κυκλοφορούν με το όνομα Heavy Fuel (βαρύ πετρέλαιο). Η κατάταξη σε διάφορες κατηγορίες γίνεται με βάση την τιμή του ιξώδους (παράγρ. 8.4).**
- Εκτός από τις δύο παραπάνω αμιγείς κατηγορίες πετρελαίου για ΜΕΚ συναντώνται και άλλες περιπτώσεις, μεταξύ των οποίων κυριότερες είναι:**
  - α) Μίγμα μαζούτ με Diesel.** Η προσθήκη Diesel αποβλέπει κυρίως στη μείωση του ιξώδους και γενικότερα στη βελτίωση της ποιότητας του μαζούτ. Τέτοιο καύσιμο είναι το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται στα στροβιλοκίνητα πλοία του πολεμικού ναυτικού, με την ονομασία Navy Special fuel oil. Τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του περιέχονται στον πίνακα 7.3.1.
  - β) Πετρέλαιο προερχόμενο από πυρόλιση ή πυροδιάσπαση,** δηλαδή από τη θερμική εκείνη κατεργασία με την οποία το πετρέλαιο μετατρέπεται σε ελαφρότερα κλάσματα, μεταξύ των οποίων είναι και η βενζίνη (παράγρ. 4.7). Με την κατεργασία αυτή, σε ορισμένες περιπτώσεις, εκτός από βενζίνη παράγεται και ένα μίγμα βαρέων υδρογονανθράκων, που έχει τα χαρακτηριστικά του μαζούτ. Τα καύσιμα της κατηγορίας αυτής είναι κατώτερης ποιότητας και μόνο ύστερα από προσεκτική επιλογή, επεξεργασία ή ανάμιξη με άλλα καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές Diesel.
  - γ) Πετρέλαιο προερχόμενο από ιξωδόλιση,** δηλαδή μείωση του ιξώδους βαρέων κλασμάτων (visbreaking). Είναι γνωστό ότι η τιμή ιξώδους του πετρελαίου έχει αποφασιστική σημασία για την απόδοσή του σε μία πετρελαιομηχανή (παράγρ. 6.6.1). Από μία ορισμένη τιμή ιξώδους και πάνω η χρήση του πετρελαίου σε μηχανές Diesel είναι προβληματική. Έχει για το λόγο αυτό εφαρμοσθεί η ιξωδόλιση (visbreaking) που εξετάζεται στην παράγραφο 8.9.

### **8.3 Ποιοτική κατάταξη.**

Τα καύσιμα που σήμερα χρησιμοποιεί σε παγκόσμια κλίμακα η Εμπορική Ναυτιλία ανέρχονται σε 160 εκατομμύρια τόνους το χρόνο. Η ποιότητα των καυσίμων αυτών καλύπτει ένα ευρύτατο φάσμα ποιότητας, από το καθαρό Diesel που διακινείται στη διεθνή αγορά σαν Marine Diesel Oil (MDO) ή Gasoil, ως τα βαρέα καύσιμα από το χώρο υπολειμμάτων αποστάξεως (μαζούτ). Η κατάταξη των καυσίμων αυτών, πλην του Diesel, γίνεται ως τώρα με βάση την τιμή του ιξώδους.

Συγκεκριμένα, στη Διεθνή Αγορά καυσίμων διακινούνται οι εξής κατηγορίες ποιότητες πετρελαίου.

- α) Gasoil ή Marine Diesel Oil (MDO) που είναι απόσταγμα και αντιστοιχεί στο πετρέλαιο Diesel που περιγράφεται στο κεφάλαιο 6.
- β) Το μέσο υπόλειμμα αποστάξεως (Intermediate Fuel) με ιξώδες 1000 - 3000 RI, γνωστό ως Bunker B ή ASTM No 5.
- γ) Βαρύ καύσιμο (Heavy Fuel) με ιξώδες 3000-6000 RI, που διακινείται ως Bunker C ή ASTM No 6.

Μ' αυτό τον τρόπο δύμας αγνοούνται άλλα βασικά χαρακτηριστικά των καυσίμων, όπως η περιεκτικότητα ξένων προσμίξεων ή συστατικών κ.α. Έτσι η επιλογή των καυσίμων βασίζεται στην αξιοπιστία των εταιριών από τις οποίες οι ναυτιλιακές εταιρίες προμηθεύονται τα καύσιμα των πλοίων τους ή στις ευκολίες ή άλλες παροχές που εξασφαλίζουν με τα συμβόλαια προμήθειας καυσίμων. Οι διάφορες εταιρίες καυσίμων παράγουν και προμηθεύουν πετρέλαιο με βάση δικές τους προδιαγραφές και μόνο ο ανταγωνισμός μεταξύ τους εξασφαλίζει την ποιότητα στην περιοχή των βαρέων καυσίμων.

Έτσι πρόκειψε η ανάγκη ποιοτικής κατατάξεως των καυσίμων για τις ναυτικές πετρελαιομηχανές με βάση διεθνείς προδιαγραφές που έχουν εκπονηθεί με τη συνεργασία διεθνούς κύρους οργανισμών, όπως:

- α) Ο I.S.O. (International Standard Organisation)
- β) Ο C.I.M.A.C. (International council on combustion engines)
- γ) Το B.S.I. (British Standards Institute)

και που προβλέπεται να υιοθετηθούν σε διεθνές επίπεδο.

Οι προδιαγραφές αυτές επιδιώκουν να συνδυάσουν δύο παράγοντες, που εκ πρώτης όψεως είναι διαμετρικά αντίθετες: χαμηλό κόστος και υψηλή ποιότητα. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής, δύμας, αφορά σε τρεις άμεσα ενδιαφερομένους φορείς, με διαφορετικά και συχνά αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα:

- α) Τους εφοπλιστές.
- β) Τα διυλιστήρια.
- γ) Τους κατασκευαστές ναυτικών μηχανών.

Γι' αυτό το λόγο η επίτευξη συμφωνίας καθυστερεί.

Τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά για τις διάφορες κατηγορίες ναυτικών πετρελαιομηχανών που περιλαμβάνονται στις διεθνείς αυτές προδιαγραφές περιέχονται στον πίνακα 8.3.1. Οι κατηγορίες MA και MB αντιστοιχούν σε πετρέλαιο Diesel (Gasoil), η MC είναι μίγμα Diesel και μαζούτ ανάλογο προς το Navy special (παράγρ. 8.2), ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες αντιστοιχούν σε μαζούτ.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3.1**  
**Προδιαγραφές πετρελαιού κάυσεως ναυτικών μηχανών**  
**(Marine fuel oil)**

Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Κατηγορία καυσίμου									
	Αποστάγματα (Distillates)		Μίγμα αποσταγμάτων- υπολείμματος		Υπολείμματα αποστάξεως (μαζούτ)					
MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	
Ειδικό βάρος σε 15°C (max) Ιξώδεις σε 40°C, cSt Ιξώδεις σε 80°C, cSt(max)	1,5-5,5 — —	0,90 — —	0,92 — —	0,99 14 (max) 15	0,99 — 25	0,99 — 45	0,99 — 75	0,99 — 100	0,99 — 130	0,99 — 130
Ιξώδεις σε 100°F, RI (max) Σημείο αναφλέξεως, °C (min)	43 —	60 —	60 —	300 60	1500 60	3500 60	3500 60	5700 60	8000 60	8000 60
Σημείο ροής, °C (max) α) Από 1/12 έως 30/3 β) Από 1/4 έως 30/11	— —	0 6	0 6	24 24	30 30	30 30	30 30	30 30	30 30	30 30
Εξανθρακωματ. % (max) Θεράψι, % (max)	— 1	— 2	— 2	12 3,5	14 4	20 5	22 5	22 5	22 5	22 5
Τέφρα, % (max) Νερό, % (max)	0,01 0,05	0,01 0,25	0,05 0,30	0,10 0,50	0,10 0,80	0,15 1	0,20 1	0,20 1	0,20 1	0,20 1
Αριθμός κετανίου (min) Βανάδιο, mg/kg (max)	45 —	35 —	— 100	— 250	— 350	— 500	— 600	— 600	— 600	— 600
Αλουμίνιο, mg/kg (max)	—	—	— —	30 30	30 30	30 30	30 30	30 30	30 30	— —

## 8.4 Σημασία των προδιαγραφών.

Οι τιμές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών για τις διάφορες κατηγορίες καυσίμων, που καθορίζει ο πίνακας προδιαγραφών 8.3.1, υπαγορεύονται από τη σημασία που έχουν τα χαρακτηριστικά αυτά για την ποιότητα των καυσίμων.

**Ειδικότερα:**

**1) Ειδικό βάρος.** Η οριακή τιμή 0,99 υπαγορεύεται από τη δυνατότητα αποχωρισμού του νερού που περιέχεται στο πετρέλαιο με τους διάφορους φυγοκεντρικούς καθαριστές. Για καύσιμα με ειδικό βάρος πάνω από 0,99 η απομάκρυνση του νερού με φυγοκέντριση δεν είναι δυνατή. Για την κατηγορία MJ δεν καθορίζεται οριακή τιμή ειδικού βάρους, γιατί το καύσιμο αυτό προορίζεται για εφαρμογές που δεν απαιτούν φυγοκεντρικό καθαρισμό. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί καύσιμο με ειδικό βάρος και πάνω από 1.

**2) Ιξώδες.** Η τιμή του έχει ιδιαίτερη σημασία για τον καθορισμό της θερμοκρασίας προθερμάνσεως, που εξασφαλίζει τον επιθυμητό βαθμό ψεκασμού, ώστε η καύση από την άποψη αυτή να μην παρουσιάζει προβλήματα. Η θερμοκρασία προθερμάνσεως βρίσκεται από διαγράμματα ξένους θερμοκρασίας, για τα οποία γίνεται λόγος στην παράγραφο 8.5.2. Η θερμοκρασία προθερμάνσεως καθορίζεται ώστε το μαζούτ να έχει ιξώδες 15-25 cSt για καυστήρες λεβήτων και 5-15 cSt για καυστήρες Diesel.

**3) Σημείο ροής.** Κάτω από τα όρια θερμοκρασιών, που προδιαγράφονται για κάθε κατηγορία καυσίμων, δυσχεράνεται η ροή του καυσίμου λόγω της στερεοποιήσεως των παραφινικών συστατικών που περιέχει το πετρέλαιο. Οι απαιτήσεις είναι αυστηρότερες για τους χειμερινούς μήνες (1 Δεκεμβρίου - 30 Μαρτίου) για να αντιμετωπίζονται οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν την εποχή αυτή στο Βόρειο ημισφαίριο.

**4) Τέφρα.** Οφείλεται στα ανόργανα συστατικά του πετρελαίου, τα οποία υπάρχουν από την αρχή στο φυσικό πετρέλαιο και παραμένουν στο υπόλειμμα αποστάξεως (μαζούτ) ή εισέρχονται στο καύσιμο κατά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας και μεταφοράς. Συνήθως αποτελούνται από βανάδιο, νικέλιο, πυρίτιο, αλουμίνιο, σίδηρο, νάτριο κλπ. Για μερικά από αυτά (βανάδιο, αλουμίνιο) καθορίζονται επί μέρους ανώτατα όρια.

**5) Αριθμός κετανίου.** Έχει ιδιαίτερη σημασία μόνο για τις κατηγορίες MA και MB, δηλαδή για το πετρέλαιο Diesel που προορίζεται για ταχύστροφες πετρελαιομηχανές, στις οποίες ο αριθμός κετανίου καθορίζει την ποιότητα καύσεως (παράγρ. 6.2). Οι άλλες κατηγορίες (MC – MJ) προορίζονται για αργόστροφες μηχανές, στις οποίες οι απαιτήσεις για **κετάνια** είναι γενικά πολύ χαμηλές (CN = 20) και καλύπτονται άνετα από τα καύσιμα αυτά.

**6) Βανάδιο – Αλουμίνιο.** Ο καθορισμός ανωτάτων ορίων έχει σκοπό να προστατεύσει τη μηχανή από τις επιβλαβείς επιδράσεις των μετάλλων αυτών πράγμα που σχολιάζεται εκτενέστερα στην παράγραφο 8.5.4.

## 8.5 Η χρήση του μαζούτ στις μηχανές Diesel.

Τα 80% περίπου του καυσίμου που χρησιμοποιείται σήμερα για τις ναυτικές πετρελαιομηχανές προέρχεται από υπολείμματα αποστάξεως, δηλαδή από μαζούτ

που διακινείται με το γενικό τύπο Marine fuel Oils. Ο λόγος είναι φυσικά το χαμηλό κόστος των καυσίμων αυτών σε σχέση με το πετρέλαιο Diesel, που σαν απόσταγμα είναι κατά 50% περίπου ακριβότερο.

Η μετάπτωση από Diesel σε μαζούτ συνοδεύεται από πολλά προβλήματα λειτουργίας των πετρελαιομηχανών που έπρεπε να αντιμετωπισθούν τόσο από τους κατασκευαστές των μηχανών όσο και από τους πλοιοκτήτες. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται στη χαμηλή ποιότητα του μαζούτ σε σύγκριση με το Diesel, σε όλη την έκταση των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών, όπως φαίνεται από τον πίνακα 8.3.1 και αντιμετωπίζονται με δύο τρόπους:

**α) Κατασκευαστικοί τρόποι:** Οι σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές είναι γενικά αργόστροφες και με μεγάλη ιπποδύναμη, εξοπλισμένες με σύστημα έντονου καθαρισμού και επεξεργασίας των καυσίμων, ώστε οι δυσμενείς επιδράσεις από τη χαμηλή ποιότητα των καυσίμων να περιορίζονται στο ελάχιστο.

**β) Λειτουργικοί τρόποι:** Περιλαμβάνουν σειρά μέτρων που εκμηδενίζουν τα προβλήματα από την ποιότητα του καυσίμου, τα σημαντικότερα από τα οποία περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

### 8.5.1 Καθαρότητα.

Ξένες ύλες, πέρα από ορισμένο όριο, μετατρέπονται κατά την καύση σε αποθέσεις, που ρυπαίνουν κρίσιμα μέρη της μηχανής, όπως τις βαλβίδες, τα χιτώνια, το έμβολο και τα ελατήρια, με συνέπεια τη γρήγορη φθορά τους. Επιβάλλεται λοιπόν προσεκτικός καθαρισμός του καυσίμου, προτού οδηγηθεί στη μηχανή. Αυτός επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

**α) Φυγοκεντρικά καθαριστήρια που διακρίνονται σε:**

**1) Καθαριστές** (purifiers) που συγκρατούν το νερό και τα μεγαλύτερα ξένα σωματίδια.

**2) Διαυγαστές** (clarifiers) που αφαιρούν τα μικροτέρων διαστάσεων ξένα σωματίδια, και κυρίως ασφαλτικά συσσωματώματα του πετρελαίου.

Τα φυγοκεντρικά καθαριστήρια λειτουργούν συνεχώς και αυτοκαθαρίζονται ώστε να απαιτούν μικρή επιβλεψη και ελάχιστο προσωπικό.

**β) Φίλτρα,** που συμπληρώνουν τον καθαρισμό συγκρατώντας λεπτότατα σωματίδια που διαφεύγουν από το φυγοκεντρικό καθαρισμό.

Το δίκτυο του καυσίμου περιγράφεται λεπτομερέστατα στην παράγραφο 8.7.

### 8.5.2 Ιξώδες.

Το ιξώδες του μαζούτ είναι γενικά πολύ υψηλό, επομένως για να χρησιμοποιηθεί σε πετρελαιομηχανές πρέπει η τιμή του να ελαττωθεί, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητικός ψεκασμός, που αποτελεί, όπως γνωρίζομε, βασική προϋπόθεση για καλή καύση. Η μείωση του ιξώδους επιτυγχάνεται με προθέρμανση σε θερμοκρασία μεταξύ 60° και 110°C, που εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και από το σύστημα εγχύσεως. Για τον ακριβέστερο καθορισμό της θερμοκρασίας προθερμάνσεως χρησιμοποιούνται πίνακες ή διαγράμματα που δίνουν τις σχέσεις ιξώδους-θερμοκρασίας για τα διάφορα είδη καυσίμων, και επιτρέπουν έτσι τον καθορισμό της θερμοκρασίας στην οποία το κάθε καύσιμο αποκτά το επιθυμητό ιξώδες.

Οι τιμές του ιξώδους που πρέπει να εξασφαλίζονται με την κατάλληλη προθέρμανση είναι:

- Για τις μηχανές Diesel: 5-15 cSt (40-60 RI) σε 40°C (100°F)
- Για καυστήρες λεβήτων: 15-28 cSt (60-120 RI) σε 40°C (100°F)

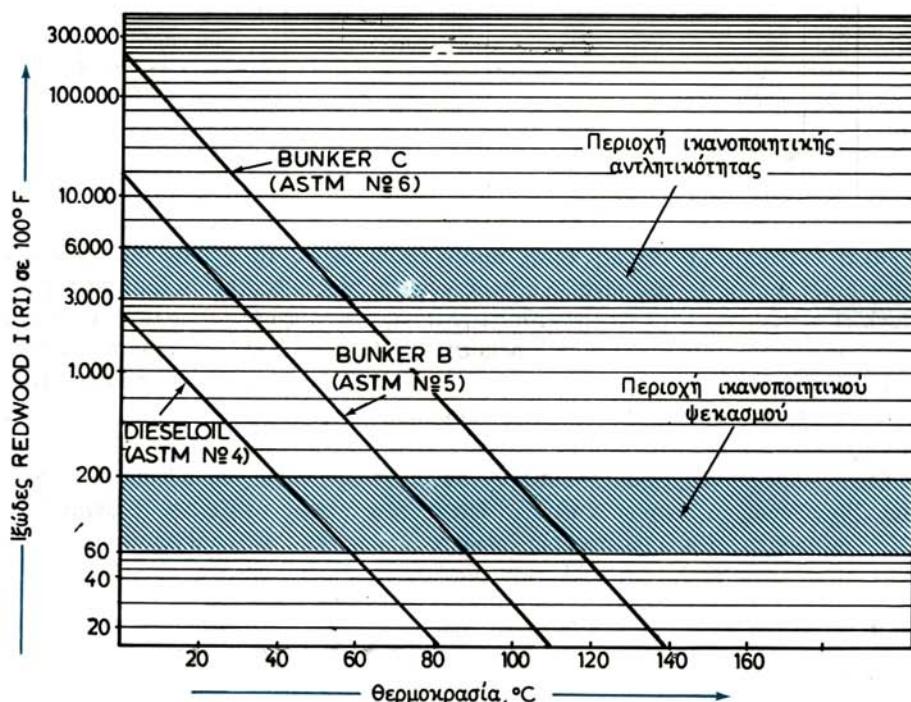
Οι παραπάνω τιμές ιξώδους εξασφαλίζουν κατάλληλες συνθήκες ικανοποιητικού ψεκασμού του πετρελαίου, που επιδρά σημαντικά στην ποσότητα καύσεως.

Για την αντλητικότητα, δηλαδή τη διακίνηση του καυσίμου στο δίκτυο, η προθέρμανση πρέπει να εξασφαλίζει τιμές ιξώδους 3000-4000 RI σε 40°C (100°F) που αντιστοιχεί σε 740-987 cSt αντίστοιχα.

Οι παραπάνω περιοχές ιξώδους και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες στις οποίες επιτυγχάνονται, φαίνονται καθαρά σε διαγράμματα όπως του σχήματος 8.5.

- Περιοχή ικανοποιητικού ψεκασμού, που αντιστοιχεί σε ιξώδες 60-120 RI για ατμολέβητες και 40-60 RI για μηχανές Diesel.
- Περιοχή ικανοποιητικής αντλητικότητας, που αντιστοιχεί σε ιξώδες 3000-4000 RI (740-985 cSt).

Έξω από τα όρια αυτά των τιμών ιξώδους θα υπάρχουν αντίστοιχα προβλήματα ψεκασμού ή αντλητικότητας. Πρέπει να τονισθεί ότι προθέρμανση πάνω από τα όρια αυτά προκαλεί τα εξής ανεπιθύμητα αποτελέσματα:



**Σχ. 8.5.**  
Διάνυραμμα ιξώδους θερμοκρασίας πετρελαίου.

- a) Ατμόφραξη των αντλιών από τη δημιουργία ατμών λόγω θερμάνσεως του καυσίμου.
- β) Πυροδιάσπαση του πετρελαίου, που προκαλεί αύξηση των εξανθρακωμάτων, ιδίως στα βαριά καύσιμα.

Αν η προθέρμανση στα όρια που επιτρέπονται δεν μειώνει το ιξώδες στα επιθυμτά όρια, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν χημικά πρόσθετα που περιορίζουν τα εξανθρακώματα, μειώνουν τη θερμοκρασία των καυσαερίων και εξασφαλίζουν καλύτερη λίπανση για την αποφυγή του κολλήματος των ελατηρίων.

**Παράδειγμα:** Για το καύσιμο ASTM No 5 (Bunker B) η προθέρμανση, βάσει του διαγράμματος 8.5 πρέπει να γίνει ως εξής:

- α) Για ικανοποιητική αντλητικότητα μεταξύ 20°C και 30°C.
- β) Για ικανοποιητικό ψεκασμό μεταξύ 70°C και 90°C.

Μεταφέροντας τα στοιχεία του διαγράμματος σε πίνακα έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα ως προς τις θερμοκρασίες προθερμάνσεως:

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5.1 Θερμοκρασίες προθερμάνσεως καυσίμων πετρελαιομηχανών**

α/α	Είδος καυσίμου	Θερμοκρασία προθερμάνσεως	
		Για ικανοποιητική αντλητικότητα	Για ικανοποιητικό ψεκασμό
1	Diesel oil (ASTM No 4)	Δεν απαιτείται	40- 60°C
2	Bunker B (ASTM No 5)	20-30°C	70- 90°C
3	Bunker C (ASTM No 6)	50-60°C	100-120°C

Για τη διατήρηση σταθερής τιμής ιξώδους τοποθετούνται στο δίκτυο του καυσίμου ειδικές διατάξεις που είναι διεθνώς γνωστές ως viscorators (ρυθμιστές ιξώδους). Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αρχή ότι το ιξώδες βρίσκεται σε άμεση σχέση με την πίεση του καυσίμου. Μείωση του ιξώδους λόγω θερμάνσεως προκαλεί αντίστοιχη μείωση της πιέσεως, που επενεργεί αυτόματα στην παροχή ατμού στον προθερμαντήρα, ώστε τελικά η θερμοκρασία να τηρείται στα όρια που εξασφαλίζουν το επιθυμητό ιξώδες.

Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές Diesel βαριά καύσιμα (Heavy Fuel Oils), όπως το Bunker C (ASTM No 6) του οποίου το ιξώδες Redwood I σε 100°F φθάνει τις 6000 (κατηγορία MH στον πίνακα 8.3.1) ή και βαρύτερα ακόμα, όπως οι κατηγορίες MI και MJ, των οποίων το ιξώδες φθάνει τις 8000 RI.

#### **8.5.3 Ποιότητα καύσεως (αριθμός κετανίου).**

Το βαρύ πετρέλαιο που προέρχεται κυρίως από υπόλειμμα αποστάξεως (μαζούτ) έχει πολύ χαμηλό αριθμό κετανίου (20-30), επομένως εκτός των άλλων είναι ακατάλληλο για ταχύστροφες πετρελαιομηχανές που απαιτούν αριθμό κετανίου πάνω από 40. Το βαρύ καύσιμο είναι κατάλληλο μόνο για αργόστροφες πετρελαιομηχανές, όπως είναι κατ' εξοχή οι πρωστήριες μηχανές των πλοίων, όπου οι απαιτήσεις σε **κετάνια** είναι περιορισμένες.

Αυτό εξηγείται εύκολα από τη σημασία που έχει ο αριθμός κετανίου για την ποιότητα καύσεως του πετρελαίου, που προορίζεται για τις ΜΕΚ, και ειδικότερα για την καθυστέρηση αναφλέζεως με την οποία συνδέεται (παράγρ. 6.2). Όσο αυξάνει η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής, τόσο ο χρόνος που το πετρέλαιο έχει στη διάθεσή του για την καύση είναι μικρότερος. Σε πετρελαιομηχανές με 500 στροφές το λεπτό ο διαθέσιμος χρόνος για την καύση είναι το  $\frac{1}{6}$  του χρόνου που διατίθεται σε μηχανές με 100 στροφές το λεπτό. Είναι επομένως αμφίβολο αν το πετρέλαιο που καίεται ικανοποιητικά στην αργόστροφη μηχανή των 100 rpm και που μπορεί να είναι μαζούτ, θα μπορεί να καίεται το ίδιο ικανοποιητικά στην ταχύστροφη μηχανή των 500 rpm. Βέβαιο είναι, ότι είναι εντελώς ακατάλληλο για μηχανές με ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής, όπου απαιτούνται καύσιμα με μικρότερη καθυστέρηση αναφλέζεως, δηλαδή με περισσότερα **κετάνια**.

Πάντως και στις αργόστροφες μηχανές, όταν εργάζονται με χαμηλό φορτίο, τα βαριά καύσιμα με τα λίγα **κετάνια** δημιουργούν προβλήματα, που οφείλονται στον ανεπαρκή χρόνο για την ανάφλεξη, ιδίως κατά την εκκίνηση της μηχανής. Μια λύση για τα προβλήματα αυτά είναι η προθέρμανση του αέρα σε θερμοκρασία γύρω στους  $70^{\circ}\text{C}$ .

#### **8.5.4 Μεταλλικές προσμίξεις.**

Προέρχονται από τρεις πηγές:

- Από το γαιώδες περιβάλλον των πετρελαιοπηγών από τις οποίες αντλείται το φυσικό πετρέλαιο (βανάδιο, νάτριο και άλλα μέταλλα).
- Από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του πετρελαίου και κυρίως από τους καταλύτες που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες φάσεις της επεξεργασίας (αλουμίνιο, πυρίτιο).
- Από τη διακίνησή του πετρελαίου (σίδηρος, πυρίτιο).

Η παρουσία των προσμίξεων αυτών στο καύσιμο των πετρελαιομηχανών είναι εξαιρετικά επιβλαβής, όταν η περιεκτικότητά τους υπερβαίνει ορισμένα όρια, που καθορίζουν οι αντίστοιχες προδιαγραφές (πίνακας 8.3.1).

Δρουν κατά δυο τρόπους:

- Προκαλούν διαβρώσεις στα μέρη της μηχανής στα οποία αποτίθενται.
- Προκαλούν μηχανικές φθορές λόγω τριβών.

Οι σπουδαιότερες από τις μεταλλικές προσμίξεις και η σημασία τους εξετάζονται συνοπτικά παρακάτω:

##### **a) Βανάδιο και νάτριο.**

Το βανάδιο και το νάτριο είναι μέταλλα που προέρχονται από το φυσικό πετρέλαιο και φυσικά παραμένουν στα βαριά καύσιμα, που όπως γνωρίζουμε είναι υπολείμματα αποστάξεως, ενώ σχεδόν απουσιάζουν από όλα τα αποστάγματα, όπως είναι και το πετρέλαιο Dieseli, ή περιέχονται σε ανεκτές αναλογίες.

Ο συνδυασμός των δύο αυτών μετάλλων αποτελεί μία χημική ένωση, που λέγεται **βαναδικό νάτριο**, με έντονη διαβρωτική επίδραση, ιδίως στις βαλβίδες εξαγωγής, όπου αποτίθεται, τις οποίες βαθμιαία καταστρέφουν. Σ' αυτό συμβάλλει κυρίως και το γεγονός ότι το βαναδικό νάτριο είναι σχετικά έυτηκτο (σημείο τήξεως  $550^{\circ}\text{C}$ ). Έτσι στη θερμοκρασία των καυσαερίων τήκεται και αποτίθεται στις θερμές μεταλλικές επιφάνειες και κυρίως στις έδρες των βαλβίδων με μορφή υαλώ-

δους επικαλύψεως, που προκαλεί τη διάβρωσή τους. Ακόμα, από τις υαλώδεις επικαλύψεις δεν είναι δυνατή η καλή εφαρμογή των βαλβίδων στις έδρες τους, οπότε η ψύξη τους είναι ανεπαρκής, πράγμα που επιταχύνει τη δημιουργία μεγαλυτέρων αποθέσεων και προκαλεί την ταχύτερη φθορά τους. Επίσης είναι δυνατόν με την πάροδο του χρόνου, μερικές από τις αποθέσεις να σπάζουν, αφήνοντας κενά, μέσα από τα οποία διέρχονται βίαια τα υψηλής πιέσεως θερμά καυσαέρια, δημιουργώντας σοβαρές αυλακώσεις πάνω στις βαλβίδες.

Το πρόβλημα που προκαλείται από το βανάδιο αντιμετωπίζεται με τους εξής τρόπους:

- 1) Σχεδιάζοντας την κατασκευή της μηχανής έτσι ώστε να εξασφαλίζεται θερμοκρασία των βαλβίδων εξαγωγής κάτω από τους  $550^{\circ}\text{C}$ , που είναι το σημείο τήξεως του βαναδικού νατρίου, οπότε η ένωση αυτή παρασύρεται σα σκόνη με τα καυσαέρια. Αυτό δύναται να επηρεάσει τη διαθέσιμη ισχύ της μηχανής, άρα και το βαθμό αποδόσεώς της.
- 2) Με ειδική επεξεργασία του πετρελαίου, εκχυλίζοντάς το επανειλημμένα με νερό που παρασύρει το μεγαλύτερο μέρος του νατρίου. Το βανάδιο που απομένει, μετά την καύση, μετατρέπεται σε πεντοξείδιο του βαναδίου ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) που έχει πολύ ψηλότερο σημείο τήξεως (πάνω από  $650^{\circ}\text{C}$ ), οπότε παρασύρεται και πάλι από τα καυσαέρια σα σκόνη χωρίς να επηρεάζει τις βαλβίδες.
- 3) Με τη χρήση χημικών προσθέτων που αυξάνουν το σημείο τήξεως της τέφρας και κυρίως του βαναδικού νατρίου, οπότε η ένωση αυτή και πάλι παρασύρεται με τα καυσαέρια αφήνοντας τις βαλβίδες άθικτες. Στη διεθνή αγορά κυκλοφορούν πολλά είδη τέτοιων χημικών ιδιοσκευασμάτων με ποικίλες εμπορικές ονομασίες. Πρόκειται για χημικές ενώσεις που αποτελούνται από βάριο, μαγνήσιο, αλουμίνιο, ασβέστιο, πυρίτιο κλπ. και που αντιδρούν κατά την καύση με το βανάδιο σχηματίζοντας δύστηκτες χημικές ενώσεις. Η αναλογία των χημικών αυτών προσθέτων καθορίζεται από την ποσότητα του βαναδίου που οφείλεται στο πετρέλαιο, και συνήθως κυμαίνεται από 10-50% της περιεκτικότητας σε βανάδιο, έτσι ώστε η επιβάρυνση του κόστους του καυσίμου λόγω των χημικών προσθέτων ανέρχεται σε 0,5-1% της αρχικής τιμής.

Τα περισσότερα από τα προϊόντα αυτά έχουν ως βάση ενώσεις του πυριτίου, που δεσμεύουν το βαναδικό νάτριο, σχηματίζοντας αδρανή προϊόντα που εύκολα απομακρύνονται με τα καυσαέρια.

### **β) Αργίλιο (αλουμίνιο) και πυρίτιο.**

Τα δυο αυτά στοιχεία περιέχονται στο πετρέλαιο σε αναλογία που μπορεί να φθάσει μέχρι 200 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) προερχόμενα από τους καταλύτες που προσθέτονται κατά την καταλυτική πυρόλυση ορισμένων πρώτων υλών και παραμένουν στα βαριά κυρίως καύσιμα ακόμη και μετά τα διάφορα στάδια παραγωγής και επεξεργασίας του. Μετά την καύση μετατρέπονται σε πυριτικό αργίλιο, μία χημική ένωση που επειδή έχει μεγάλη σκληρότητα προκαλεί μηχανικές φθορές στα χιτώνια της μηχανής αλλά και στο σύστημα εγχύσεως του καυσίμου. Από τις προδιαγραφές για βαριά καύσιμα (πίνακας 8.3.1) καθορίζονται ανώτατα επιτρεπτά όρια για τα στοιχεία αυτά και ειδικότερα για το αλουμίνιο, του οποίου η περιεκτικότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 ppm.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος των μηχανικών φθορών από τα κατάλοιπα καύσεως που περιέχουν αλουμίνιο και πυρίτιο υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

- Τοποθέτηση ηλεκτροστατικών φίλτρων που συγκρατούν τα παραπάνω στοιχεία.
- Εντονότερος καθαρισμός του καυσίμου με φίλτρα ή φυγοκεντρικούς καθαριστές.
- Καλύτερη λίπανση των κυλίνδρων με ενισχυμένα λιπαντέλαια.

#### **γ) Θείο (Θειάφι).**

Η περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων που προορίζονται για ναυτικές πετρελαιομηχανές, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 8.3.1 μπορεί να φθάσει μέχρι 5%. Αυτό προκαλεί την παρουσία αυξημένων ποσοτήτων οξειδίων του θείου στα καυσαέρια, που τελικά υπό ορισμένες συνθήκες μετατρέπεται σε θειικό οξύ, με έντονες διαβρωτικές επιδράσεις στα μέρη της μηχανής με τα οποία έρχονται σε επαφή τα καυσαέρια. Εκτός από τις διαβρώσεις παρατηρούνται και μηχανικές φθορές από το συνδυασμό των ενώσεων του θείου με τα ανθρακούχα κατάλοιπα. Ο συνδυασμός αυτός καταλήγει στο σχηματισμό εξαιρετικά σκληρών εναποθέσεων με έντονες αποξεστικές επιδράσεις στα χιτώνια και στα άλλα τριβόμενα μέρη της μηχανής. Μερικές φορές αυτές οι εναποθέσεις εντοπίζονται στην κορυφή του εμβόλου περιορίζοντας έτσι το χώρο του δύκου. Όταν αυξηθούν πάρα πολύ, θρυμματίζονται, προκαλώντας αποξέσεις στα χιτώνια και τα ελατήρια των εμβόλων ή ακόμα και κόλλημα των ελατηρίων των εμβόλων μέσα στα αυλάκια τους.

Για τον περιορισμό των ανεπιθύμητων αυτών επιδράσεων του θείου εφαρμόζονται τα εξής μέτρα:

- 1) Διατήρηση της θερμοκρασίας των χιτωνίων σε σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες,** ώστε ν' αποφεύγεται η συμπύκνωση των ατμών του θειικού οξέος. Σε ατμώδη κατάσταση το θειικό οξύ είναι σχεδόν ακίνδυνο. Αυτό επιτυγχάνεται διατηρώντας το νερό ψύξεως σε θερμοκρασία 60-70°C που είναι πάνω από το λεγόμενο **σημείο δρόσου** (dew point) του θειικού οξέος, δηλαδή τη θερμοκρασία συμπυκνώσεως των ατμών του. Οι θερμοκρασίες αυτές δεν πρέπει να εξασφαλίζονται περιορίζοντας τη ροή του νερού ψύξεως, πράγμα που είναι εξαιρετικά επικίνδυνο, αλλά με την κυκλοφορία όλης της ποσότητας του νερού και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σε υψηλά επίπεδα με την επανακυκλοφορία του ή με άλλους τρόπους. Σχεδόν όλες οι σύγχρονες πετρελαιομηχανές χρησιμοποιούν κλειστό σύστημα ψύξεως των χιτωνίων με γλυκό νερό, του οποίου η θερμοκρασία εύκολα μπορεί να ρυθμισθεί στα επιθυμητά επίπεδα. Ικανοποιητική θεωρείται αν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 10°C του νερού ψύξεως ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδό του. Έτσι μειώνεται επίσης ο κίνδυνος ρωγμών στα πώματα των κυλίνδρων και στα χιτώνια.
- 2) Υλικά κατασκευής.** Ορισμένα εξαρτημάτα και κυρίως τα χιτώνια κατασκεύάζονται από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση, όπως είναι τα κράματα χυτοσιδήρου που περιέχουν χρώμιο, βανάδιο, τιτάνιο κλπ. Η επιχρωμίωση των χιτωνίων, αλλά και του προσώπου των εμβόλων, εφαρμόζεται σήμερα σε ευρύτατη κλίμακα με άριστα αποτελέσματα. Το υψηλό κόστος κατασκευής αυτών

των μηχανών αντισταθμίζεται από τη μείωση των φθορών, που αυξάνει σημαντικά το χρονικό δριο της ανάγκης επισκευής αυτών των μηχανών ή ακόμα και της ζωής τους.

**3) Χρήση λιπαντελαίων ενισχυμένων με αλκαλικά πρόσθετα, που εξουδετερώνουν τα οξείδια του θείου που παράγονται κατά την καύση.**

Από τα παραπάνω γίνεται φανέρο διτί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από τη χρήση του μαζούτ για τη λειτουργία των ναυτικών πετρελαιομηχανών απαιτούνται πρόσθετες εγκαταστάσεις ή επεξεργασίες που αυξάνουν σημαντικά το κόστος της λειτουργίας τους. Παρόλα αυτά η διαφορά δαπάνης λειτουργίας μίας πετρελαιομηχανής με μαζούτ, σε σχέση με τη δαπάνη λειτουργίας με πετρέλαιο Diesel παραμένει πάντα υπέρ του μαζούτ, λόγω της σημαντικής διαφοράς τιμής των δύο αυτών καυσίμων. Έτσι εξηγείται γιατί η χρήση του μαζούτ στις ναυτικές πετρελαιομηχανές έχει σήμερα σχεδόν γενικευθεί.

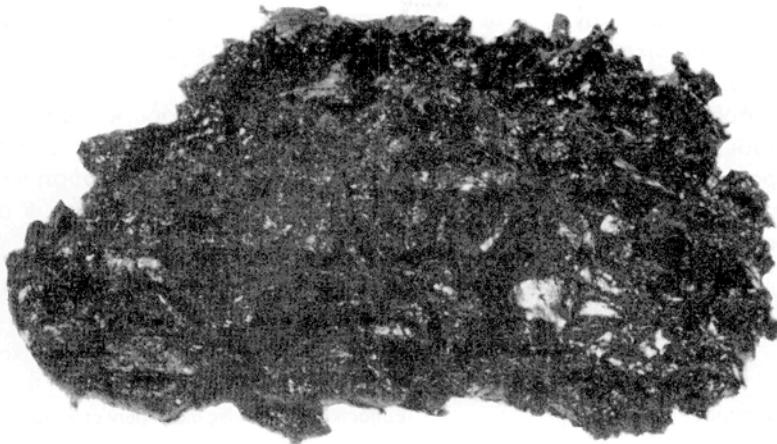
## 8.6 Βελτίωση της ποιότητας του πετρελαίου με χημικά πρόσθετα.

Η χαρηλή ποιότητα του μαζούτ που χρησιμοποιείται σαν κύριο καύσιμο στις σύγχρονες πετρελαιομηχανές μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση βελτιωτικών προσθέτων για την εξουδετέρωση δυσμενών επιδράσεων που θα μπορούσε το καύσιμο αυτό να έχει στη μηχανή. Τα σπουδαιότερα από τα πρόσθετα αυτά για τα οποία οι κατασκευαστές τους διατείνονται βελτίωση ιδιοτήτων είναι:

### 8.6.1 Διασκορπιστικά – Σταθεροποιητικά πρόσθετα.

Είναι οργανικές χημικές ουσίες που προστιθέμενες στο πετρέλαιο εμποδίζουν το σχηματισμό ανθρακούχων καταλοίπων ασφαλτικής βάσεως που εμφανίζονται στις δεξαμενές καυσίμων υπό μορφή ίλιος (λάσπης). Το φαινόμενο είναι γνωστό ως *sludge formation* (σχηματισμός λάσπης) και δημιουργεί προβλήματα κατά την άντληση και διακίνηση του πετρελαίου στο δίκτυό του, ακόμα δε και κατά την έγχυσή του στους καυστήρες, άρα και κατά την καύση του. Ο σχηματισμός των ασφαλτικών αυτών καταλοίπων γίνεται εντονότερος και τα προβλήματα οξύτερα κατά την προθέρμανση του καυσίμου ή κατά την ανάμιξη δύο ποσοτήτων πετρελαίου διαφορετικής προελεύσεως που επιτείνουν την αστάθεια, που προϋπάρχει στα καύσιμα αυτά, λόγω της συστάσεως τους. Το φαινόμενο αυτό σχηματισμού λάσπης είναι τόσο εντονότερο, όσο βαρύτερο είναι το καύσιμο. Επιτείνεται επίσης από την παρουσία παραφινικών συστατικών (wax) που αποβάλλονται σε χαρηλές θερμοκρασίες σχηματίζοντας συσσωματώματα σαν αυτά που εικονίζονται στο σχήμα 8.6.

Για την αντιμετώπιση δύον αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται χημικά πρόσθετα που διατίθενται στο εμπόριο των πετρελαιοειδών με το γενικό όνομα F.O.T. (Fuel Oil Treatment) και προστίθενται στις δεξαμενές του πετρελαίου σε αναλογία περίπου 1 μέρος στα 4000 μέρη καυσίμου (0,25%). Τα πρόσθετα αυτά εμποδίζουν το σχηματισμό ίλιος (λάσπης) ή διαλύουν υπάρχοντα ασφαλτικά κατάλοιπα στις δεξαμενές και τα δίκτυα του καυσίμου και γενικά συμβάλλουν στη διατίρηση της ομοιογένειας του καυσίμου, άρα και στην καλύτερη καύση του.



**Σχ. 8.6.**

Συσσωματώματα ασφαλτικών καταλοίπων πετρελαίου (Sludge μαζί με παραφίνη).

### **8.6.2 Απογαλακτωματοποιητικά πρόσθετα.**

Είναι χημικές ουσίες που προκαλούν διάσπαση των γαλακτωμάτων που το νερό σχηματίζει με μερικά από τα συστατικά του πετρελαίου. Το νερό παραμένει στο καύσιμο και μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις στο δίκτυο ή στη μηχανή και ειδικότερα στα προστόμια των καυστήρων. Με τα πρόσθετα της κατηγορίας αυτής τα γαλακτώματα διασπώνται και το νερό συγκεντρώνεται στον πυθμένα των δεξαμενών απ' όπου εύκολα και κατά καιρούς απομακρύνεται. Συνήθως τα πρόσθετα αυτά διατίθενται σε μίγμα με τα πρόσθετα της προηγούμενης κατηγορίας και φέρονται στο εμπόριο με την επωνυμία **dual purpose fuel treatment** (πρόσθετα πετρελαίου διπλής ενέργειας). Μερικά από τα γνωστότερα πρόσθετα της κατηγορίας αυτής αναφέρονται στον πίνακα 8.6.1.

### **8.6.3 Καταλύτες καύσεως (combustion catalysts).**

Είναι ουσίες που περιέχουν ενώσεις σιδήρου και άλλων μετάλλων, που όταν προστίθενται στο πετρέλαιο κάνουν την καύση πιο γρήγορη και πιο πλήρη, συνεπώς πιο αποδοτική. Η συνηθισμένη αναλογία τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέρος καταλύτη στα 8300 μέρη καυσίμου (περίπου 0,12%). Αυτό επιβαρύνει το κόστος του καυσίμου κατά ποσοστό 0,25-0,50%. Η επιβάρυνση αυτή υπερκαλύπτεται από την αύξηση της θερμικής αποδόσεως του καυσίμου, αλλά και από τη μείωση της φθοράς της μηχανής από προϊόντα ατελούς καύσεως που ελαττώνουν σημαντικά το κόστος συντηρήσεως.

Η δράση των καταλυτών καύσεως είναι τριπλή:

- α) Κατά την έγχυση του καυσίμου επέρχεται λεπτός διαμερισμός, διασπάται δηλαδή το καύσιμο σε μικρά σταγονίδια, χάρη στην τασιενεργό δράση του καταλύτη (επιφανειακή τάση), αυξάνοντας έτσι την επιφάνεια που εκτίθεται στην οξειδωτική δράση του αέρα και επιταχύνοντας την καύση.

- β) Ο διαμερισμός συνεχίζεται σε δεύτερη φάση ευθύς μετά την έναση με μία σειρά από μικρο-εκρήξεις που κατατεμαχίζουν το άκαυστο μέρος του πετρελαίου σε ακόμα μικρότερα σταγονίδια.
- γ) Τα δραστικά συστατικά του καταλύτη (ενώσεις σιδήρου κυρίως) που απελευθερώνονται στις προηγούμενες φάσεις, επιταχύνουν την ένωση του άνθρακα του καυσίμου με το οξυγόνο του αέρα κάνοντας την κάυση πλήρη και αποδοτική. Μερικά είδη καταλυτών καύσεως γνωστών εταιριών αναγράφονται στον πίνακα 8.6.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6.1**  
**Βελτιωτικά πρόσθετα πετρελαίου**

Είδος προσθέτων	Εμπορικές ονομασίες διαφόρων εταιριών				
	Magnus-Maritec	Drew	Gamlen	Perolin	Rochem
1. Διασκορπιστικά-σταθεροποιητικά (Fuel Oil Treatment)	F.O.T	F.O.T.-W	Gamlenol F.O.T.	622-DE	—
2. Απογαλακτ.-διασκορπιστικά (Dual purpose fuel treatment)	Dual Purpose F.O.T.	Mark II	D.P. 231	677-ND	Dual Purpose-plus
3. Καταλύτες καύσεως (Combustion Catalysts)	Combustion Catalyst	Mark IV	Gamlenol NS	655-SN	—
4. Τροποποιητές τέφρας (Ash Modifiers)	Vanen	Micro-Mag	Vasconol	687-SD	Vansulite

#### **8.6.4 Βελτιωτικά αριθμού κετανίου.**

Είναι χημικές ενώσεις που ελαττώνουν την καθυστέρηση αναφλέξεως του πετρελαίου, κάτω από τις συνθήκες που επικρατούν στο θάλαμο καύσεως των πετρελαιομηχανών και αυξάνουν έτσι τον αριθμό κετανίου του καυσίμου. Η χρήση τους είναι περιορισμένη για τους εξής λόγους:

- α) Είναι δαπανηρά.
- β) Είναι δηλητηριώδη.
- γ) Τα καύσιμα που σήμερα παράγουν τα διυλιστήρια σπάνια έχουν ανάγκη από περισσότερα κετανία, αν μάλιστα ληφθεί υπόψη ότι οι σύγχρονες πετρελαιομηχανές είναι κατασκευασμένες με τρόπο ώστε να ικανοποιούνται με καύσιμα χαμηλής κετανικής αποδόσεως.

#### **8.6.5 Τροποποιητές τέφρας (Ash modifiers).**

Είναι γνωστό ότι τα βαριά καύσιμα περιέχουν μεταλλικές προσμίξεις που μετά την κάυση μετατρέπονται σε τέφρα, που αποτίθεται κυρίως στις βαλβίδες εξαγωγής, τις οποίες και καταστρέφουν. Από τα συστατικά της τέφρας τα πιο επικίνδυνα είναι οι ενώσεις του βαναδίου, για το ρόλο των οποίων γίνεται λόγος στην παράγραφο 8.5.4. Οι τροποποιητές τέφρας είναι χημικά πρόσθετα, που μετατρέπουν τις

εύτηκτες ενώσεις του βαναδίου (κυρίως το βαναδικό νάτριο) σε δύστηκτες, που υπό μορφή κόνεως παρασύρονται με τα καυσαέρια, χωρίς να προσβάλλουν ευπαθή τμήματα της μηχανής όπως είναι οι βαλβίδες εξαγωγής ή τα ελατήρια.

### **8.7 Το δίκτυο του πετρελαίου καύσεως.**

Το πετρέλαιο καύσεως που χρησιμοποιείται στις ΜΕΚ εν γένει (Marine Fuel Oil) πρέπει να ανταποκρίνεται προς ορισμένες βασικής σημασίας απαιτήσεις ποιότητας, τις οποίες κατ' αρχή υποδεικνύουν οι κατασκευαστές των μηχανών και οι οποίες εξασφαλίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Ορισμένα από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του καυσίμου αναγράφονται στο Δελτίο Ποιότητας του καυσίμου, που χορηγείται στο μηχανικό του πλοίου κατά την παραλαβή του από τα πετρελαιοφόρα ή από τους σταθμούς ανεφοδιασμού του πλοίου. Δεν είναι όμως βέβαιο ότι το καύσιμο θα διατηρήσῃ τα αρχικά του χαρακτηριστικά και κυρίως την επιθυμητή καθαρότητα ως τη στιγμή της καύσεως, αν δεν ληφθούν ορισμένα μέτρα; που αφορούν κυρίως το δίκτυο μεταφοράς του καυσίμου. Διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος μολύνσεως του καυσίμου με ξένες ύλες (νερό, γαιώδη συστατικά, σκόνες, ασφαλτούχα κατάλοιπα κλπ.) που είναι δυνατόν να προκαλέσουν σοβαρές ανωμαλίες στη μηχανή ή να δυσχεράνουν την καύση και την απόδοση της μηχανής. Άλλα και αν ακόμα αποκλεισθεί το ενδεχόμενο εξωτερικής μολύνσεως του καυσίμου, η επεξεργασία του, ιδίως για τα βαριά καύσιμα, είναι αναγκαία, για να αποκτήσει καλύτερες ιδιότητες που θα διευκολύνουν την καύση του στις πετρελαιομηχανές.

Για την εξασφάλιση λοιπόν των απαιτήσεων αυτών και κυρίως του επιθυμητού βαθμού καθαρότητας, το δίκτυο του πετρελαίου περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη.

#### **8.7.1 Δεξαμενές αποθηκεύσεως.**

Οι περισσότερες από τις δεξαμενές καυσίμων των πλοίων βρίσκονται στα διπύθμενα του σκάφους, μικρό δε ποσοστό του καυσίμου αποθηκεύεται σε δεξαμενές που βρίσκονται πάνω από τα διπύθμενα. Το σοβαρότερο πρόβλημα ως προς την καθαρότητα του πετρελαίου στις κύριες δεξαμενές αποθηκεύσεως είναι ο κίνδυνος μολύνσεως από το θαλάσσιο νερό, και ειδικότερα στην περίπτωση που οι δεξαμενές αυτές χρησιμοποιούνται εναλλακτικά και για θαλασσέρματα. Το θαλάσσιο νέρο όταν αναμιχθεί με το πετρέλαιο δύσκολα απομακρύνεται στις επόμενες φάσεις καθαρισμού, γιατί σχηματίζει σταθερά γαλακτώματα, ιδίως με τα βαριά καύσιμα. Κατά την καύση, τα άλατα, που περιέχονται στο θαλάσσιο νερό, δημιουργούν σκληρές εναποθέσεις που επικάθονται στις έδρες των βαλβίδων κυρίως, προκαλώντας κακή στεγανότητα και ταχεία φθορά. Το χλωριούχο νάτριο, που είναι το κύριο συστατικό του θαλάσσιου νερού είναι διαβρωτικό για τα μέταλλα και η παρουσία του στο καύσιμο είναι εντελώς ανεπιθύμητη. Πρέπει, επομένως, οι δεξαμενές που έχουν χρησιμοποιηθεί για θαλασσέρματα, να καθαρίζονται επιμελώς και να στεγνώνονται προτού χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση καυσίμων.

#### **8.7.2 Δεξαμενές χρήσεως.**

Είναι γνωστές και σαν **δεξαμενές καθίζησεως** (settling tanks) ή **δεξαμενές ημε-**

**ρήσιας καταναλώσεως**, γιατί η χωρητικότητά τους είναι τέτοια ώστε το καύσιμο που περιέχουν να επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες του πλοίου για ένα είκοσιτετράωρο. Συνήθως τα πλοία διαθέτουν δύο τέτοιες δεξαμενές στις οποίες το καύσιμο μεταφέρεται από τις κύριες δεξαμενές αποθηκεύσεως. Στις δεξαμενές αυτές το καύσιμο παραμένει αρκετό χρόνο, ώστε να κατακαθίσουν οι ξένες προσμίξεις στον πυθμένα, απ' όπου απομακρύνονται με ειδικό εξυδατωτικό κρουνό, που βρίσκεται στο κατώτατο σημείο των δεξαμενών. Έτσι, ενώ η μία δεξαμενή χρήσεως τροφοδοτεί τις αντλίες με καύσιμο, στην άλλη γίνεται η καθίζηση, που συμβάλλει στον περαιτέρω καθαρισμό του καυσίμου.

Στις δεξαμενές χρήσεως γίνεται και η προθέρμανση του καυσίμου, που διευκολύνει την καθίζηση των ξένων προσμίξεων, ιδίως των συσσωματωμάτων ασφαλτικής υφής που περιέχουν τα βαριά καύσιμα.

Μία συνηθισμένη διάταξη του δικτύου πετρελαίου καύσεως φαίνεται στο υπόδειγμα του Παραρτήματος ΣΤ', όπου όμως οι δυο δεξαμενές χρήσεως λειτουργούν διαφορετικά. Στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως δεν γίνεται πλέον καθίζηση, αλλά το καύσιμο μεταφέρεται εκεί μετά το φυγοκεντρικό καθαρισμό του και στη συνέχεια οδηγείται μέσα στη μηχανή, αφού περάσει από το δεύτερο προθερμαντήρα ( $\Pi_2$ ) και από ένα συμπληρωματικό καθαρισμό από τα φίλτρα  $\Phi_3$ .

### 8.7.3 Προθερμαντήρες.

Η προθέρμανση του πετρελαίου γίνεται για πολλούς λόγους και σε πολλές φάσεις της διακινήσεώς του από τις δεξαμενές ως τις αντλίες εγχύσεως.

- Στις δεξαμενές η προθέρμανση αποβλέπει στην επιτάχυνση της καθίζησεως των ξένων προσμίξεων και κυρίως των ασφαλτικών συσσωματωμάτων, για τις συνέπειες των οποίων γίνεται λόγος στην παράγραφο 8.6.1. Η καθίζηση επιταχύνεται με τη χρήση ειδικών χημικών προσθέτων (παράγρ. 8.6.1).
- Η προθέρμανση συνεχίζεται σ' όλο το δίκτυο με ατμό ή ηλεκτρικές αντιστάσεις (Hot-Foils), για να επιτευχθεί το ίχωδες που θα εξασφαλίζει κατάλληλη αντλητικότητα του καυσίμου.
- Προθερμαντήρες υπάρχουν και πριν από τους φυγοκεντρικούς καθαριστές που έχουν σκοπό να φέρουν το ίχωδες στα όρια τιμών 100-150 RI, και να μειώσουν την πυκνότητα του πετρελαίου σε τιμές στις οποίες η λειτουργία των φυγοκεντρικών καθαριστών είναι πιο αποδοτική.
- Οι προθερμαντήρες που υπάρχουν πριν τις αντλίες εγχύσεως ( $\Pi_2$ ) θερμαίνουν το πετρέλαιο σε θερμοκρασία ώστε να αποκτήσει ίχωδες 60-200 δευτερόλεπτα Redwood I (RI), που είναι η ευνοϊκότερη τιμή ίχωδους για ένα διασκορπισμό (παράγρ. 8.5.2).

Σε όλες τις περιπτώσεις η προθέρμανση γίνεται με ατμό ή ηλεκτρικές αντιστάσεις, με αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας, ώστε να εξασφαλίζονται τα επιθυμητά όρια τιμών ίχωδους και να αποφεύγονται οι δυσάρεστες συνέπειες από την υπερβολική μείωση ίχωδους (παράγρ. 8.5.2).

Η κατάλληλη θερμοκρασία προθερμάνσεως για να αποκτήσει το πετρέλαιο το επιθυμητό ίχωδες βρίσκεται εύκολα με τα διαγράμματα ίχωδους-θερμοκρασίας (Viscosity-Temperature charts), όπως τα διαγράμματα του σχήματος 8.5.

### **8.7.4 Φίλτρα.**

Η τοποθέτηση φίλτρων στο δίκτυο πετρελαίου αποτελεί ένα ακόμα βήμα για την απαλλαγή του από τις ανεπιθύμητες προσμίξεις που τυχόν περιέχει. Τα φίλτρα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

#### **α) Διηθητικά φίλτρα.**

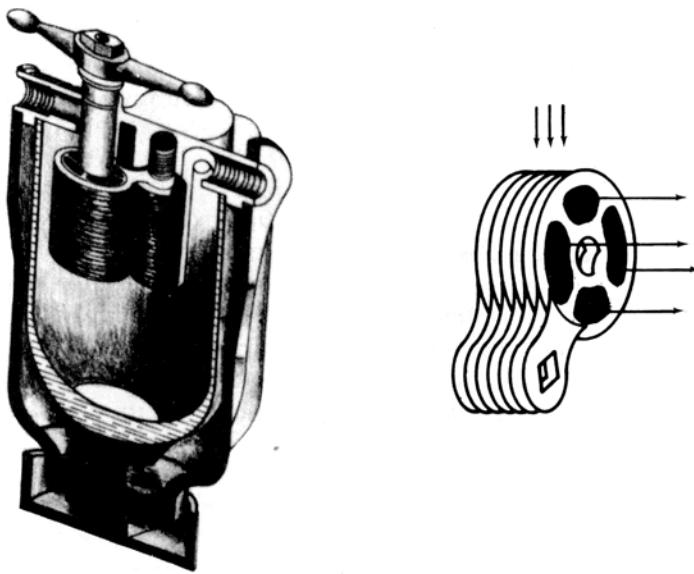
Αποτελούνται από το περίβλημα, που συνήθως έχει κυλινδρικό σχήμα και από τη γόμωση, που περιέχει υλικά ικανά να συγκρατήσουν τις ξένες προσμίξεις. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως νήματα, υφάσματα, φυτικές ίνες ή διάφορα ανόργανα συστατικά, που όταν κορεσθούν από ακαθαρσίες αντικαθίστανται εύκολα. Είναι επίσης δυνατό οι γομώσεις των διηθητικών φίλτρων να καθαρίζονται με διαλυτικά υγρά, π.χ. βενζίνη και να ξανατοπθετούνται, πράγμα που μπορεί να γίνει αρκετές φορές πριν αχρηστευθούν τελείως, οπότε αντικαθίστανται.

#### **β) Μεταλλικά φίλτρα (strainers).**

Αποτελούνται από διάτρητους δίσκους ή μεταλλικά πλέγματα τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο, διά των οποίων το διερχόμενο πετρέλαιο καθαρίζεται, εναποθέτοντας τις ξένες ύλες πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες των φίλτρων. Οι διαστάσεις 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 καθαριζόμενου καυσίμου και από τον επιδιωκόμενο βαθμό καθαρισμού. Για τον καθαρισμό του πετρελαίου Diesel π.χ., μετά την αντλία εγχύσεως χρησιμοποιούνται φίλτρα με δίκτυων που έχουν 1500 περίπου ανοιγμάτα ανά  $\text{cm}^2$ . Μ' αυτό τον τρόπο προστατεύεται επαρκώς ο λεπτός μηχανισμός της βαλβίδας εγχύσεως του πετρελαίου κατά τη μηχανική έγχυση.

Ειδική περίπτωση μεταλλικών φίλτρων αποτελούν τα λεγόμενα **αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα** (autoclean), που έχουν ευρύτατη χρησιμοποίηση σε πολλά δίκτυα καυσίμων, γιατί δίνουν την ευχέρεια καθαρισμού και εύκολης απομακρύνσεως των καταλοίπων που συλλέγονται (σχ. 8.7a). Αποτελούνται από σημαντικό αριθμό διάτρητων κυκλικών ελασμάτων, που είναι τοποθετημένα σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Η στρέώση των ελασμάτων στο εσωτερικό του φίλτρου γίνεται με κεντρικό άξονα, που περνάει από το κέντρο των ελασμάτων. Ο άξονας αυτός στο πάνω μέρος, που βρίσκεται έξω από το κάλυμμα του φίλτρου, καταλήγει σε χειρομοχλό με τον οποίο το σύνολο μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα.

Μεταξύ των κυκλικών ελασμάτων υπάρχουν μικρότερα ελάσματα, σαν μαχαιρίδια, που εφάπτονται στα πρώτα σε μικρό τμήμα της περιφέρειάς τους και είναι περασμένα σε δικό τους άξονα μικρότερο, σχηματίζοντας στο σύνολό τους ένα είδος κτένας. Όταν στα ελάσματα συγκεντρωθούν αρκετά κατάλοιπα, η ροή του πετρελαίου δυσχεραίνεται, πράγμα που γίνεται αντιληπτό από την πτώση πιέσεως του θλιβομέτρου που είναι τοποθετημένο μετά το φίλτρο. Τότε με απλή περιστροφή του χειρομοχλού ολόκληρο το σύστημα των ελασμάτων υφίσταται απόξεση από τα μεταλλικά καθαριστήρια. Τα κατάλοιπα που είχαν συγκεντρωθεί στις επιφάνειες των ελασμάτων απομακρύνονται και η ροή του πετρελαίου αποκαθίσταται τελείως. Τα κατάλοιπα πέφτουν στο θάλαμο περισυλλογής που βρίσκεται στον πυθμένα του φίλτρου, απ' όπου εύκολα εξάγονται από τη θυρίδα που βρίσκεται στο



Σχ. 8.7α.  
Αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα.

κατώτατο σημείο του φίλτρου.

- Τα κύρια σημεία του δικτύου που έχουν ανάγκη από φίλτρα καθαρισμού είναι:
- Πριν από την αντλία μεταγγίσεως που βρίσκεται μεταξύ των κύριων δεξαμενών και των δεξαμενών χρήσεως ( $\Phi_1$ ).
  - Πριν από τους φυγοκεντρικούς καθαριστές ( $\Phi_2$ ).
  - Πριν από την αντλία εγχύσεως ( $\Phi_3$ ) όπως φαίνεται και στο Παράρτημα ΣΤ'.

#### 8.7.5 Φυγοκεντρικός καθαρισμός.

Η απαλλαγή του πετρελαίου από ανεπιθύμητα επιβλαβή συαστατικά και κυρίως από νερό, μεταλλικές προσμίξεις και ασφαλτικά συσσωματώματα, συμπληρώνεται με διατάξεις που βασίζονται στη φυγοκεντρική επεξεργασία και είναι γνωστές με το γενικό όνομα **φυγοκεντρικοί αποχωριστές** (centrifugal separators). Κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Φυγοκεντρικοί καθαριστές** (purifiers) που απαλλάσσουν το καύσιμο από το νερό και από ξένες προσμίξεις με σχετικά μεγαλύτερες διαστάσεις.
- Φυγοκεντρικοί διαυγαστές** (clarifiers) που απαλλάσσουν το καύσιμο από τις λεπτότερες ακαθαρσίες και τις προσμίξεις που περιέχει.

##### a) Φυγοκεντρικοί καθαριστές (purifiers).

Υπάρχουν αρκετοί τύποι φυγοκεντρικών καθαριστών από τους οποίους συνηθέστεροι είναι οι καθαριστές τύπου De Laval. Βασίζονται στη διαφορά που υπάρχει μεταξύ της πυκνότητας του πετρελαίου και των προσμίξεών του. Ένεκα της διαφοράς αυτής υπάρχει μία φυσική τάση διαχωρισμού λόγω βαρύτητας, που ενι-

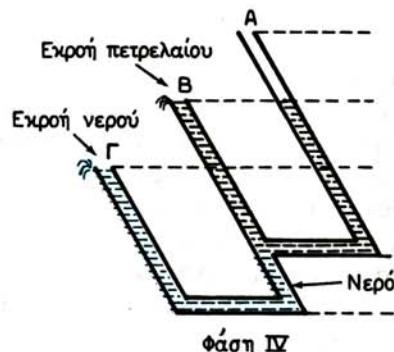
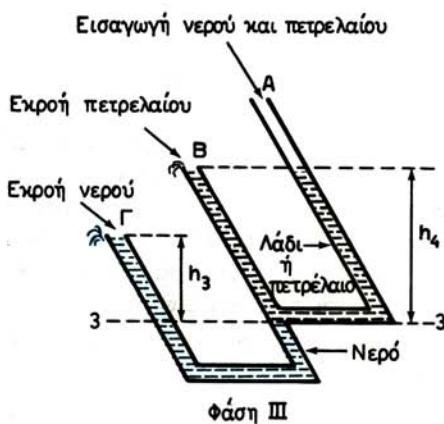
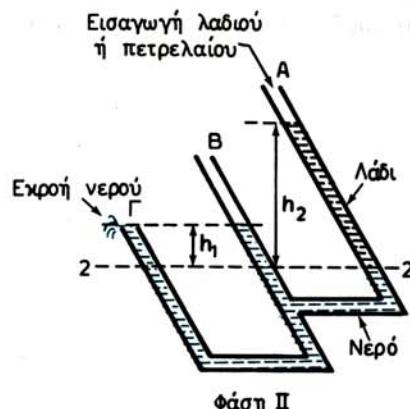
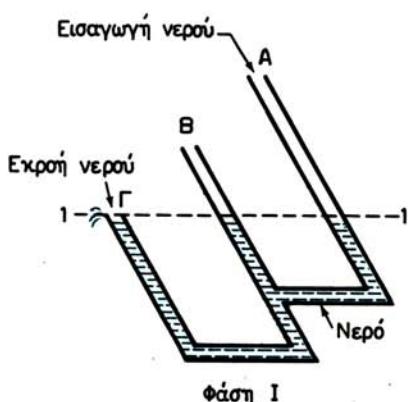
σχύεται με την επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως.

Η αρχή στην οποία βασίζεται η λειτουργία των φυγοκεντρικών καθαριστών εξηγείται στο σχήμα 8.7β σε 4 φάσεις:

**Φάση I:** Στο σκέλος Α του τριπλού σωλήνα που έχει σχήμα ανάποδου Μ, ρίχνομε νερό, που όταν αρχίσει να εκρέει από το σκέλος Γ, θα βρίσκεται στην ίδια στάθμη και στα τρία σκέλη, λόγω της αρχής των συγκοινωνούντων δοχείων.

**Φάση II:** Από το σκέλος Α προσθέτομε στο σωλήνα λάδι ή άλλο υγρό ελαφρότερο του νερού, οπότε από το σκέλος Γ θα εκρέει νερό, που εκτοπίζεται από το υγρό που προστίθεται στο σκέλος Α. Η στάθμη στα σκέλη Β και Γ θα παραμένει η ίδια αφού περιέχουν το ίδιο υγρό (νερό), ενώ στο Α θα είναι υψηλότερη αφού περιέχει υγρό ελαφρότερο.

**Φάση III:** Συνεχίζοντας αργά εισαγωγή λαδιού ή πετρελαίου και νερού από το σκέλος Α θα παρατηρήσομε ότι το νερό εξακολουθεί να εκρέει από το σκέλος Γ, αναπληρούμενο από το νερό που υπάρχει στο σκέλος Β και στο μεταξύ Β και Γ



Σχ. 8.7β.

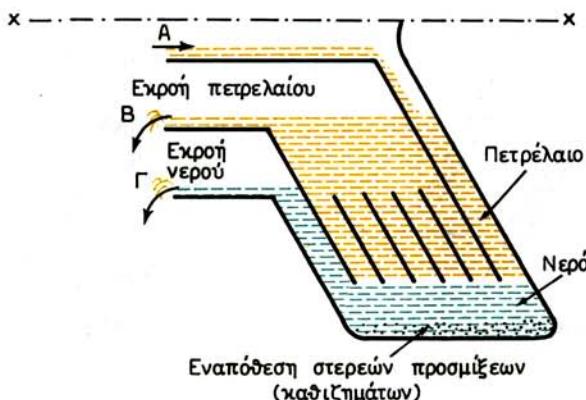
Στοιχειώδης αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικού καθαριστήρα τύπου De Laval.

τμήμα του ενδιάμεσου σωλήνα. Έτσι έρχεται στιγμή που ο σωλήνας Β γεμίζει με πετρέλαιο και αρχίζει να εκρέει από το επάνω στόμιο του.

**Φάση IV:** Από το στόμιο του σκέλους Α ρίχνομε αργά ακάθαρτο πετρέλαιο, που περιέχει νερό και άλλες προσμίξεις και παρατηρούμε ότι από το σκέλος Γ εκρέει και πάλι νερό από το Β πετρέλαιο, ενώ οι βαρύτερες προσμίξεις κάθονται στον πυθμένα του δοχείου.

Σ' αυτή την αρχή βασίζεται η κατασκευή των φυγοκεντρικών αποχωριστών με τη διαφορά ότι, αντί της βαρύτητας χρησιμοποιείται η φυγόκεντρη δύναμη, γιατί διαφορετικά θα χρειάζονταν πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα για ένα ικανοποιητικό διαχωρισμό.

Αν φαντασθούμε πολλούς τέτοιους σωλήνες ενωμένους, έχομε το σύστημα που εικονίζεται στο σχήμα 8.7γ, που έχει το ίδιο διαχωριστικό αποτέλεσμα και αποτελεί τη βάση των αποχωριστών De Laval. Προϋπόθεση αποχωρισμού του νερού από το πετρέλαιο είναι η αρχική ύπαρξη ενός στρώματος νερού, αλλοιώς από όλα τα σημεία Β και Γ θα εκρέει το πετρέλαιο, ώσπου να σχηματισθεί μόνο του νερό που αποβάλλεται από το εισαγόμενο πετρέλαιο.



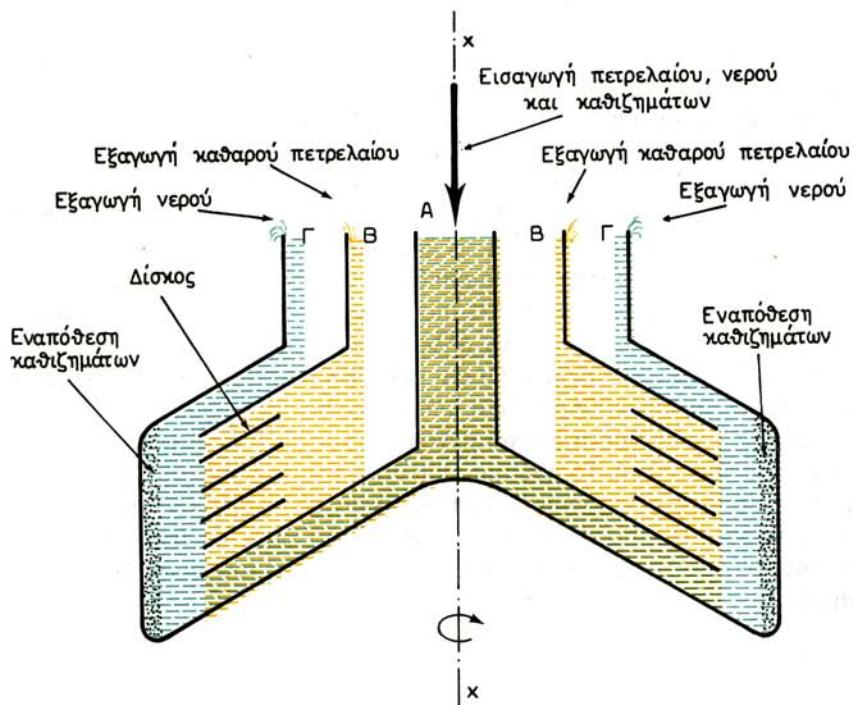
Σχ. 8.7γ.

Αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικών αποχωριστών τύπου De Laval.

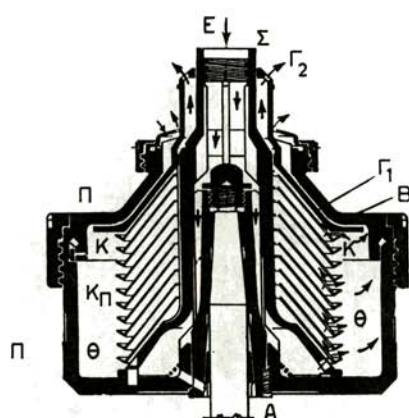
Αν φαντασθούμε ότι το σύστημα του σχήματος 8.7γ περιστρέφεται γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα ΑΑ, έχομε την τομή ενός **κυπέλλου** φυγοκεντρικού αποχωριστή De Laval, που έχει την ίδια αρχή λειτουργίας (σχ. 8.7δ). Αντί συστήματος σωλήνων, έχομε επάλληλους δίσκους, σε αποστάσεις που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του καθαριζόμενου πετρελαίου και κυρίως το ειδικό βάρος του. Συνήθως οι αποστάσεις μεταξύ των δίσκων κυμαίνονται από 0,5-0,6 mm.

Τα κύρια μέρη ενός φυγοκεντρικού καθαριστή (purifier), του οποίου η τομή σκαριφηματικά φαίνεται στο σχήμα 8.7ε, είναι:

- Ο κεντρικός άξονας Α.
- Ο σωλήνας εισαγωγής του καυσίμου Ε.
- Το κύπελλο  $K_p$  που αποτελείται από επάλληλα τοποθετημένους δίσκους.
- Το εξωτερικό περίβλημα Π.



**Σχ. 8.7δ.**  
Κύπελλο φυγοκεντρικού αποχωριστή τύπου De Laval.



**Σχ. 8.7ε.**  
Φυγοκεντρικός καθαριστής (purifier).

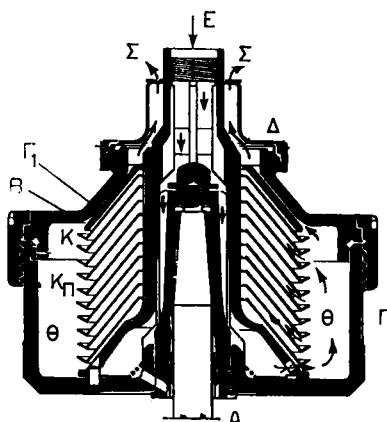
Το καύσιμο εισάγεται στη συσκευή από το σωλήνα εισαγωγής Ε, που είναι παράλληλος προς τον κεντρικό άξονα και οδηγείται προς τους δίσκους του κυπέλλου, που βρίσκεται σε συνεχή περιστροφική κίνηση, με ταχύτητα 8000-10000 ρpm. Οι δίσκοι έχουν κωνικό σχήμα και στην περιφέρεια έχουν οπές από τις οποίες περνάνε το νερό και οι ξένες προσμίξεις. Ο τελευταίος προς τα πάνω δίσκος δεν έχει οπές και αποτελεί ένα είδος καλύμματος του κυπέλλου Κ.

Το καύσιμο ανάμεσα στους δίσκους υφίσταται ένα λεπτό διαμερισμό. Με την επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως τα βαρύτερα συστατικά (νερό, προσμίξεις) ωθούνται προς τα τοιχώματα του θαλάμου Θ, απ' όπου το νερό ανεβαίνει προς την έξοδο  $\Gamma_1$ , που σχηματίζεται μεταξύ του πώματος Β και της οριζόντιας προεξοχής του καλύμματος Κ του κυπέλλου. Οι άλλες ακαθαρσίες συγκεντρώνονται στον πυθμένα του εσωτερικού θαλάμου Θ, απ' όπου και απομακρύνονται. Στους σύγχρονους φυγοκεντρικούς καθαριστές η απομάκρυνση της λάσπης και των άλλων ακαθαρσιών από τον πυθμένα γίνεται αυτόματα, χωρίς να απαιτείται διακοπή της λειτουργίας του καθαριστή. Το καύσιμο που απομένει σχεδόν καθαρό, άρα με μικρότερο ειδικό βάρος, δέχεται μικρότερη φυγόκεντρη δύναμη και από τον εσωτερικό αγωγό  $\Gamma_2$  ανεβαίνει προς το στόμιο εκροής Σ, απ' όπου και διοχετεύεται προς το υπόλοιπο δίκτυο. Ο αγωγός  $\Gamma_2$  σχηματίζεται μεταξύ του σωλήνα οχετού εισαγωγής Ε και του τελευταίου προς τα άνω δίσκου Κ.

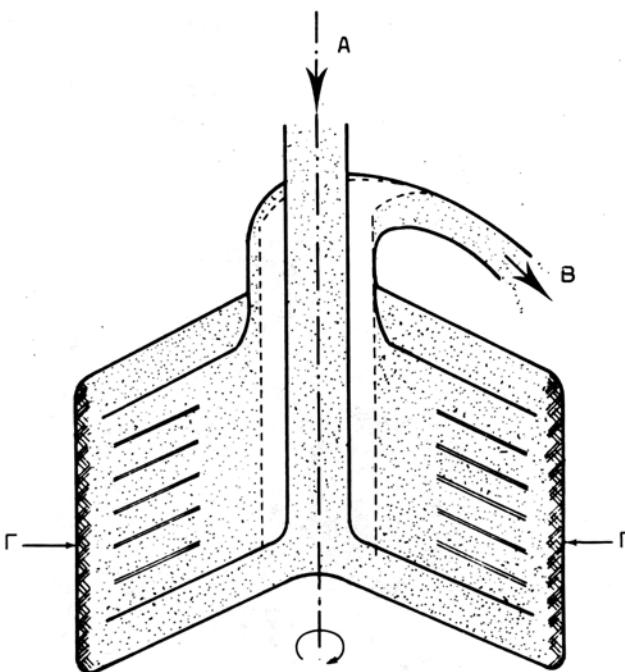
### β) Φυγοκεντρικοί διαυγαστές (clarifiers).

Μετά τους φυγοκεντρικούς καθαριστές, ο καθαρισμός του πετρελαίου συμπληρώνεται σε μία παρόμοιου τύπου συσκευή, που ονομάζεται φυγοκεντρικός διαυγαστής (clarifier) (σχ. 8.7στ), όπου απαλλάσσεται από λεπτότερες ακαθαρσίες που έχουν ξεφύγει από τους καθαριστές.

Οι σπουδαιότερες διαφορές των διαυγαστών σε σχέση με τους καθαριστές είναι οι εξής:



**Σχ. 8.7στ.**  
Φυγοκεντρικός διαυγαστής (clarifier).



**Σχ. 8.7ζ.**  
Αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικού διαυγαστή (clarifier).

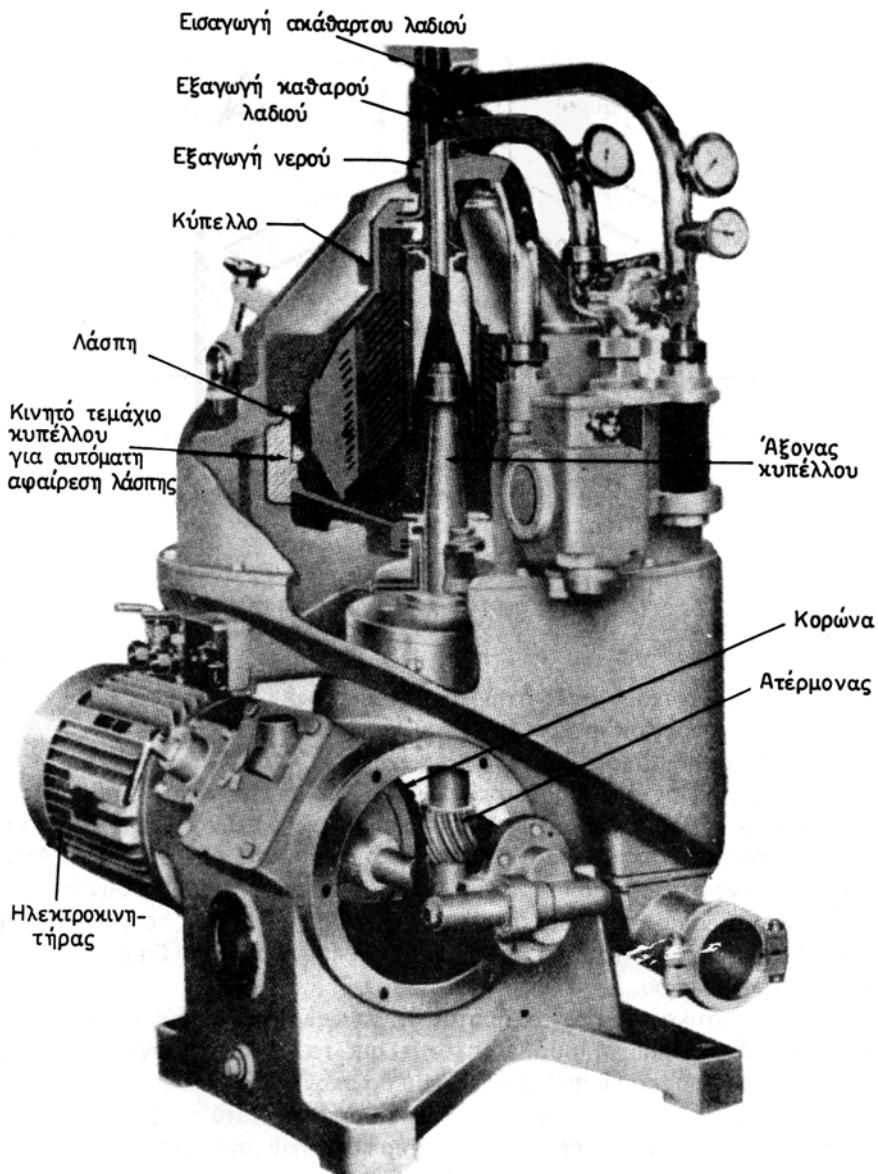
- α) Οι δίσκοι δεν έχουν οπές στην περιφέρεια.
- β) Δεν υπάρχει οριζόντια προεξοχή του καλύμματος.
- γ) Δεν υπάρχει ιδιαίτερος αγωγός εξαγωγής του νερού.

Η αρχή λειτουργίας των διαυγαστών είναι η ίδια με την αρχή λειτουργίας των φυγοκεντρικών καθαριστών, όπως δείχνει και το σχήμα 8.7ζ. Το πετρέλαιο που βγαίνει από τον καθαριστή, εισάγεται στο διαυγαστή από τον αγωγό Α. Από το σωλήνα Β βγαίνει το καθαρό πετρέλαιο, ενώ οι προσμίξεις παραμένουν στο χώρο Γ. Δίδος νερού, όπως στους αποχωριστές δεν υπάρχει, αφού το νερό έχει ήδη αφαιρεθεί στον καθαριστή. Αν η δίδος αυτή παρέμενε ανοικτή, θα είχαμε απ' αυτή απώλεια πετρελαίου.

Στη σκαριφηματική τομή του σχήματος 8.7στ φαίνεται ότι το καύσιμο που έχει περάσει από τον καθαριστή (purifier) περνάει από το σωλήνα εισαγωγής Ε, διαμερίζεται στους δίσκους του κυπέλλου  $K_p$ , που βρίσκονται σε μικρότερη μεταξύ τους απόσταση σε σχέση με τους δίσκους του καθαριστή. Κατά τη φυγοκέντριση οι προσμίξεις απωθούνται και πάλι στα εσωτερικά τοιχώματα του θαλάμου Θ και αφαιρούνται (συνήθως αυτόματα) από το κάτω μέρος της συσκευής. Το καθαρό πετρέλαιο ανεβαίνει προς το στόμιο εκροής Σ διά του αγωγού Γ<sub>1</sub> που σχηματίζεται μεταξύ του πώματος και του καλύμματος.

Για να ανταποκριθούν οι σύγχρονοι φυγοκεντρικοί αποχωριστές στις απαιτή-

σεις ποιότητας των καυσίμων που χρησιμοποιεί σήμερα η Εμπορική Ναυτιλία, πρέπει κατά τη λειτουργία τους να τηρούνται ορισμένοι βασικοί κανόνες. Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζονται στον τομέα αυτό οφείλονται στη χαμηλή ποιότητα των καυσίμων, που ολοένα χειροτερεύει, στην προσπάθεια να εξασφαλίζονται φθηνότερα



**Σχ. 8.7η.**

Τομή φυγοκεντρικού αποχωριστή αυτόματου καθαρισμού.

καύσιμα για τη ναυτιλία. Ειδικότερα στην απόδοση των φυγοκεντρικών αποχωριστών επιδρουν δυσμενώς τα εξής χαρακτηριστικά του πετρελαίου:

- α) Το ιξώδες, η τιμή του οποίου σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνάει τα 6000 δευτερόλεπτα Redwood I.
- β) Το ειδικό βάρος, που σε πολλές περιπτώσεις είναι όσο και του νερού (περίπου 1) καθιστώντας τον αποχωρισμό πολύ δύσκολο.
- γ) Η παρουσία πολύ λεπτών κόνεων από ενώσεις αργιλίου και πυριτίου, που προέρχονται από την κατεργασία ορισμένων κατηγοριών βαρέων καυσίμων και πολύ δύσκολα απομακρύνονται.

Υπό τις συνθήκες αυτές η απόδοση των φυγοκεντρικών καθαριστών επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες που πρέπει να ρυθμίζονται αναλόγως:

- α) Τη θερμοκρασία του καυσίμου, που πρέπει με την κατάλληλη προθέρμανση να ρυθμίζει το ιξώδες σε τιμές που διευκολύνουν το διαχωρισμό. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 150-200 δευτερόλεπτα Redwood I, που για να επιτευχθούν απαιτείται προθέρμανση:

- Για καύσιμο με ιξώδες 500 RI σε 80°C.
- Για καύσιμο με ιξώδες 1500 RI σε 90°C.
- Για καύσιμο με ιξώδες 3500 RI σε 95°C.
- Για καύσιμο με ιξώδες 4000-6000 RI σε 98°C.

Προθέρμανση πάνω από τους 98°C δεν συνιστάται, γιατί οι παραγόμενοι ατμοί μπορεί να προκαλέσουν μείωση της στεγανότητας των δίσκων.

- β) Την παροχή του καυσίμου στους καθαριστές (όσο μικρότερη είναι τόσο ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικότερος).

- γ) Την απόσταση μεταξύ των δίσκων του καθαριστή.

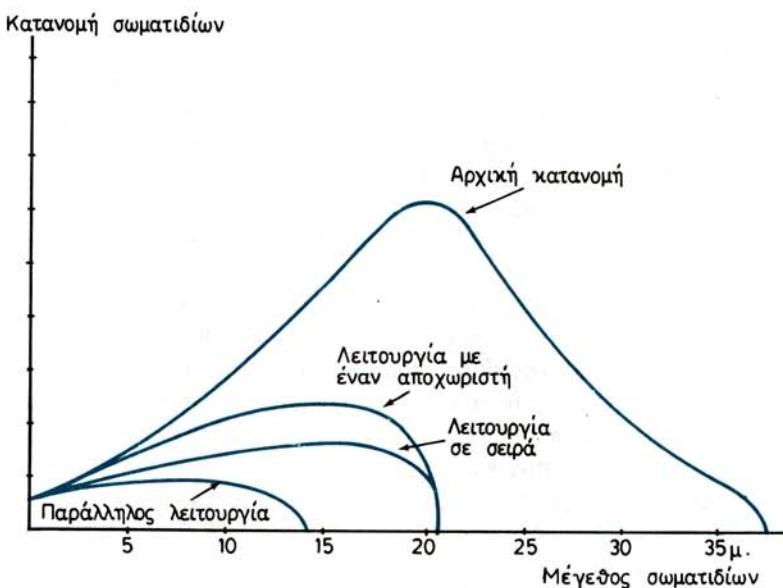
- δ) Τον τρόπο διατάξεως του συστήματος του φυγοκεντρικού καθαρισμού.

Ως προς το σημείο αυτό υπάρχουν τρεις δυνατότητες:

- 1) Ένας μόνο αποχωριστής.
- 2) Δύο αποχωριστές στη σειρά, συνήθως ένας καθαριστής ακολουθούμενος από ένα διαυγαστή.
- 3) Δύο αποχωριστές τοποθετημένοι παράλληλα.

Από τους τρεις συνδυασμούς αποτελεσματικότερος είναι ο τρίτος (παράλληλη σύνδεση), ίδιως για την απομάκρυνση κόνεων αργιλίου που προέρχονται από καταλύτες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γκαζίλ και παραμένουν μετά την επεξεργασία ορισμένων κατηγοριών βαρέων καυσίμων. Η απομάκρυνσή τους έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί πρόκειται για ουσίες πολύ σκληρές, που μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα τριβόμενα μέρη της μηχανής. Συγκριτικά τα αποτελέσματα και για τις τρεις περιπτώσεις φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 8.7θ, όπου παρατηρούμε ότι:

- α) Για σωματίδια μεγέθους άνω των 25μ η απομάκρυνση είναι πλήρης σε όλες τις περιπτώσεις.
- β) Με την παράλληλη σύνδεση τα σωματίδια που απομακρύνονται εντελώς είναι μεγέθους μέχρι 15μ.
- γ) Στις άλλες δύο περιπτώσεις (ένας αποχωριστής ή δύο στη σειρά) τα σωματίδια που παραμένουν μετά τον καθαρισμό και περισσότερα είναι και μεγαλύτερα.



Σχ. 8.76.

### 8.8 Χρησιμοποίηση γαλακτωμάτων πετρελαίου με νερό στις ναυτικές πετρελαιομηχανές.

Πριν μερικά χρόνια η παρουσία του νερού στα καύσιμα ήταν εντελώς ανεπιθύμητη και οι προδιαγραφές των διαφόρων καυσίμων ως προς τα ανώτατα όρια περιεκτικότητας σε νερό ήταν με αυστηρότητα καθορισμένες. Περιεκτικότητα σε νερό πάνω από 1% για τα βαριά καύσιμα είναι απαράδεκτη, ενώ τα όρια για το πετρέλαιο Diesel είναι μόλις 0,05% (πίνακας 8.3.1).

Σήμερα η παρουσία του νερού σε καύσιμα ΜΕΚ υπό μορφή γαλακτωμάτων με περιεκτικότητα σε νερό μέχρι 15%, έχει δοκιμασθεί, με στόχο τη βελτίωση της θερμικής αποδόσεως, με ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Η προσθήκη του νερού μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- Από την εισαγωγή της πολλαπλής.
- Με ιδιαίτερο εγχυτήρα νερού.
- Υπό μορφή γαλακτώματος με το καύσιμο.

Η τελευταία μέθοδος έχει αποτελέσει αντικείμενο ενός ευρύτατου ερευνητικού προγράμματος στο πανεπιστήμιο του Newcastle, με αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν τα πλεονεκτήματα της προσθήκης νερού στα καύσιμα των μηχανών Diesel. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής με καύσιμα που περιέχουν 15% νερό συνοψίζονται στον πίνακα 8.8.1, από τον οποίο κύρια συμπεράσματα είναι:

- Η βελτίωση της καταναλώσεως καυσίμου υπό πλήρες φορτίο είναι ασήμαντη, ενώ για φορτίο 50% η βελτίωση είναι 5,4% για πετρέλαιο Diesel και 4% για βαριά καύσιμα.

β) Οι τιμές της αιθάλης εμφανίζονται μειωμένες σε όλες τις περιπτώσεις.

γ) Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι μειωμένη.

Οι μετρήσεις έγιναν σε πετρελαιομηχανή μέσης ταχύτητας περιστροφής (600 rpm), ενώ με αργόστροφες πετρελαιομηχανές η βελτίωση της αποδόσεως με καύσιμο των 1200 δευτερολέπτων RI έφθασε τα 7%.

Ήδη σε αρκετά εμπορικά σκάφη έχουν τοποθετηθεί συστήματα παραγωγής γαλακτωμάτων πετρελαίου-νερού, το κόστος των οποίων ανέρχεται σε \$ 8000 περίπου και αποσβένεται γρήγορα από την οικονομία καυσίμου και από τη διαπίστωση ότι η μηχανή διατηρείται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα καθαρή, ελαττώνοντας έτσι και το κόστος συντήρησεως.

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.1**

#### **Συγκριτικά χαρακτηριστικά λειτουργίας πετρελαιομηχανών μέν γαλακτώματα νερού-καυσίμου**

Κύρια Χαρακτηριστικά	Πετρέλαιο Diesel				Βαρύ καύσιμο (950 RI)			
	Πλήρες φορτίο		Φορτίο 50%		Πλήρες φορτίο		Φορτίο 50%	
	Περιεκτικότητα σε νερό				Περιεκτικότητα σε νερό			
	0	15%	0	15%	0	15%	0	15%
1. Κατανάλωση καυσίμου (GR/HP.h)	162	159	169	160	169	162	172	164
2. Θερμοκρασία καυσαερίων (°C)	518	503	386	374	488	486	392	383
3. Τιμή αιθάλης (μον. Dunedin)	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2

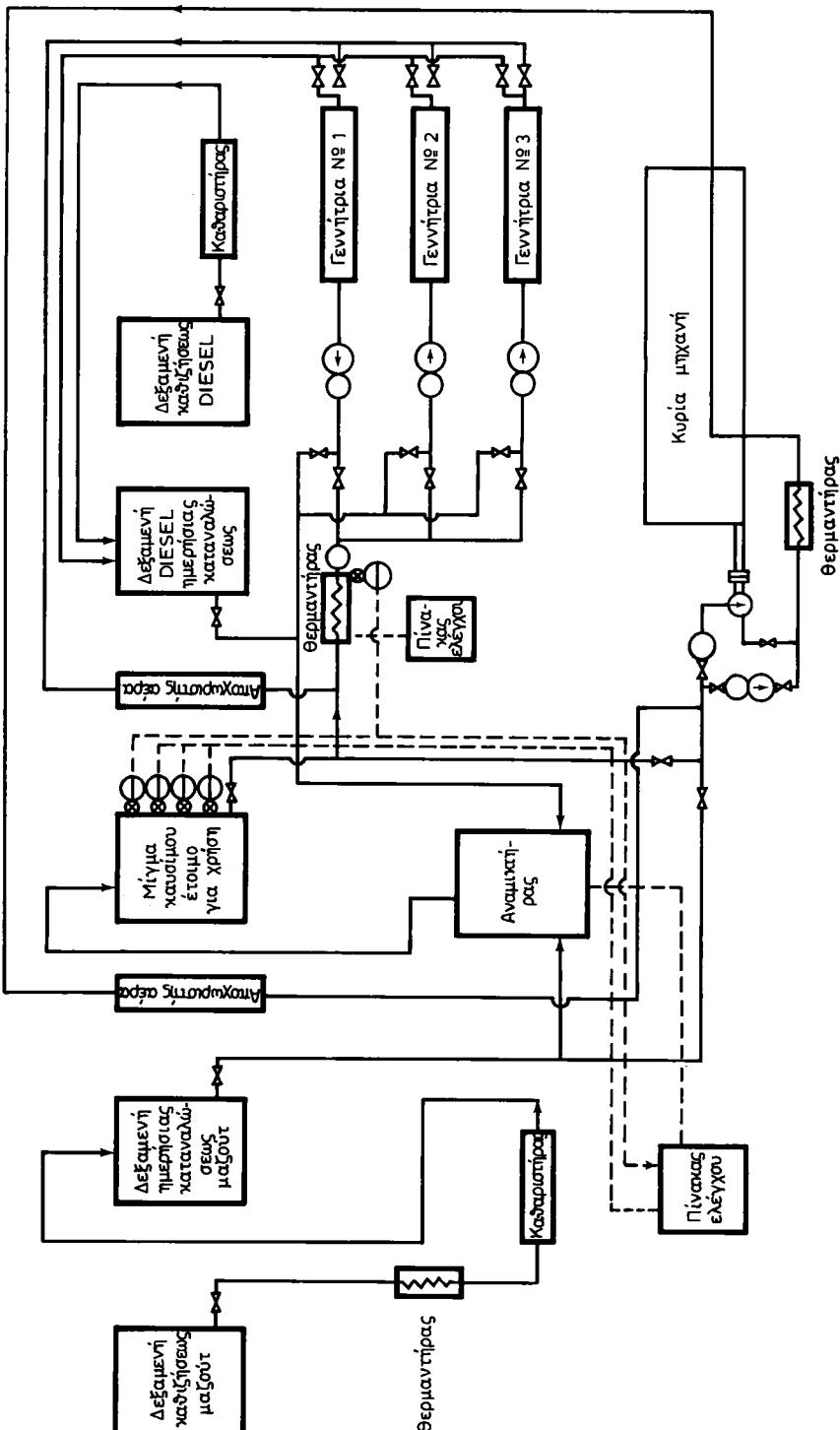
#### **8.9 Μείωση ιξώδους βαρέων καυσίμων (Vis-breaking).**

Στην προσπάθεια παραγωγής φθηνών καυσίμων για τις ναυτικές πετρελαιομηχανές έχει εφαρμοσθεί τα τελευταία χρόνια η παραγωγή πετρελαίου με μικρότερο ιξώδες από άλλα βαριά καύσιμα (άνω των 6000 δευτερολέπτων RI), των οποίων η καύση σε πετρελαιομηχανές (ίδιως μέσης ταχύτητας περιστροφής) παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα (παράγρ. 8.5.2).

Η παραγωγή των καυσίμων αυτών γίνεται με ειδική θερμική επεξεργασία του μαζούτ, γνωστή σαν **ιξωδόλιση** (μέθοδος Vis-breaking, μείωση του ιξώδους). Η επεξεργασία αυτή βασίζεται στη θερμική διάσπαση των μεγαλομοριακών υδρογονανθράκων του μαζούτ (με περισσότερα από 20 άτομα άνθρακα ) σε μικρότερα μόρια. Τα μόρια αυτά αντιστοιχούν σε υδρογονάνθρακες με μικρότερο ιξώδες, που επιτρέπει την ομαλή καύση στις μηχανές Diesel.

Η καύση του πετρελαίου που έχει συστατικά προερχόμενα από καταλυτική πυρόλιση Vis-breaking παρουσιάζει τα εξής προβλήματα:

α) Η παρουσία των κόνεων αργιλίου και πυριτίου, που προέρχονται από τους καταλύτες, μετά την καύση, δημιουργεί έντονες λειαντικές δράσεις στους κυλίνδρους των μηχανών, με συνέπεια καταστρεπτικές φθορές ίδιως στα χιτώνια. Για το λόγο αυτό οι προδιαγραφές καθορίζουν ανώτατα όρια περιεκτικότητας για τα

**Σχ. 8.10.**

Διαγραμματική διάταξη δικτύου καυσίμου πετρελαιομηχανής με αναμικτήρες.

στοιχεία αυτά, που είναι 30 ppm για το αργίλιο και 20 ppm για το πυρίτιο (πίνακας 8.3.1). Η απομάκρυνση ή ο περιορισμός τους στα πιο πάνω όρια, απαιτεί έντονη επεξεργασία με τους φυγοκεντρικούς αποχωριστές (παράγρ. 8.7.5.).

**β) Αναμιξιμότητα (compatibility).** Τα καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία του Vis-breaking δεν είναι πάντοτε αναμίξιμα με άλλα καύσιμα. Είναι δυνατό σε μια τέτοια ανάμιξη να προκληθεί σχηματισμός ιλύος (λάσπης) που οφείλεται στην αστάθεια που προκαλεί η διάσπαση της κολλοειδούς διασποράς των καυσίμων αυτών. Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται έλεγχος αναμιξιμότητας, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 7.2.4.

## 8.10 Ανάμιξη καυσίμων.

Ένας ακόμα τρόπος για την εξουδετέρωση των προβλημάτων από την καύση των χαμηλής ποιότητας βαρέων καυσίμων στις πετρελαιομηχανές είναι η ανάμιξη τους με ελαφρότερα καύσιμα και κυρίως με πετρέλαιο Diesel. Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται:

- α) Η ελάπτωση του ιξώδους.
- β) Η διάλυση των ασφαλτικών συστατικών, στα οποία οφείλεται ο σχηματισμός ιλύος (sludge).
- γ) Η αύξηση του αριθμού κετανίου.
- δ) Η ελάπτωση της πυκνότητας.
- ε) Ο περιορισμός των ξένων προσμίξεων (θείου, βαναδίου κλπ.).

Ιδιαίτερη σημασία έχει η ανάμιξη σε μηχανές μέσης ταχύτητας περιστροφής, στις οποίες η καύση του μαζούτ παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα. Ακόμα η ανάμιξη μαζούτ με Diesel επιτρέπει σε μηχανές σχεδιασμένες να καίνε πετρέλαιο Diesel, να μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά με μίγματα μαζούτ-Diesel, χωρίς να απαιτούνται μετατροπές της μηχανής, πράγμα που έχει ιδιαίτερη οικονομική σημασία.

Σήμερα μεγάλος αριθμός πλοίων (πάνω από 2000) είναι εφοδιασμένα με αναμικτήρες που κάνουν την ανάμιξη μαζούτ με Diesel εν πλω, κάθε φορά που η ανάμιξη αυτή είναι δυνατή (προσθήκη μαζούτ σε Diesel) ή επιβάλλεται (προσθήκη Diesel σε μαζούτ). Μια τέτοια διάταξη στο δίκτυο καυσίμου μιας πετρελαιομηχανής δείχνει το διάγραμμα του σχήματος 8.10.

Κατά την ανάμιξη μαζούτ με Diesel πρέπει να ελέγχεται πρώτα η αναμιξιμότητα των δυο καυσίμων, γιατί διαφορετικά η ανάμιξη αυτή θα μπορούσε να προκαλέσει αποβολή ιλύος (λάσπης) με πολύ δυσάρεστα για τη μηχανή επακόλουθα. Ο έλεγχος γίνεται με μεθόδους όμοιες μ' αυτή που περιγράφεται στην παράγραφο 7.2.4. Ακόμα, για την εξασφάλιση καλύτερης αναμιξιμότητας χρησιμοποιούνται συστήματα ομογενοποιήσεως του καυσίμου μετά την ανάμιξη (homogenisers).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### Η ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL

#### 9.1 Γενικά. Η χημεία της καύσεως.

Η καύση έχει ορισθεί (παράγρ. 2.1) ως η ένωση των διαφόρων σωμάτων με το οξυγόνο, με σύγχρονη εμφάνιση φλόγας.

Στην περίπτωση του πετρελαίου, η καύση συνίσταται στη χημική ένωση του οξυγόνου με τα συστατικά του πετρελαίου και κυρίως με τον άνθρακα (C) και το υδρογόνο (H) αλλά και το (S) που παρίσταται με τις εξής χημικές αντιδράσεις:



Από τις αντιδράσεις αυτές συμπεραίνουμε ότι, αν παραλείψουμε την αντίδραση του θείου, τα κύρια προϊόντα καύσεως του πετρελαίου είναι διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) και νερό ( $H_2O$ ). Συγχρόνως παράγεται θερμότητα, την οποία η μηχανή μετατρέπει σε έργο (εξώθερμες αντιδράσεις). Το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την καύση του άνθρακα είναι 8100 kcal/kg (34000 kJ/kg), ενώ από τήν καύση του υδρογόνου παράγονται 34400 kcal/kg (144000 kJ/kg).

Ο αέρας που απαιτείται για την καύση μπορεί εύκολα να υπολογισθεί από τις παραπάνω εξισώσεις (1) και (2), αν ληφθεί υπόψη ότι τα στοιχεία που συμμετέχουν στις παραπάνω αντιδράσεις (άνθρακας, υδρογόνο, οξυγόνο) αντιπροσωπεύονται με τα γραμμομόριά τους [ένα γραμμομόριο (mol) = βάρος ίσο με το μοριακό].

Έτσι έχομε:

$$\begin{aligned} C + O_2 \\ 12\text{kg} + 32\text{kg} = 44\text{ kg} \end{aligned} \quad (3)$$

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O \quad (4)$$

$$2\text{kg} + 16\text{kg} = 18\text{ kg}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις (3) και (4) προκύπτει ότι θεωρητικά 1 μέρος βάρους άνθρακα απαιτεί για την καύση του  $32/12 = 2,66$  μέρη βάρους οξυγόνου, ενώ ένα μέρος βάρους υδρογόνου χρειάζεται  $16/2 = 8$  μέρη βάρους οξυγόνου για την καύση του. Επειδή το οξυγόνο αποτελεί τα 23% του βάρους του ατμοσφαιρικού αέρα, έπειτα δτι:

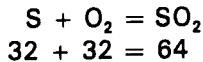
α) 1 kg C απαιτεί για την καύση του:  $2,66 \times 100/23 = 11,6$  kg αέρα.

β) 1 kg H απαιτεί για την καύση του:  $8 \times 100/23 = 34,8$  kg αέρα.

Επομένως ο αέρας A που απαιτείται για να καεί 1 kg πετρελαίου που περιέχει C% άνθρακα και H% υδρογόνο θεωρητικά είναι:

$$A = 11,6 \frac{C}{100} + 34,8 \frac{H}{100} = 0,116 C + 0,348 H \text{ kg αέρα/kg καυσίμου} \quad (5)$$

Οι υπολογισμοί αυτοί τροποποιούνται ελάχιστα αν το πετρέλαιο περιέχει θείο S, του οποίου η εξίσωση καύσεως είναι:



Επομένως, κάθε kg θείου απαιτεί 1 kg οξυγόνου για να καεί ή  $1 \times 100/23 = 4,35$  kg αέρα. Αν λοιπόν το καύσιμο, εκτός από C και H περιέχει και S, σε ποσοστό S%, τότε η εξίσωση (5) παίρνει τη μορφή της παρακάτω εξισώσεως (6):

$$A = 0,116 C + 0,348 H + 0,0435 S \text{ kg αέρα/kg καυσίμου} \quad (6)$$

Αν τέλος, το καύσιμο περιέχει και οξυγόνο, η ποσότητά του πρέπει να εκπεσθεί από το οξυγόνο που χρειάζεται για την καύση του υδρογόνου, οπότε η εξίσωση (6) παίρνει την παρακάτω τελική της μορφή:

$$A = 0,116 C + 0,348 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 0,0435 S \text{ kg αέρα/kg καυσίμου} \quad (7)$$

Οι διαφορές πάντως στην ποσότητα αέρα που απαιτείται για την καύση με την παρουσία θείου ή οξυγόνου στο καύσιμο δεν είναι σημαντικές, έτσι που η εξίσωση (5) είναι αρκετή για να υπολογίζεται με ικανοποιητική προσέγγιση η ποσότητα του αέρα που θεωρητικά απαιτείται για την καύση οιουδήποτε καυσίμου, όπως φαίνεται από τα παρακάτω παράδειγμα:

Δίνεται πετρέλαιο με την ακόλουθη σύσταση:

- Άνθρακας = 83%
- Υδρογόνο = 12%
- Θείο = 3%
- Οξυγόνο = 1%

Η ποσότητα του αέρα που απαιτείται για την καύση του πετρελαίου, είναι:

1) Χωρίς τον υπολογισμό οξυγόνο και θείου (εξίσωση 5):

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,116 C + 0,348 H = 0,116 \cdot 83 + 0,348 \cdot 12 = \\ &= 13,804 \text{ kg αέρα / kg καυσίμου.} \end{aligned}$$

2) Λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία του θείου (εξίσωση 6):

$$\begin{aligned} A_2 &= 0,116 C + 0,348 H + 0,0435 S = 0,116 \cdot 83 + 0,348 \cdot 12 + 0,0435 \cdot \\ 3 &= \underline{\underline{13,934}} \text{ kg aéra/kg kausímu} \end{aligned}$$

3) Με την πλήρη σύνθεση του καυσίμου, τέλος, απαιτείται ποσότητα αέρα σύμφωνα με την εξίσωση (7):

$$\begin{aligned} A_3 &= 0,116 C + 0,348 (H - \frac{O}{8}) + 0,0435 S = 0,116 \cdot 83 + 0,348 (12 - \frac{1}{8}) \\ &+ 0,0435 \cdot 3 = \underline{\underline{13,891}} \text{ kg aéra/kg kausímu}. \end{aligned}$$

Για την εξασφάλιση τέλειας καύσεως, που τόσο μεγάλη σημασία έχει για κάθε θερμική μηχανή και ιδιαίτερα για τις μηχανές Diesel (βαθμός αποδόσεως, ρύπανση) δεν αρκεί η ποσότητα αέρα που υπολογίζεται θεωρητικά με βάση τις παραπάνω εξισώσεις. Απαιτείται η παροχή μιας **περίσσειας αέρα**, που κυμαίνεται από 50-100% της ποσότητας που υπολογίζεται θεωρητικά.

**Συντελεστής περίσσειας λ** ονομάζεται ο λόγος της ποσότητας αέρα που απαιτείται για την τέλεια καύση, προς τον αέρα που υπολογίζεται θεωρητικά. Αν έτσι στο προηγούμενο παράδειγμα παρέχονται 16 kg αέρα/kg καυσίμου, ο συντελεστής περίσσειας θα είναι:

$$\lambda = 16/13,9 = 1,15$$

Η ατελής καύση γίνεται αντιληπτή κυρίως από το μαύρο χρώμα των καυσαερίων, που οφείλεται στα λεπτότατα τεμαχίδια άκαυστου άνθρακα. Το υδρογόνο, επειδή έχει μεγαλύτερη χημική συγγένεια με το οξυγόνο σε σύγκριση με τον άνθρακα, καίεται ευκολότερα, επομένως οι συνέπειες από την ανεπάρκεια αέρα πηγαίνουν κατά κανόνα στον άνθρακα. Αποτελέσματα της ατελούς καύσεως είναι η ρύπανση των κυλίνδρων της μηχανής και η μείωση του θερμικού βαθμού αποδόσεως, που οδηγεί σε μεγαλύτερες καταναλώσεις καυσίμου.

Για να βρεθεί ο όγκος αέρα που απαιτείται για την καύση, πράγμα που είναι απαραίτητο, γιατί το βάρος ενός αερίου δύσκολα μετράται, αρκεί να διαιρεθεί το βάρος με το ειδικό βάρος του αέρα που είναι 1,293 kg/m<sup>3</sup>.

$$V_{\text{aéra}} = \frac{B_{\text{aéra}}}{1,293} \text{ m}^3 \quad (8)$$

Η ποσότητα αυτή προσαρμόζεται στις πραγματικές τιμές, ανάλογα με τη θερμοκρασία και την πίεση, με βάση τον τύπο:

$$V_{\text{PR}} = V_{\theta} \frac{T + 273}{273} \cdot \frac{760}{P}$$

όπου:  $V_{\text{PR}}$  ο όγκος του αέρα στις πραγματικές συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας που επικρατούν στη δεδομένη περίπτωση.

$V_{\theta}$  ο όγκος του αέρα που προκύπτει από τους υπολογισμούς από τους τύπους (5), (6), (7) και (8).

T η θερμοκρασία του αέρα, σε °C και

Ρ η πίεση του αέρα, σε mm στήλης Hg.

Έτσι για το καυσίμο του παραδείγματος της σελίδας 114 για θερμοκρασία 27°C και πίεση 765 mm Hg απαιτούνται:

$$V_{\text{PP}} = \frac{13,9}{1,293} \cdot \frac{27 + 273}{273} \cdot \frac{760}{765} = 11,72 \text{ m}^3 \text{ αέρα/kg καυσίμου}$$

και με λ = 1,25, θα έχουμε  $V_{\text{PP}} = 11,72 \times 1,25 = 14,65 \text{ m}^3/\text{kg καυσίμου}$ .

## 9.2 Σημασία της καύσεως.

Η καύση έχει πρωταρχική σημασία για κάθε θερμική μηχανή, της οποίας την απόδοση επηρεάζει με διο τρόπους:

**α) Ποσοτικά**, γιατί η τέλεια καύση εξασφαλίζει και μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως της μηχανής.

**β) Ποιοτικά**, γιατί μεταξύ των προϊόντων καύσεως μπορεί να υπάρχουν συστατικά επικίνδυνα για τη μηχανή, όπως π.χ. τα εξανθρακώματα, η παρουσία των οποίων εξαρτάται βέβαια από την αρχική ποιότητα του καυσίμου, αλλά και από τις συνθήκες καύσεως.

Η καύση του πετρελαίου στις μηχανές Diesel παρουσιάζει συχνά αρκετά προβλήματα, για τα οποία γίνεται λόγος στο κεφάλαιο 8. Τα προβλήματα αυτά επηρεάζονται από τους εξής κυρίως παράγοντες, που εξετάζονται στην επόμενη παράγραφο:

- α) Ποιότητα καυσίμου.
- β) Συνθήκες καύσεως.
- γ) Σύστημα εγχύσεως.
- δ) Λειτουργικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

## 9.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση του πετρελαίου σε μηχανές Diesel.

### 9.3.1 Βαθμός συμπίεσεως.

Ο βαθμός συμπίεσεως  $r$ , δηλαδή η σχέση  $V_1/V_2$  του αρχικού όγκου  $V_1$  στον κύλινδρο πριν τη συμπίεση προς τον τελικό όγκο  $V_2$  στο τέλος της συμπίεσεως, σχετίζεται με τις τιμές της τελικής πίεσεως  $P_2$  και της τελικής θερμοκρασίας  $T_2$  που επιτυγχάνονται στο τέλος της συμπίεσεως, όπως προκύπτει και από τον τύπο της αδιαβατικής αλλαγής, που με αρκετή προσέγγιση ισχύει για τη συμπίεση στις μηχανές εσωτερικής καύσεως:

$$\boxed{\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}} \quad (1)$$

ή

$$\boxed{\frac{V_1}{V_2} = r = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}} \quad (2)$$

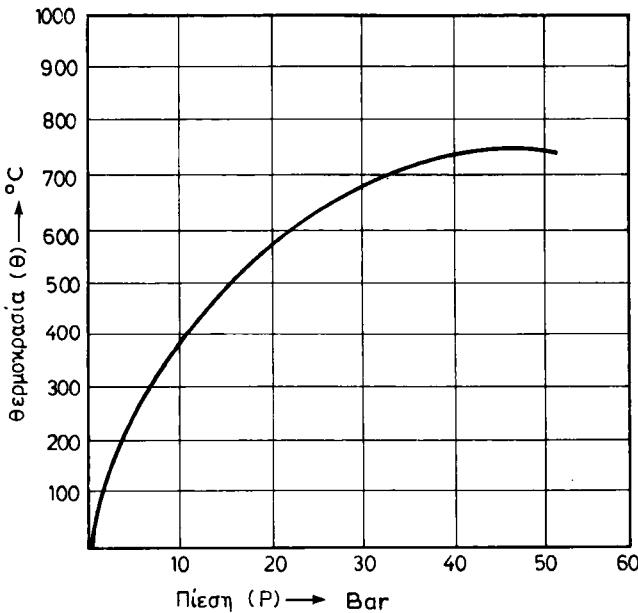
Για να εξασφαλισθεί θερμοκρασία αέρα αρκετή ώστε να προκαλέσει αυτανά-  
φλεξη του καυσίμου που ψεκάζεται από τον εγχυτήρα στον κύλινδρο (400-500  
°C) πρέπει η τελική πίεση να είναι περίπου 30 bar, για την οποία απαιτείται βαθ-  
μός συμπιέσεως πάνω από 12:1.

Πραγματικά, για αρχική θερμοκρασία  $67^{\circ}\text{C}$  ( $T_1 = 67 + 273 = 340$ ) θα έχομε  
τελική θερμοκρασία  $T_2$  σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις (1) και (2):

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = 340 \times 30 \times \frac{1}{12} = 850^{\circ}\text{K}$$

Επομένως η τελική θερμοκρασία θα είναι  $t_2 = 850 - 273 = 577^{\circ}\text{C}$  και παρά τις  
απώλειες θερμότητας που μειώνουν τη θερμοκρασία  $t_2$ , η θερμοκρασία αυτή είναι  
ικανή να αναφλέξει εύκολα το ψεκαζόμενο καύσιμο.

Τη σχέση μεταξύ της τελικής πίεσεως στο τέλος της συμπιέσεως και της θερ-  
μοκρασίας που ο συμπιεζόμενος αέρας αποκτά, δείχνει το διάγραμμα του σχήμα-  
τος 9.3.



Σχ. 9.3.  
Σχέση συμπιέσεως και θερμοκρασίας.

Για αρχική π.χ. θερμοκρασία αέρα  $45^{\circ}\text{C}$  και αρχική πίεση 1 bar, για να επιτευ-  
χθεί τελική πίεση 40 bar για την οποία απαιτείται βαθμός συμπιέσεως  $r = 13 : 1$ , η  
τελική θερμοκρασία του αέρα θα είναι  $705^{\circ}\text{C}$ .

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = (45 + 273) \cdot \left(\frac{40}{1}\right) \cdot \left(\frac{1}{13}\right) = 978^{\circ}\text{K} = 705^{\circ}\text{C}$$

Έτσι εξηγείται γιατί οι πετρελαιομηχανές έχουν πολύ μεγαλύτερο βαθμό συμ-

πιέσεως (12:1 μέχρι 22:1) σε σχέση με τις βενζινομηχανές, όπου ο βαθμός συμπλέσεως δεν ξεπερνάει το 10:1. Πρέπει δημοσ να διευκρινισθεί ότι για τις βενζινομηχανές συμπίεση μεγαλύτερη από 10:1, ούτε χρειάζεται χάρη στο σπινθηριστή που εξασφαλίζει άνετη ανάφλεξη, αλλά και ούτε είναι δυνατή, γιατί το φαινόμενο του κτυπήματος στη μηχανή πάνω από το όριο 10:1 δύσκολα αντιμετωπίζεται από τις βενζίνες που σήμερα παράγουν τα διυλιστήρια.

Για τις μηχανές Diesel η μεγάλη τιμή του βαθμού συμπλέσεως έχει τις παρακάτω συνέπειες:

- Καταργεί τους σπινθηριστές.
- Έχει μεγαλύτερο βαθμό θερμικής αποδόσεως, άρα μικρότερη κατανάλωση, και μάλιστα σε καύσιμο φθηνότερο από αυτό που χρησιμοποιεί η βενζινομηχανή, άρα κόστος λειτουργίας πολύ χαμηλότερο για την ίδια ιπποδύναμη. Η κατανάλωση καυσίμου για μία βενζινομηχανή είναι 200-250 g/HP.h, ενώ για μία αντίστοιχη μηχανή Diesel είναι 140-180 g/HP.h, που οδηγούν σε βαθμούς αποδόσεως  $\eta_{\theta} = 0,25-0,31$  για τη βενζινομηχανή και για τη μηχανή Diesel  $\eta_{\theta} = 0,35-0,45$ .
- Απαιτεί ισχυρότερη κατασκευή, για να αντιμετωπίζονται ικανοποιητικά οι θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις που αναπτύσσονται από τις υψηλότερες τιμές πιέσεως και θερμοκρασίας.

### 9.3.2 Διασκορπισμός του καυσίμου.

Ο βαθμός διασκορπισμού ή ψεκασμού του καυσίμου είναι ανάλογος προς τον αριθμό των σταγονίδιων, στα οποία ορισμένη ποσότητα ενός καυσίμου διασπάται κατά την έγχυση στο θάλαμο καύσεως της μηχανής. Επιδιώκεται ώστε ο αριθμός αυτός των σταγονίδιων, δηλαδή ο βαθμός διασκορπισμού του καυσίμου, να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος, ώστε η εξωτερική επιφάνεια που το καύσιμο παρουσιάζει σε επαφή με τον αέρα να είναι αρκετή ώστε να εξασφαλίζεται τέλεια καύση.

Επειδή η έναυση του καυσίμου γίνεται στην επιφάνεια που βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα, επόμενο είναι η ταχύτητα με την οποία η καύση προχωρεί να εξαρτάται από την εκτεθειμένη επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο όρος **ειδική επιφάνεια**, που μαθηματικά ορίζεται με τη σχέση:

$$S = \frac{E}{V}$$

όπου: E η εξωτερική επιφάνεια, σε  $\text{cm}^2$ , του καυσίμου που βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα.

V ο όγκος του καυσίμου, σε  $\text{cm}^3$ , στον οποίο η επιφάνεια E ανήκει.

S η ειδική επιφάνεια σε  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$  (διαστάσεις του S =  $\text{cm}^{-1}$ )

Έτσι μία σταγόνα υγρού διαμέτρου 1,24 cm έχει όγκο 1  $\text{cm}^3$  και εξωτερική επιφάνεια 4,83  $\text{cm}^2$ . Αν η σταγόνα αυτή διασπασθεί σε 1 000 000 ισομεγέθη σφαιρικά σταγονίδια, τότε το καθένα από αυτά θα έχει όγκο  $10^{-6} \text{ cm}^3$  και διάμετρο  $\Delta = \sqrt[3]{6V/\pi} = 0,0124 \text{ cm}$  και επιφάνεια  $E = 3,14 \times 0,0124^2 = 0,000483 \text{ cm}^2$  άρα τα 1 000 000 θα έχουν ολική επιφάνεια 483  $\text{cm}^2$ , δηλαδή 100 φορές μεγαλύτερη από όση επιφάνεια είχε η μία σταγόνα. Στην πρώτη περίπτωση η ειδική επι-

φάνεια είναι:

$$S_1 = E/V = 4,83/1 = 4,83 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

ενώ μετά το διασκορπισμό θα είναι:

$$S_2 = E/V = 483/1 = 483 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

δηλαδή εκατό φορές μεγαλύτερη.

Οι εγχυτήρες έχουν ως αποστολή τον ψεκασμό του πετρελαίου σε βαθμό ώστε η ειδική επιφάνεια να έχει τιμές πάνω από  $1500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ .

Ο βαθμός διασκορπισμού του πετρελαίου στις μηχανές Diesel εξαρτάται από τους εξής παράγοντες.

**a) Πίεση εγχύσεως.** Είναι η πίεση με την οποία το πετρέλαιο ψεκάζεται διά της αντλίας εγχύσεως στο θάλαμο καύσεως της μηχανής. Η πίεση αυτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 300 bar.

**b) Πίεση αέρα.** Η πίεση του αέρα, όπως έχει διαμορφωθεί από τη συμπίεση στον κύλινδρο της μηχανής επηρεάζει επίσης το βαθμό διασκορπισμού. Πίεση συμπιέσεως πάνω από 30 bar προκαλεί αρκετή αντίσταση στα σταγονίδια που εγχέονται μέσα στον κύλινδρο, διαμορφώνοντας ευνοϊκά τον αρχικό διασκορπισμό.

**γ) Ιξώδες του καυσίμου.** Ο βαθμός διασκορπισμού εξαρτάται άμεσα από την τιμή του ιξώδους του καυσίμου προς την οποία είναι αντιστρόφως ανάλογος. Με τη σωστή προθέρμανση εξασφαλίζεται τιμή ιξώδους που δίνει τον καλύτερο διασκορπισμό και είναι 5-15 cSt. Η προθέρμανση αυτή καθορίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια από τα διαγράμματα ιξώδους-θερμοκρασίας (παράγρ. 8.5.2) που οι διάφορες εταιρίες θέτουν στη διάθεση των μηχανικών.

**δ) Είδος του εγχυτήρα.** Με την κατάλληλη ρύθμιση του αριθμού των οπών, του μεγέθους και του σχήματος που έχουν, καθώς επίσης της κλίσεως υπό την οποία είναι τοποθετημένες, επιδιώκεται ώστε το καύσιμο να μην εγχέεται σαν κυλινδρική δέσμη, αλλά τα σταγονίδια του να σχηματίζουν νέφος κωνικού σχήματος, που εξασφαλίζει καλύτερη επαφή των διασκορπιζομένων σταγονίδιων με τον αέρα.

### 9.3.3 Διείσδυση.

Εκτός από το βαθμό διασκορπισμού, αποφασιστική σημασία έχει για την καύση και η δυνατότητα του καυσίμου να διεισδύει σε αρκετό βάθος μέσα στον αέρα που βρίσκεται στο θάλαμο καύσεως κατά την έγχυση και μάλιστα με υψηλή σχετικά πίεση (30-50 bar). Η ικανότητα διεισδύσεως εξαρτάται από την κινητική ενέργεια των σταγονιδίων, δηλαδή από την ταχύτητα και τη μάζα τους ( $E_k = mv^2/2$ ), άρα και από το μέγεθός τους. Είναι φανέρω λοιπόν ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των σταγονιδίων, δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός διασκορπισμού, τόσο η ικανότητα διεισδύσεως είναι μικρότερη. Αν η διείσδυτικότητα είναι πολύ μικρή, είναι πιθανό η ανάφλεξη του καυσίμου να γίνει κοντά στο προστόμιο του καυστήρα, και να έχομε ατελή καύση με τα γνωστά δυσάρεστα επακόλουθα (ρύπανση, μειωμένη απόδοση).

Και η ικανότητα διεισδύσεως του καυσίμου, εξαρτάται από το ιξώδες του, κατά τρόπο όμως αντίθετο από το βαθμό διασκορπισμού, δηλαδή αυξάνεται όσο το ιξώδες του καυσίμου είναι μεγαλύτερο.

Συμπεραίνομε λοιπόν, ότι οι δύο αυτές απαιτήσεις για την καλή καύση του πετρελαίου στις μηχανές Diesel, δηλαδή ο βαθμός διασκορπισμού και η διεισδυτικότητα, είναι ασυμβίβαστες μεταξύ τους, αφού η μία απαιτεί μεγάλο ιξώδες ενώ η δεύτερη χαμηλές τιμές ιξώδους. Για το λόγο αυτό οι προδιαγραφές για το πετρέλαιο Diesel καθορίζουν ανώτατα και κατώτατα όρια τιμών ιξώδους (πίνακας 6.1). Για το μαζούτ και γενικά για τα βαριά καύσιμα μόνον ανώτατα όρια ιξώδους καθορίζονται (πίνακας 8.3.1) γιατί συνήθως προθερμαίνονται.

### **9.3.4 Χρόνος εγχύσεως (προπορεία).**

Η έγχυση του καυσίμου στο θάλαμο καύσεως της μηχανής ρυθμίζεται ώστε να γίνεται λίγες μοίρες πριν από το ΑΝΣ, δηλαδή πριν από το τέλος της συμπιέσεως. Έτσι έχουμε μία **προπορεία εγχύσεως (advance)** που έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη αύξηση της τελικής πιέσεως, άρα καλύτερη απόδοση. Η προπορεία αυτή ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της μηχανής και καθορίζεται με ακρίβεια από τον κατασκευαστή.

Ως προς την προπορεία εγχύσεως διακρίνομε δύο περιπτώσεις ανωμαλιών:

**α) Προπορεία μικρότερη της κανονικής**, δηλαδή καθυστέρηση της εγχύσεως πέρα από εκείνη που ο κατασκευαστής προβλέπει, επιφέρει μείωση της τελικής πιέσεως, άρα ελάττωση της ισχύος, που όπως είναι γνωστό εξαρτάται από τη (μέση) πίεση. Μπορεί ακόμα να έχουμε καθυστέρηση εναύσεως, ιδίως όταν η ποιότητα καύσεως του πετρελαίου (αριθμός κετανίου) είναι κάτω της κανονικής (παράγρ. 6.2).

**β) Προπορεία μεγαλύτερη της κανονικής**, δηλαδή έγχυση του καυσίμου νωρίτερα από τα προβλεπόμενα, έχει σαν συνέπεια αύξηση της τελικής πιέσεως μεγαλύτερη από εκείνη που επιδιώκεται με την κανονική προπορεία. Αυτό προκαλεί καταπόνηση της μηχανής πέρα από τα όρια αντοχής, που ο κατασκευαστής έχει υπολογίσει, πράγμα που είναι ανεπιθύμητο παρά την αύξηση της ισχύος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

### ΚΑΥΣΙΜΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 10.1 Γενικά περί αεριοστροβίλων.

Τα πλοία του Εμπορικού Ναυτικού που σήμερα κινούνται με αεριοστροβίλους είναι πολύ λίγα, ενώ αντίθετα η πρόωση με αεριοστρόβιλο στα πολεμικά πλοία κατάκτα συνεχώς έδαφος. Αυτό οφείλεται στο ότι τα κύρια χαρακτηριστικά των αεριοστροβίλων σε σύγκριση με τα άλλα πρωτότυπα συστήματα (ΜΕΚ - ατμοστρόβιλοι) είναι:

- α) Υψηλή κατανάλωση, που για τα εμπορικά πλοία είναι παράγοντας σχεδόν απαγορευτικός.
- β) Μεγάλη ειδική ισχύς που για τα πολεμικά πλοία και αεροπλάνα αποτελεί ένα πολύ μεγάλης σημασίας πλεονέκτημα που εξουδετερώνει το μειονέκτημα της υψηλής καταναλώσεως [παράγρ. 10.1 (ζ)].

Έτσι, παρά την περιορισμένη σημασία που ο αεριοστρόβιλος έχει για το εμπορικό ναυτικό, κρίνεται σκόπιμο να εξετασθούν στο κεφάλαιο αυτό, συνοπτικά όσα αφορούν τα καύσιμά του, διότι:

- Ο αεριοστρόβιλος σήμερα αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα είδη θερμικών μηχανών.
- Υπάρχουν θετικές ενδείξεις ότι στο μέλλον η χρήση του στο εμπορικό ναυτικό θα επεκταθεί, σε βάρος των άλλων πρωτότυπων συστημάτων.

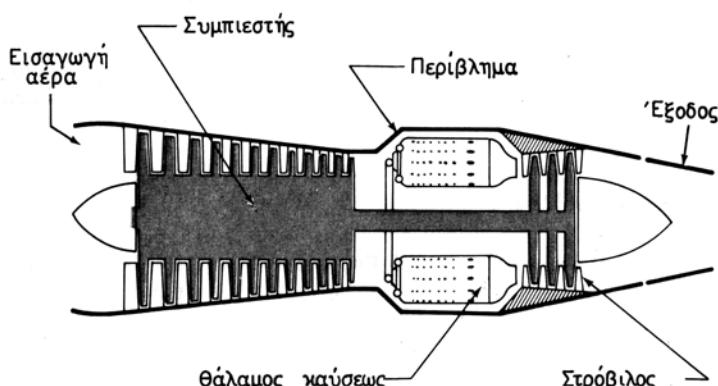
Ο αεριοστρόβιλος (Gas-Turbine Engine) είναι μία μηχανή εσωτερικής καύσεως, όπως οι μηχανές που εργάζονται με τον κύκλο Όπτο (βενζινομηχανές) και εκείνες που εργάζονται με τον κύκλο Diesel (πετρελαιομηχανές), ως προς τις οποίες έχει τις εξής κύριες διαφορές:

- α) Είναι συνεχούς καύσεως και μάλιστα υπό σταθερή πίεση.
- β) Φορέας της ενέργειας είναι κυρίως ο αέρας, και όχι τα καυσαέρια όπως συμβαίνει στις εμβολοφόρες ΜΕΚ (βενζινομηχανές και πετρελαιομηχανές).
- γ) Η αναλογία αέρα/καυσίμου είναι πολύ υψηλή (60:1 ως 120:1) σε σχέση με τις άλλες ΜΕΚ. Απαιτείται συνεπώς πολύ μεγάλη ποσότητα αέρα, που εξασφαλίζεται από ειδικό αεροσυμπιεστή που απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ισχύος (περίπου τα  $\frac{2}{3}$ ).
- δ) Η καύση γίνεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία ( $1800^{\circ}\text{C}$ ) που μειώνεται κατά την αραίωση με αέρα στους  $800-850^{\circ}\text{C}$  που ο στρόβιλος μπορεί να ανεχθεί.
- ε) Η συμπίεση του αέρα στις μηχανές Diesel γίνεται με την αδράνεια του σφονδύλου, που εξακολουθώντας να κινείται, ωθεί το έμβολο προς τα πάνω, ενώ στον αεριοστρόβιλο η συμπίεση γίνεται σε ιδιαίτερο συμπιεστή, που, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, απορροφά τα δύο τρίτα της ισχύος της μηχανής.
- στ) Στον αεριοστρόβιλο όλες οι φάσεις λειτουργίας (εισαγωγή, συμπίεση, καύση, εξαγωγή) γίνονται **συγχρόνως και συνεχώς**, αλλά σε ξεχωριστά τμήματα

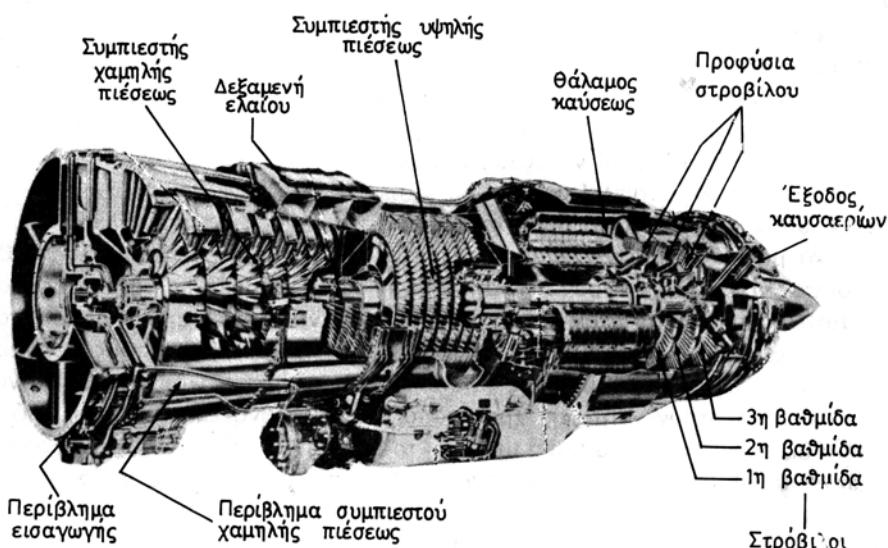
της μηχανής, ενώ στις άλλες ΜΕΚ γίνονται χωριστά και διαδοχικά αλλά στον ίδιο χώρο (κύλινδρος).

ζ) Η ειδική ισχύς (σχέση πποδυνάμεως προς το βάρος) είναι καλύτερη στον αεριοστρόβιλο σε σχέση με τις άλλες μηχανές και κυρίως με τη Diesel, πράγμα που έχει ιδιαίτερη σημασία για την πρόωρη αεροπλάνων, αλλά και ελαφρών ταχέων σκαφών, π.χ. τορπιλλακάτων. Αντίθετα η ειδική κατανάλωση και συνεπώς ο θερμικός βαθμός αποδόσεως υστερεί σημαντικά από τις μηχανές Diesel.

Στο σχήμα 10.1α φαίνονται σκαριφηματικά τα κύρια μέρη ενός αεριοστροβίλου, ενώ στο σχήμα 10.1β απεικονίζεται η τομή ενός συνήθους τύπου αεριοστροβίλου.



Σχ. 10.1α.  
Κύρια μέρη ενός αεριοστροβίλου.



Σχ. 10.1β.  
Τομή αεριοστροβίλου Pratt-Whitney (JT 3C).

Η έναυση και η καύση του καυσίμου γίνεται σε ειδικούς θαλάμους συνεχούς καύσεως, όπου το καύσιμο ψεκάζεται από την αντλία καυσίμου με πίεση 30-50 bar, που είναι πολύ κατώτερη των πιέσεων που συνήθως επιτυγχάνουν οι αντλίες καυσίμου των μηχανών Diesel (200-300 bar). Η ανάφλεξη του καυσίμου μετά την εκνέφωσή του γίνεται με ισχυρούς ηλεκτρικούς αναφλεκτήρες (μπουζί), ενώ η καύση συνεχίζεται κατόπιν μόνη της, χάρη στην υψηλή θερμοκρασία, που δημιουργείται στους θαλάμους καύσεως (1800°C).

Ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιήθηκε αρχικά σχεδόν αποκλειστικά για την πρώτη αεροσκαφών, όπου παρά το χαμηλό βαθμό θερμικής αποδόσεως, παρουσιάζει αναμφισβήτητη υπεροχή ως προς την ειδική ισχύ (σχέση ιπποδυνάμεως-βάρους μηχανής), έτσι ώστε να έχει προ πολλού εκτοπίσει στον τομέα αυτό τις βενζινομηχανές.

Σήμερα η χρήση του αεριοστροβίλου έχει επεκταθεί τόσο στην πρώση πλοίων (κυρίως πολεμικών) όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές, χάρη στις βελτιώσεις που έχουν εφαρμοσθεί και κυρίως στη δυνατότητα λειτουργίας του με φθηνότερα καύσιμα όπως το Diesel και το μαζούτ.

## 10.2 Καύσιμα αεριοστροβίλων.

Ο αεριοστρόβιλος, όπως είναι γνωστό περιστρέφεται και παράγει έργο από την κινητική ενέργεια του μίγματος αέρα -καυσαερίων που στέλνουν οι θάλαμοι καύσεως και οι συμπιεστές. Τα αέρια αυτά, με μεγάλη ταχύτητα, σημαντική πίεση και υψηλή θερμοκρασία πλήγουν τα πτερύγια του στροβίλου που παρουσιάζουν έτσι μεγάλη ευπάθεια και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, ιδίως ως προς τη σύσταση των αερίων αυτών και κυρίως την παρουσία ξένων προσμίξεων. Η ενέργεια των προσμίξεων αυτών, υπό τις συνθήκες με τις οποίες ενεργούν στα πτερύγια του στροβίλου, θα μπορούσε να προκαλέσει τη γρήγορη καταστροφή τους. Γ' αυτό η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου για τη λειτουργία του αεριοστροβίλου, έχει αποφασιστική σημασία για την απόδοση και τη ζωή των μηχανών αυτών.

Θεωρητικά κάθε καύσιμη ύλη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία των αεριοστροβίλων, αφού οι θάλαμοι καύσεως βασικά λειτουργούν σαν κοινές εστίες καύσεως, αρκεί να εξασφαλισθεί:

- Ικανοποιητική ανάφλεξη.
- Καυσαέρια που να μη προσβάλλουν τα πτερύγια των στροβίλων.

Αρχικά μόνο η κεροζίνη (φωτιστικό πετρέλαιο) ή μίγματα κεροζίνης-νάφθας, μπορούσαν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις αυτές. Σήμερα η χρήση των καυσίμων αυτών περιορίζεται στην πρώση αεριωθουμένων αεροπλάνων, όπου η ποιότητα του καυσίμου είναι εξαιρετικά κρίσιμη για την ασφάλειά τους. Αντίθετα, στους ναυτικούς αεριοστροβίλους (Marinized Gasturbines) και σε βιομηχανικές εφαρμογές (ηλεκτρογεννήτριες) χρησιμοποιούνται φθηνότερα καύσιμα, από πετρέλαιο Diesel ως βαριά καύσιμα με βάση το μαζούτ. Τα τελευταία χρόνια δοκιμάζεται ακόμα και η χρήση κονιοποιημένου γαιάνθρακα για τη λειτουργία αεριοστροβίλων, πράγμα που θα κάνει το κόστος λειτουργίας τους ανταγωνιστικό προς τα άλλα είδη θερμικών μηχανών και κυρίως των μηχανών Diesel.

Μπορούμε συνεπώς να κατατάξουμε τα καύσιμα των αεριοστροβίλων σε τρεις κατηγορίες:

- α) Κεροζίνη και μίγματα κεροζίνης-νάφθας.
- β) Πετρέλαιο Diesel.
- γ) Βαριά καύσιμα (μαζούτ).

Προτού εξετασθούν τα κύρια χαρακτηριστικά των καυσίμων αυτών, στην επόμενη παράγραφο εξετάζεται το φαινόμενο της καύσεως στους θαλάμους καύσεως των αεριοστροβίλων.

### 10.3 Η καύση στους θαλάμους καύσεως.

Η καύση στους θαλάμους καύσεως των αεριοστροβίλων ακολουθεί τέσσερα στάδια:

- α) Το σχηματισμό κατάλληλου μίγματος καυσίμου-αέρα.
- β) Την ανάφλεξη του μίγματος.
- γ) Τη μετάδοση της καύσεως.
- δ) Την αραίωση των καυσαερίων με αέρα, ώστε να ελαττωθεί η θερμοκρασία τους σε ανεκτά για τα πτερύγια του στροβίλου όρια.

Τα τρία πρώτα στάδια είναι κοινά για δλες τις θερμικές μηχανές ενώ το τέταρτο (αραίωση-ψύξη των καυσαερίων) εμφανίζεται μόνο στον αεριοστρόβιλο. Ή εξαρίωση του καυσίμου γίνεται μετά ικανοποιητικό ψεκασμό και με το στροβιλισμό του πρωτογενούς αέρα καύσεως, που μπαίνει στο θάλαμο με μικρή σχετικά ταχύτητα. Στην εξαερίωση πάντως συμβάλλουν ακόμα:

- Η θερμότητα που προέρχεται από την ακτινοβολία του μετώπου της φλόγας.
- Η θερμότητα των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσεως.

Μετά την έναυση, η καύση ολοκληρώνεται με μεγάλη ταχύτητα, και το δλο φαινόμενο της καύσεως πάρνει πολύ έντονη μορφή, που γρήγορα ανεβάζει τη θερμοκρασία σε πολύ υψηλά επίπεδα ( $1800^{\circ}\text{C}$ ). Για το λόγο αυτό απαιτείται μείωση της θερμοκρασίας, που γίνεται με το δευτερεύοντα αέρα που ο συμπιεστής παρέχει.

Παρά την περίσσεια αέρα, η καύση του καυσίμου είναι πολλές φορές ατελής και δημιουργείται τάση προς παραγωγή αιθάλης, που οφείλεται σε τοπικά υπερπλούσια μίγματα. Μέρος της αιθάλης εξέρχεται με τα καυσαέρια και μέρος αποτίθεται επί του θαλάμου καύσεως υπό μορφή εξανθρακωμάτων. Τα εξανθρακώματα που παράγονται αποξέδμενα είναι πολύ επικίνδυνα για τα πτερύγια του στροβίλου, στα οποία προσκούουν με μεγάλη ταχύτητα, μπορούν συνεπώς να προκαλέσουν σοβαρές φθορές, τόσο από τη μηχανική δράση τους, δοσο και από χημικές διαβρώσεις, σε συνδυασμό με άλλες επιβλαβείς προσμίξεις που μπορεί να περιέχει το καύσιμο (βανάδιο, άλατα κτλ.). Μπορεί ακόμα τα ανθρακούχα αυτά κατάλοιπα να προκαλέσουν:

- α) Τοπική υπερθέρμανση και στρέβλωση του θαλάμου καύσεως.
- β) Έμφραξη των ακροφυσίων του στροβίλου.
- γ) Παρεμπόδιση της εναύσεως από αποθέσεις εξανθρακωμάτων στους σπινθηριστές:

δ) Άλλοιώση του σχήματος του εκνεφώματος του καυσίμου από αποθέσεις εξανθρακωμάτων στους καυστήρες.

Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται:

- α) Με την κατάλληλη σχεδίαση του θαλάμου καύσεως,
- β) Με την κατάλληλη ποιότητα του καυσίμου.

## 10.4 Ιδιότητες του καυσίμου που επιδρούν στην ποιότητα καύσεως.

Η ποιότητα καύσεως και τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει ένα κακής ποιότητας καύσιμο που προορίζεται για αεριοστροβίλους εξαρτώνται από μία σειρά ιδιοτήτων του καυσίμου από τις οποίες σπουδαιότερες είναι:

### 10.4.1 Ιξώδες.

Τα όρια των τιμών ιξώδους, που καθορίζουν οι προδιαγραφές καυσίμων, που προορίζονται για τη λειτουργία των αεριοστροβίλων, αποβλέπουν στο να ικανοποιούν δύο κυρίως λειτουργικές απαιτήσεις:

**α) Βαθμός διασκορπισμού**, δηλαδή ικανοποιητική εκνέφωση που θα επιτρέπει άνετη ανάφλεξη και τέλεια καύση. Για το σκοπό αυτό οι προδιαγραφές καθορίζουν ανώτατα όρια τιμών ιξώδους, ανάλογα με το είδος του καυσίμου.

**β) Λιπαντικότητα**, δηλαδή ποιότητα τέτοια που να εξασφαλίζει καλή λίπανση της αντλίας καυσίμου, που γίνεται με το ίδιο το καύσιμο. Η λιπαντικότητα εξαρτάται όμως από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε **αρωματικά**. Οι αρωματικοί υδρογονάθρακες είναι γενικά ανεπιθύμητοι σε μεγάλη περιεκτικότητα, γιατί ευνοούν τη δημιουργία εξανθρακωμάτων. Πάντως κατώτατα όρια τιμών ιξώδους δεν προδιαγράφονται.

### 10.4.2 Πτητικότητα.

Η πτητικότητα του καυσίμου, δηλαδή η ευκολία εξαεριώσεως, βρίσκεται σε άμεση σχέση με τη λειτουργία του κινητήρα, για όλα τα είδη θερμικών μηχανών. Πρόβλημα εξαεριώσεως στους αεριοστρόβιλους δεν υπάρχει, χάρη στον καλό ψεκασμό και τους υψηλής ενέργειας σπινθηριστές που εξασφαλίζουν άνετη ανάφλεξη. Υπάρχουν όμως ανώτατα όρια τιμών πτητικότητας, που καθορίζονται με τις προδιαγραφόμενες τιμές των θερμοκρασιών αποστάσεως και αφορούν τα καύσιμα των αεροπορικών αεριοστροβίλων (παράγρ. 10.5).

Τα όρια αυτά αποβλέπουν:

- Στον περιορισμό των απωλειών εξαεριώσεως των καυσίμων, ιδίως σε μεγάλα ύψη.
- Στην ασφαλή διακίνησή τους.

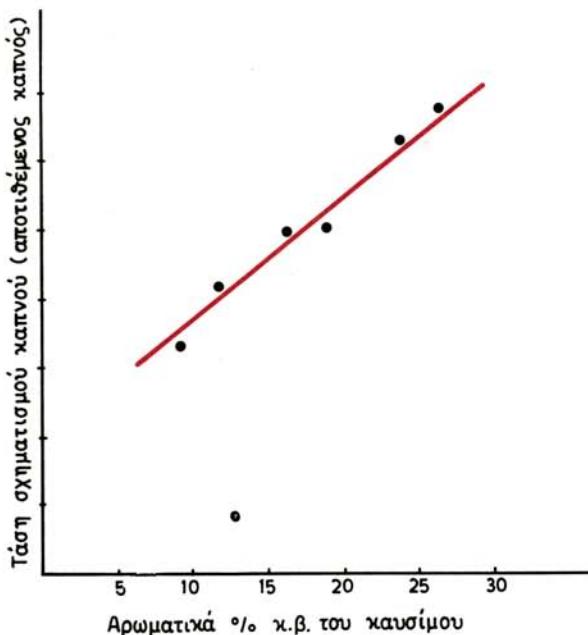
Η πτητικότητα επίσης ελέγχεται για ορισμένα καύσιμα των αεροπορικών αεριοστροβίλων με την τάση ατμών (RVP) όπως και στη βενζίνη [παράγρ. 5.3 (β)].

### 10.4.3 Σχηματισμός καπνού.

Στους θαλάμους καύσεως των αεριοστροβίλων υπάρχει έντονη τάση σχηματισμού καπνού, που προέρχεται από την πυροδιάσπαση υδρογονανθράκων, που προκαλεί τη δημιουργία εξανθρακώματων. Τα εξανθρακώματα αυτά προκαλούν την παραγωγή αιθαλίζουσας φλόγας (καπνός) και το σχηματισμό εναποθέσεων στον καυστήρα και γενικά στο θάλαμο καύσεως, με πολύ δυσάρεστες συνέπειες για την απόδοση και τη λειτουργία του αεριοστροβίλου (παράγρ. 10.3).

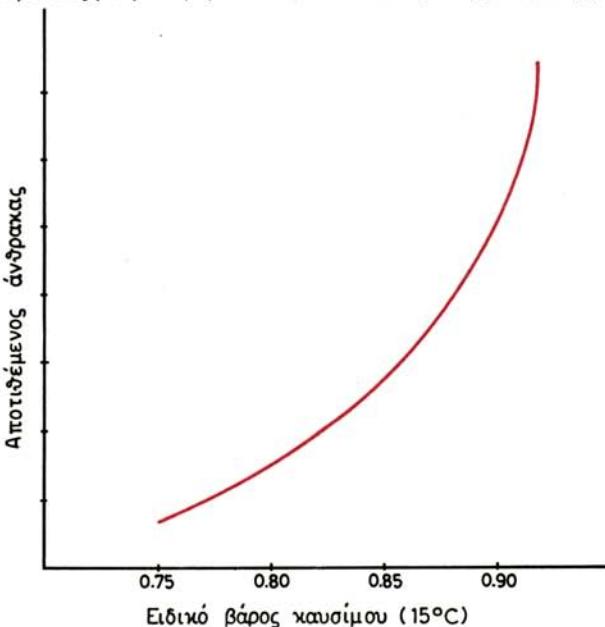
Η τάση αυτή σχηματισμού καπνού, εκτός από τους κατασκευαστικούς και λειτουργικούς παράγοντες (σχεδίαση θαλάμων καύσεως, παροχή αέρα κλπ.), εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ποιότητα του καυσίμου και κυρίως από την περιεκτικότητά του σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες [παράγρ. 3.5.2(ε)] προς την οποία

είναι σχεδόν ανάλογος, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος 10.4a. Στο διάγραμμα του σχήματος 10.4β φαίνεται η σχέση του αποτιθέμενου άνθρακα



Σχ. 10.4a.

Σχηματική διάταξη αεριοστροβίλου ανοικτού κυκλώματος με προθερμαντήρες αέρα.



Σχ. 10.4β.

με το ειδικό βάρος του καυσίμου, που όπως είναι γνωστό επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Το πρόβλημα αυτό έχει μεγαλύτερη σημασία στους αεροπορικούς αεριοστροβίλους, στα καύσιμα των οποίων προδιαγράφονται ανώτατα όρια περιεκτικότητας σε αρωματικές ενώσεις (παράγρ. 10.5.1).

Η τάση σχηματισμού καπνού, ελέγχεται εργαστηριακά με διάφορους τρόπους, κατά τους οποίους το καύσιμο καίγεται σε μία πρότυπη λάμπα. Σ' αυτήν η τάση σχηματισμού καπνού βαθμολογείται από τη φωτεινότητα της φλόγας ή από τις διαστάσεις της (κυρίως το ύψος) μέχρι τις οποίες το καύσιμο καίεται χωρίς να εμφανίζεται καπνός.

**Έμμεσα** η τάση για σχηματισμό καπνού μπορεί να προσδιορισθεί με βάση τις τιμές ορισμένων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών όπως είναι:

- α) Οι θερμοκρασίες αποστάξεως διαφόρων κλασμάτων.
- β) Η πυκνότητα.
- γ) Το σημείο ανιλίνης.
- δ) Το εξανθράκωμα.

που σχετίζονται με την παρουσία στο καύσιμο υδρογονανθράκων, όπως οι αρωματικοί, που ευνοούν το σχηματισμό εξανθρακωμάτων, άρα αυξάνουν την τάση σχηματισμού καπνού.

Δύο από τους συνηθέστερους εμπειρικούς τύπους που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι:

$$K = (t + 600) \cdot 0,7 \frac{HCR - 0,207}{HCR - 0,259} \quad (1)$$

ή

$$K = API + 0,1 AP - (S + C) \quad (2)$$

όπου: K οι εμπειρικοί συντελεστές που εκφράζουν την τάση σχηματισμού καπνού, για τους οποίους προδιαγράφονται ανώτατα όρια.

t η μέση τιμή θερμοκρασιών (σε °F) στις οποίες αποστάζουν τα κλάσματα 10%, 50% και 90%. Η τιμή της θερμοκρασίας t βρίσκεται από τον τύπο:

$$t = \frac{T_{10} + 2T_{50} + T_{90}}{4}$$

όπου:  $T_{10}$  η θερμοκρασία αποστάξεως του 10% του καυσίμου.

$T_{50}$  η θερμοκρασία αποστάξεως του 50% του καυσίμου.

$T_{90}$  η θερμοκρασία αποστάξεως του 90% του καυσίμου.

HCR η αναλογία H/C στο καύσιμο (Hydrogen / Carbon Ratio)

API η πυκνότητα σε μονάδες API.

AP το σημείο ανιλίνης (°F) (παράγρ. 15.12)

S η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο.

C το εξανθράκωμα Conradson, σε 10% υπόλειμμα αποστάξεως (παράγρ. 15.11).

#### **10.4.4 Ξένες προσμίξεις.**

Η παρουσία ξένων προσμίξεων στα καύσιμα που προορίζονται για αεριοστροβίλους, έχει εντελώς ιδιαίτερη σημασία, κυρίως λόγω της ευπάθειας των πτερυγίων στροβίλων από τα προϊόντα καύσεως, αν ληφθεί υπόψη η υψηλή θερμοκρασία και η μεγάλη ταχύτητα με την οποία τα καυσαέρια προσκρούουν στα πτερύγια. Ορισμένες από τις προσμίξεις μετά την καύση σχηματίζουν τέφρα, που προσβάλλει τα πτερύγια καταστρεπτικά με δύο τρόπους.

- a) Μηχανικές φθορές λόγω της τεράστιας κινητικής ενέργειας που αποκτούν.
- β) Διαβρωτικές δράσεις, τις οποίες προκαλεί η παρουσία στην τέφρα ορισμένων εξαιρετικά επιβλαβών στοιχείων όπως το θείο S, το βανάδιο V, το νάτριο Na, το νικέλιο Ni κλπ. που δρούν μόνα τους ή σε συνδυασμό μεταξύ τους.

Τα καύσιμα των αεροπορικών αεριοστροβίλων, που παράγονται με βάση την κεροζίνη (φωτιστικό πετρέλαιο) είναι σχεδόν τελείως απαλλαγμένα από ξένες προσμίξεις και συνεπώς δεν δημιουργούν τέτοια προβλήματα.

Στους ναυτικούς και βιομηχανικούς αεριοστροβίλους χρησιμοποιούνται καύσιμα από Diesel ως μαζούτ, που όταν περιέχουν ξένες προσμίξεις πάνω από ορισμένα όρια, μπορεί να προκαλέσουν πλήρη καταστροφή της μηχανής. Σημαντικότερο ρόλο από τις προσμίξεις αυτές παίζει το βανάδιο, ιδίως σε συνδυασμό με νάτριο. Τα δύο αυτά στοιχεία σχηματίζουν διάφορα άλατα που έχουν σχετικά χαμηλό σημείο τήξεως ( $550^{\circ}\text{C}$ ) και υπό μορφή τήγματος επικάθονται στα πτερύγια του στροβίλου, τα οποία και καταστρέφουν. Τα πρόβλημα αντιμετωπίζεται με δύο κυρίως τρόπους:

- α) Με τον καθορισμό οριακών τιμών προσμίξεων από τις προδιαγραφές και κυρίως του βαναδίου.
- β) Με τη χρήση χημικών προσθέτων, που εξουδετερώνουν την επιβλαβή δράση του βαναδίου, με μηχανισμό ανάλογο μ' αυτό που γίνεται στα καύσιμα των μηχανών Diesel (παράγρ. 8.5.4).

#### **10.5 Προδιαγραφές καυσίμων αεριοστροβίλων.**

Τα καύσιμα που σήμερα χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των αεριοστροβίλων ανήκουν σε τρεις κατηγορίες:

- α) Καύσιμα με βάση την κεροζίνη.
- β) Πετρέλαιο Diesel.
- γ) Βαριά καύσιμα (μαζούτ).

Οι προδιαγραφές των καυσίμων αυτών εξετάζονται συνοπτικά παρακάτω.

#### **10.5.1 Καύσιμα αεροπορικών αεριοστροβίλων.**

Είναι τα καλύτερης ποιότητας καύσιμα, άρα και τα ακριβότερα. Προορίζονται αποκλειστικά για τα αεριωθούμενα αεροπλάνα, όπου η υψηλή ποιότητα και κυρίως ο βαθμός καθαρότητας είναι στοιχεία κρίσιμα, όχι μόνο για την απόδοση αλλά και για την ασφάλεια.

Παράγονται με βάση την κεροζίνη, δηλαδή το φωτιστικό πετρέλαιο, το οποίο

από πλευρά αποστάξεως βρίσκεται μεταξύ της βενζίνης και του πετρελαίου Diesel. Ορισμένες κατηγορίες των καυσίμων αυτών περιέχουν και νάφθα, όπως είναι το καύσιμο που χρησιμοποιεί η Πολεμική Αεροπορία. Σημαντικότερα είδη καυσίμων της κατηγορίας αυτής, προς τα οποία τείνουν να περιορισθούν όλα τα διακινούμενα σήμερα καύσιμα αεριοστροβίλων (Jet Fuels) είναι δύο:

α) Το Jet – A1 που είναι σχεδόν αμιγής κεροζίνη.

β) Το Jet – B ή JP – 4 που είναι μίγμα κεροζίνης-νάφθας.

Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων αυτών καθορίζονται από αυστηρές προδιαγραφές (πίνακας 10.5.1).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10.5.1**  
**Προδιαγραφές καυσίμων αεριοστροβίλων (Jet fuels)**

Ιδιότητες	Jet-A1	Jet-B (JP-4)
1. Απόσταξη (°F)		
(α) Θερμοκρασία αποστάξεως 10% (min)	400	Αναφ.
(β) Θερμοκρασία αποστάξεως 20% (min)	Αναφ*	290
(γ) Θερμοκρασία αποστάξεως 50% (min)	Αναφ*	370
(δ) Θερμοκρασία αποστάξεως 90% (min)	Αναφ*	470
(ε) Τελική θερμοκρασία αποστάξεως	550	Αναφ*
2. Υπόλειμμα αποστάξεως, % κατά δύκο (max)	1,5	1,5
3. Ειδικό βάρος, API	45-57	36-48
4. Κομμιώδες υπόλειμμα (GUM), mg/100 cc (max)	7	7
5. Θείο % (max)	0,4	0,4
6. Τάση ατμών, κατά Reid (RVP), PSI	—	2-3
7. Σημείο ψύξεως (πήξεως) °F (max) (Freezing point)	—40	—76
8. Θερμαντική ικανότητα (BTU/lb) (min)	18300	18400
9. Γινόμενο αριθμού ανιλίνης-πυκνότητας	4500	5250
10. Ιεώδες σε -30°F, cSt, (max)	16,5	—**
11. Αρωματικά, % (max)	25	25
12. Ολεφίνες, % κ.ο. (max)	5	5
13. Σημείο αναφλέξεως °F (MIN)	140	—**

#### Παρατηρήσεις:

\* Οι τιμές απλώς αναφέρονται.

\*\* Δεν απαιτούνται δρια τιμών για τα χαρακτηριστικά αυτά.

#### 10.5.2 Πετρέλαιο Diesel.

Έχει τις ίδιες προδιαγραφές, όπως και το Diesel που χρησιμοποιείται για τις πετρελαιομηχανές (πίνακας 6.1.1).

Το καύσιμο αυτό προορίζεται για τους αεριοστροβίλους που χρησιμοποιούνται για την πρόωση πολεμικών πλοίων και σε αεριοστροβίλους που κινούν ηλεκτρογεννητρίες.

### 10.5.3 Βαριά καύσιμα (μαζούτ).

Τα ακριβά καύσιμα που χρησιμοποιούν οι αεριοστρόβιλοι απέκλειαν στην αρχή την εφαρμογή τους για την πρόωση πλοίων και μόνο στα πολεμικά πλοία, είναι δυνατή η εφαρμογή τους, όπου το κόστος επισκιάζεται από τα άλλα δύο σημαντικά πλεονεκτήματά τους.

α) Πολύ καλές τιμές ειδικής ισχύος (σχέση ισχύος-βάρους).

β) Άμεση ετοιμότητα λειτουργίας.

Παρόλα αυτά ο αεριοστρόβιλος εφαρμόζεται ήδη και στην πρόωση εμπορικών πλοίων, σε πολύ μικρή επί του παρόντος κλίμακα, αλλά με προοπτική να επεκταθεί αργότερα σε περισσότερα πλοία, αν η εκμετάλλευσή τους γίνει συμφερότερη, πράγμα για το οποίο χρειάζονται δυο πράγματα:

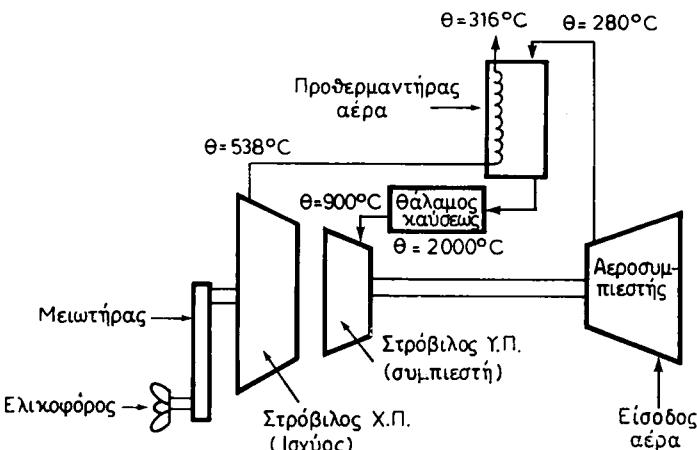
α) Βελτίωση του βαθμού αποδόσεως.

β) Δυνατότητα λειτουργίας με φθηνά καύσιμα (μαζούτ).

Η βελτίωση του βαθμού αποδόσεως του αεριοστροβίλου αποτελεί έργο των κατασκευαστών και επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

**α) Με την προθέρμανση του αέρα.** Τα καυσαέρια, μετά την εκτόνωσή τους στο στρόβιλο, οδηγούνται στον προθερμαντήρα αέρα (Regenerator) που βρίσκεται ανάμεσα στο συμπιεστή και το θάλαμο καύσεως. Αν ληφθεί υπόψη ότι ο αέρας μετά τη συμπίεση έχει θερμοκρασία  $280^{\circ}\text{C}$ , ενώ τα καυσαέρια μπαίνουν στον προθερμαντήρα με θερμοκρασία  $400-500^{\circ}\text{C}$ , το κέρδος σε θερμότητα είναι σημαντικό, ώστε να μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου κατά 25%. Μία τέτοια σχηματική διάταξη αεριοστροβίλου που εφαρμόζεται στο αμερικανικό στροβιλοκίνητο πλοίο *John Sergeant* που εικονίζεται στο σχήμα 10.5a.

**β) Με βοηθητικό κύκλο ατμού.** Τα καυσαέρια μετά τον προθερμαντήρα, βγαίνουν με θερμοκρασία  $300-350^{\circ}\text{C}$  που αφήνει σημαντικά περιθώρια για μεγαλύτερη εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου τους. Η εκμετάλλευση



**Σχ. 10.5a.**

Σχηματική διάταξη αεριοστροβίλου ανοικτού κυκλώματος με τροθερμαντήρες αέρα.

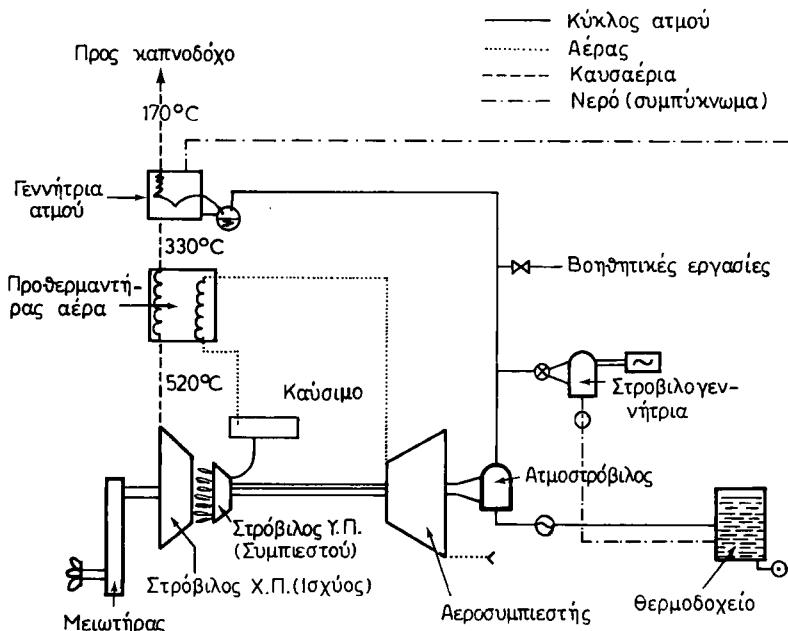
αυτή πραγματοποιείται με ένα **βοηθητικό κύκλο**, που περιλαμβάνει ατμολέβητα χαμηλής πίεσεως (περίπου 10 bar) που λειτουργεί με τη θερμότητα των καυσαερίων, μετά την έξοδό τους από τον προθερμαντήρα αέρα. Η θερμότητα αυτή μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί:

- Για προθέρμανση του καυσίμου.
- Για **οικιακές** χρήσεις (εσωτερική θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό κλπ.).
- Για τη λειτουργία βοηθητικού ατμοστροβίλου.

Mία τέτοια εγκατάσταση φαίνεται σκαριφηματικά στο σχήμα 10.5β.

**γ) Προσθήκη ατμοστροβίλου ισχύος.** Είναι γνωστή ως διάταξη STAG (Steam and Gas Cycle Arrangement). Διαφέρει από το βοηθητικό κύκλο ατμού κυρίως κατά το γεγονός ότι ο προθερμαντήρας αέρα είναι μικροτέρων διαστάσεων και γι' αυτό απορροφά από τα καυσαέρια λιγότερη θερμότητα, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας διατίθεται για το βοηθητικό ατμολέβητα της εγκαταστάσεως. Ο ατμολέβητας αυτός προορίζεται κυρίως για τη λειτουργία ατμοστροβίλου, η ισχύς του οποίου προστίθεται στην ισχύ της κύριας εγκαταστάσεως του αεριοστροβίλου, την οποία αυξάνει κατά ποσοστό μέχρι 30%. Έτσι ο τελικός βαθμός αποδόσεως μίας τέτοιας πρωστήριας εγκαταστάσεως φθάνει το 0,37, πλησιάζοντας τα επίπεδα αποδόσεως των μηχανών Diesel.

Η λειτουργία των αεριοστροβίλων με βαριά καύσιμα (μαζούτ) είναι ο στόχος στον οποίο σήμερα αποβλέπουν τόσο οι κατασκευαστές όσο και οι πλοιοκτήτες



Σχ. 10.5β.

Σχηματική εγκατάσταση αεριοστροβίλου με προθερμαντήρα αέρα και κύκλο ατμού που λειτουργεί με βαθμό αποδόσεως πάνω από 0,30.

στην προσπάθεια επεκτάσεως της χρήσεως των αεριοστροβίλων για την πρόωση των εμπορικών πλοίων.

Λόγω της ευπάθειας των αεριοστροβίλων, απέναντι στις ξένες προσμίξεις που το καύσιμο θα μπορούσε να περιέχει, πρέπει το μαζούτ που προορίζεται για τη λειτουργία τους να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις ποιότητας που οι προδιαγραφές των καυσίμων αυτών καθορίζουν.

Ένας αντιπροσωπευτικός τύπος βαρέος καυσίμου για αεριοστροβίλους προδιαγράφεται στον πίνακα 10.5.2, σε σύγκριση με τις προδιαγραφές του πετρελαίου Diesel. Οι προδιαγραφές αυτές δεν έχουν ακόμη επίσημο χαρακτήρα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10.5.2**  
**Προδιαγραφές καυσίμων αεριοστροβίλων**

Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Πετρέλαιο Diesel	Βαρύ καύσιμο
1. Ιξώδες σε 100°F (cSt)	1,8-4,5	15-20
2. Σημείο ροής (°F) (max)	0	10
3. Εξανθράκωμα σε 10% υπόλειμμα (max)	0,20%	—
4. Θείο % (max)	0,5	3
5. Τέφρα % (max)	0,005	0,05
6. Βανάδιο, PPM (max)	—	200
7. Νερό και ξένες ύλες διά φυγοκεντρήσεως (max)	0,01%	0,1
8. Σημείο αναφλέξεως (°F) (min)	140	140

Από τον πίνακα 10.5.2 συνάγεται ότι οι απαιτήσεις ποιότητας για τα βαριά καύσιμα που προορίζονται για αεριοστροβίλους, ικανοποιούνται μόνο από μαζούτ καλής ποιότητας. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ως προς τις απαιτήσεις αυτές είναι:

**α) Τέφρα:** Το όριο 0,05% που οι προδιαγραφές καθορίζουν, προστατεύει τα πτερύγια του στροβίλου από τις επικίνδυνες εναποθέσεις που η αυξημένη τέφρα θα μπορούσε να προκαλέσει.

**β) Βανάδιο:** Τα προϊόντα καύσεως του βαναδίου και κυρίως το βαναδικό νάτριο, είναι ενώσεις εξαιρετικά διαβρωτικές για τα ευπαθή πτερύγια του στροβίλου. Εκτός τούτου έχουν σχετικά χαμηλό σημείο τήξεως (550°C περίπου) και στη θερμοκρασία των καυσαερίων είναι σε υγρή κατάσταση, οπότε η διαβρωτική δράση τους στα πτερύγια του στροβίλου είναι ακόμα εντονότερη. Η επεξεργασία του καυσίμου με χημικά πρόσθετα, όπως και στις μηχανές Diesel επιβάλλεται όταν η περιεκτικότητα σε βανάδιο υπερβαίνει τα προδιαγραφόμενα όρια. Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται πρόσθετα που περιέχουν άλατα του μαγνησίου, που δεσμεύουν το βανάδιο υπό μορφή βαναδικού μαγνησίου, που έχει σημείο τήξεως πάνω από 1000°C, και υπό μορφή κόνεως αποβάλλεται με τα καυσαερία, χωρίς να βλάψει τα ευπαθή πτερύγια

του στροβίλου.

**γ) Νάτριο, κάλιο, ασβέστιο.** Είναι ανόργανα συστατικά που συνήθως κατά την καύση αντιδρούν με το βανάδιο και μετατρέπονται σε εύτηκτα και διαβρωτικά βαναδικά άλατα. Απομακρύνονται εύκολα ξεπλένοντας το καύσιμο με ζεστό νερό.

Το πρώτο εμπορικό πλοίο που κινείται με αεριοστρόβιλο που καίει μαζούτ είναι το Αμερικανικό **John Sergeant**, που προέρχεται από μετασκευή παλαιού **Liberty**. Κινείται με αεριοστρόβιλο **General Electric**, 6000 HP, που ήδη έχει συμπληρώσει 15000 ώρες ικανοποιητικής λειτουργίας.

Ακολουθούν και άλλα εμπορικά πλοία και κυρίως Containers και Roll-On/Roll-Off, ενώ προβλέπεται αύξηση των αεριοστροβιλοκίνητων πλοίων στο μέλλον, χάρη στα πλεονεκτήματα που το σύστημα αυτό παρουσιάζει για εμπορικά πλοία. Μεταξύ αυτών υπενθυμίζονται:

- Μικρές διαστάσεις της πρωστήριας εγκαταστάσεως, που επιτρέπουν την εξοικονόμηση χώρου, πράγμα που έχει ζωτική σημασία για τα πλοία της κατηγορίας αυτής.
- Μικρό βάρος, που αφήνει μεγάλα περιθώρια αυξήσεως της ισχύος, άρα και της ταχύτητας του πλοίου.
- Ελάχιστη επίβλεψη κατά τη λειτουργία της μηχανής.
- Μικρή ανάγκη συντηρήσεως. Αραιότερες επισκευές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

#### 11.1 Είδη στερεών καυσίμων.

Τα στερεά καύσιμα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τα **φυσικά στερεά καύσιμα (γαιάνθρακες)**.
- Τα **τεχνητά στερεά καύσιμα**, που δεν υπάρχουν στη φύση, αλλά παράγονται τεχνητά από άλλα είδη καυσίμων. Σπουδαιότερα είδη των τεχνητών καυσίμων είναι οι **ξυλάνθρακες** και το **κωκ**:

#### 1) Ξυλάνθρακες.

Προέρχονται από τα ξύλα που υποβάλλονται σε απανθράκωση καίοντάς τα χωρίς την παρουσία αρκετού αέρα. Αυτά επιτυγχάνεται τοποθετώντας τα ξύλα σε σωρό που καλύπτεται με στρώμα λάσπης ή πηλού πάχους 10 cm, με τρόπο ώστε να εμποδίζεται η επίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Έτσι, αντί για καύση γίνεται ξηρή απόσταξη που οδηγεί σε απανθράκωση. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα, που για το ξύλο είναι 40-50% (το υπόλοιπο είναι νερό και άλλα συστατικά) ανέρχεται μετά την απανθράκωση σε 80%. Οι ξυλάνθρακες, επομένως, είναι πρώτης τάξεως καύσιμο, με θερμαντική ικανότητα 8000 kcal/kg περίπου (25080 kJ/kg).

Πριν από τη διάδοση των υγρών καυσίμων και του ηλεκτρισμού, οι ξυλάνθρακες ήταν το σπουδαιότερο είδος καυσίμου για την οικιακή θέρμανση, των αγροτικών κυρίως πληθυσμών. Σήμερα δύμας χρησιμοποιείται, σχεδόν αποκλειστικά, σαν αναγωγικό μέσο, για την παραγωγή χαλύβων εξαιρετικής ποιότητας. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή περιεκτικότητα τέφρας, η οποία μάλιστα είναι απαλλαγμένη από επιβλαβή συστατικά, όπως το θείο, που στους γαιάνθρακες περιέχονται σε υψηλή αναλογία.

#### 2) Κωκ.

Το **κωκ** ή **οπτάνθρακας** παράγεται με ξηρή απόσταξη των γαιανθράκων, δηλαδή με πύρωση σε κλειστές εστίες, χωρίς την παρουσία αέρα. Με αυτό τον τρόπο οι γαιάνθρακες διασπώνται:

- α) Στα ππητικά συστατικά, που περιέχουν ως κύριο συστατικό το φωταέριο.
- β) Στο υπόλειμμα της αποστάξεως, δηλαδή το κωκ.

Η ξηρή απόσταξη άλλοτε γίνεται γία το φωταέριο, οπότε το κωκ αποτελεί παραπροϊόν, άλλοτε δύμας γίνεται για την παραγωγή κωκ, που είναι πολύ πιο συμπαγές και ανθεκτικό από τους γαιάνθρακες. Η ιδιότητα αυτή, εκτός των άλλων, έχει ιδιαίτερη σημασία για τη μεταλλουργία, όπου ο άνθρακας, που χρησιμοποιείται στις καμίνους ως αναγωγικό μέσο, πρέπει να έχει αρκετή αντοχή στη συμπίεση που υφίσταται από την πίεση του μεταλλεύματος, ώστε να μη συντρίβεται και κονιοποιείται, εμποδίζοντας έτσι τη λειτουργία της υψικαμίνου. Το κωκ αυτό είναι το **μεταλλουργικό κωκ** και αποτελεί σήμερα σχεδόν τη μοναδική χρήση του.

#### 11.2 Γαιάνθρακες.

Με το όνομα **γαιάνθρακες** περιλαμβάνονται όλα τα είδη του φυσικού άνθρακα. Είναι ορυκτά που προέρχονται από την απανθράκωση φυτικών υλών, δηλαδή κορμών και κλάδων δένδρων που βρέθηκαν μετά από τις γεωλογικές προσχώσεις σε μεγάλα βάθη μέσα στη γη. Η φυτική ύλη στην αρχή υπέστη την αποσυνθετική δράση διαφόρων αναεροβίων οργανισμών και μετατράπηκε σε **τύρφη**. Η τύρφη με τις προσχώσεις βρέθηκε στα βάθη της γης και, με την πίεση και τη θερμοκρασία που επικρατούν στα βάθη αυτά, μετατράπηκε στις διάφορες μορφές γαιάνθρακα. Υπό τις μορφές αυτές σήμερα λαμβάνεται με εξόρυξη.

Οι διάφορες μορφές του γαιάνθρακα διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το χρόνο, το βάθος και γενικότερα τις συνθήκες με τις οποίες έγινε η απανθράκωση. Όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του γαιάνθρακα, τόσο πιο πολύ έχει προχωρήσει η απανθράκωση. Περιέχει δηλαδή μεγαλύτερη αναλογία άνθρακα, άρα έχει μεγαλύτερη θερμαντική αξία. Οι σπουδαιότερες κατηγορίες γαιάνθρακα είναι: **τύρφη, λιγνίτης, πισσούχος άνθρακας, ανθρακίτης**. Οι αδάμαντες, δεν είναι παρά η πιο σκληρή και συμπαγής μορφή καθαρού άνθρακα.

Ένας τρόπος ταξινομήσεως των γαιανθράκων φαίνεται στον πίνακα 11.2.1.

Στον πίνακα αυτό παρατηρούμε ότι η σύσταση των διαφόρων ειδών γαιανθράκων εκφράζεται με δύο τρόπους:

a) Με το δείγμα όπως είναι, δηλαδή χωρίς καμιά ιδιαίτερη επεξεργασία. Πρόκειται δηλαδή για

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.1**  
**Ταξινόμηση γαιανθράκων κατά Grünner**

Είδος γαιάνθρακα	Σύσταση % δείγματος χωρίς υγρασία και τέφρα					Θερμαντική ικανότητα (kcal/kg)*	Εφαρμογές Παραπρήσεις		
	α) Σε δείγμα όπως έχει			β) Μετά από απόσταξη					
	C	H	Λοιπά (O + N + S)	Πτητικά	Μόνιμος άνθρακας				
1) Ανθρακίτες	92	4	4	15	85	8 - 9000	{ α) Οικιακές χρήσεις β) Παραγωγή ατμού		
2) Λιθάνθρακες πισσούχοι (bituminous coal) a) Βραχύφλογοι	85	5	10	20	80	7 - 8000	{ Επειδή περιέχουν λίγα πτητικά και σχηματίζουν σκληρό πλακούντα είναι οι καταλληλότεροι για παραγωγή κωκ. Χρησιμοποιούνται και σε εστίες ατμολεβήτων.		
β) Μακρόφλογοι	80	5	15	35	65	6 - 7000	{ Λόγω των πολλών πτητικών είναι κατάλληλοι για παραγωγή φωταερίου κυρίως Δεν συσσωματώνονται προς κωκ. Χρησιμοποιούνται σε καμίνια		
3) Λιθάνθρακες υποπισσούχοι (subbituminous coal)	75	5	20	40	60	5 - 6000	Μετά κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιείται σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας		
4) Λιγνίτης	65	5	30	45	55	3 - 5000	Ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας έχουν τα κοιτάσματα τύφης των Φιλίππων (Καβάλα) τα οποία κατόπιν τελευταίας μελέτης αποδείχθηκαν εκμεταλλεύσιμα		
5) Τύρφη	50	6	44	40-50	50-60	2 - 3000			

\* Η θερμαντική ικανότητα αναφέρεται επίσης σε ξηρό δείγμα.

τη **στοιχειομετρική ανάλυση** του καυσίμου.

- β) Με τη σύσταση που προκύπτει ύστερα από απόσταξη με την οποία το καύσιμο διασπάται σε δύο προϊόντα:  
 – Στα πτητικά (φωταέριο).  
 – Στο μόνιμο άνθρακα.

Είναι φανερό από τη σύγκριση των δύο στηλών του πίνακα, ότι ο **μόνιμος άνθρακας** είναι λιγότερος από το **στοιχειομετρικό άνθρακα**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα **πτητικά** συστατικά περιέχουν και ενώσεις του άνθρακα (CO, υδρογονάθρακες κλπ.). Στον πίνακα 11.2.2 δίνεται απλουστευμένη κατάταξη των γαιανθράκων κατά ASTM.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.2 Κατάταξη γαιανθράκων κατά ASTM D388

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Θερμαντική ικανότητα (ελαχ.)				Άλλα χαρακτηριστικά
	% περιεκτικότητα σε Μόνιμο άνθρακα (1)	Πτητικά (1)	BTU/LB (2)	kJ/kg (2)	
1) ΑΝΘΡΑΚΙΤΗΣ	92-98	2-8	—	—	Δεν συσσωματώνονται
2) ΗΜΙΑΝΘΡΑΚΙΤΗΣ	86-92	8-14	—	—	Δεν συσσωματώνονται
3) ΠΙΣΣΟΥΧΟΙ					
α) Χαμηλής πτητικότητας	78-86	14-22	—	—	Συνήθως συσσωματώνονται
β) Μέσης πτητικότητας	69-78	22-31	—	—	Συνήθως συσσωματώνονται
γ) Υψηλής πτητικότητας					Συνήθως συσσωματώνονται
Κατηγορία Α	< 69	> 31	14000	32500	Οι γαιάνθρακες της κατηγορίας αυτής μπορεί: α) Να συσσωματώνονται χωρίς να προσβάλλονται από αέρα
Κατηγορία Β	—	—	13000	30000	β) Να συσσωματώνονται και να προσβάλλονται από αέρα γ) Να μη συσσωματώνονται και να μην προσβάλλονται από αέρα
Κατηγορία Γ	—	—	11000	25500	
4) ΥΠΟΠΙΣΣΟΥΧΟΙ					
α) Κατηγορία Α	< 69	—	11000	25500	Δεν συσσωματώνονται
β) Κατηγορία Β	< 69	—	9500	22000	Δεν συσσωματώνονται
γ) Κατηγορία Γ	< 69	—	8300	19270	Δεν συσσωματώνονται
5) ΛΙΓΝΙΤΕΣ	—	—	—	14630-19270	

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: (1) Αναφέρεται σε δείγμα ξηρό, απαλλαγμένο από ανόργανες ουσίες

(2) Αναφέρεται σε δείγμα υγρό, απαλλαγμένο από ανόργανες ουσίες.

### 11.3 Κύρια χαρακτηριστικά των γαιανθράκων.

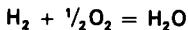
#### 11.3.1 Θερμαντική ικανότητα.

**Θερμαντική ικανότητα ή θερμογόνα δύναμη** ενός καυσίμου είναι το ποσόν της θερμότητας που παράγεται κατά την τέλεια καύση του καυσίμου αυτού υπό καθορισμένες συνθήκες. Αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των γαιανθράκων, γιατί από αυτήν εξαρτάται κατά κύριο λόγο η ποιότητα και η αξία του. Μπορεί να κυμαίνεται σε ευρύτατα διάστημα (από 1000 ως 8800 θερμίδες ανά χιλιόγραμμο) σε αντίθεση με το πετρέλαιο, όπου η διακύμανση της τιμής της θερμαντικής ικανότητας είναι πολύ μικρή.

Η μέτρηση της θερμαντικής ικανότητας γίνεται με τη θερμιδομετρική οβίδα που περιγράφεται στην παράγραφο 15.8. Το θερμιδόμετρο δίνει την τιμή της **ανώτερης θερμαντικής ικανότητας  $Q_A$** , της θερμότητας δηλαδή που παράγεται κατά την καύση στις συνθήκες του πειράματος, ενώ πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει η **κατώτερη θερμαντική ικανότητα  $Q_K$** , που είναι η εκμεταλλεύσιμη θερμότητα και βρίσκεται από τη σχέση:

$$Q_H = Q_A - 572 \cdot 9H \text{ kcal/kg}$$

Όπου  $H$  είναι η περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο (kg H/kg καυσίμου). Ο αριθμός 572 είναι η θερμότητα εξατμίσεως του νερού που σχηματίζεται από την καύση του υδρογόνου που περιέχει το καύσιμο. Το παραγόμενο υπό μορφή υδρατμού νερό είναι θπλάσιο του υδρογόνου, όπως προκύπτει από την εξίσωση καύσεως του υδρογόνου.



$$\begin{aligned} 2 + 16 &= 18 \\ 1 + 8 &= 9 \end{aligned}$$

Δηλαδή από κάθε χιλιόγραμμο υδρογόνου που περιέχει το καύσιμο, παράγονται 9 kg υδρατμού που κατακρατούν 9 × 572 (= 5148) kcal.

Ο προσδιορισμός αυτός της θερμαντικής ικανότητας των καυσίμων δεν λαμβάνει υπόψη την υγρασία που το καύσιμο μπορεί να παράγει και ονομάζεται **επί ξηρού**, είναι δε ο συνηθισμένος τρόπος εκφράσεως της θερμαντικής ικανότητας των στερεών καυσίμων.

Αν π.χ. για ένα δείγμα λιγνίτη που περιέχει 8% υδρογόνο το θερμιδόμετρο δίνει θερμαντική ικανότητα 3000 kcal/kg, η πραγματική θερμαντική ικανότητα, δηλαδή η κατώτερη ( $Q_K$ ) θα είναι:

$$Q_K = 3000 - 572 (9 \times 0,08) = 3000 - 412 = 2588 \text{ kcal/kg (επί ξηρού)}$$

#### 11.3.2 Υγρασία.

Προσδιορίζεται θερμαίνοντας ορισμένη ποσότητα δείγματος επί ορισμένο χρόνο σε 105°C. Η διαφορά βάρους αναγόμενη σε % αντιστοιχεί στην περιεχόμενη υγρασία του δείγματος. Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ της **Φυσικής υγρασίας** που περιέχεται στο καύσιμο, και της **ξένης υγρασίας** που προέρχεται από εξωτερικές πηγές (διαβροχή με νερό, βροχή, συμπύκνωση υδρατμών κλπ.). Η φυσική υγρασία δεν φαίνεται μακροσκοπικά, ενώ η ξένη υγρασία διακρίνεται εύκολα με το μάτι. Για τη μέτρηση της ξένης υγρασίας το δείγμα ξηραίνεται στον αέρα στη θερμοκρασία δωματίου, τόση ώρα ώστε να μην παρατηρείται απώλεια βάρους. Η ξένη υγρασία που προσδιορίζεται με τον τρόπο αυτό είναι γνωστή και ως **απώλεια ξηράνσεως στον αέρα** (air-drying loss). Αν δεν προηγηθεί η φυσική αυτή ξήρανση για τη μέτρηση της ξένης υγρασίας, τότε στους 105°C προσδιορίζεται η **ολική υγρασία** του δείγματος. Στην πράξη ενδιαφέρει κυρίως η φυσική υγρασία, γιατί η ξένη υγρασία απομακρύνεται εύκολα και κατά την απλή αποθήκευση των γαιανθράκων.

#### 11.3.3 Πτητικά.

Είναι τα συστατικά εκείνα των γαιανθράκων, που με την έναρξη της καύσεως αποστάζονται και καίονται ως αέρια. Πρέπει επομένως ο χώρος της εστίας να είναι ανάλογος προς την περιεκτικότητα σε πτητικά, ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης καύση. Γ' αυτό το λόγο η περιεκτικότητα των γαιανθρά-

κων σε πτητικά πρέπει να παίρνεται σοβαρά υπόψη κατά τη σχεδίαση της εστίας και του καπνοθαλάμου των γαιανθρακολεβήτων.

#### **11.3.4 Τέφρα.**

Η τιμή της τέφρας που περιέχεται σε ένα στερεό καύσιμο έχει ιδιαίτερη σημασία τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά:

**Ποσοτικά** η περιεκτικότητα σε τέφρα δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ανώτατο όριο που οι προδιαγραφές καθορίζουν, γιατί:

- Μειώνει τη θερμαντική αξία του καυσίμου.
- Η αποκομιδή της δημιουργεί σοβαρά προβλήματα.

**Ποιοτικά** ενδιαφέρει κυρίως το σημείο τήξεως της τέφρας, για το οποίο οι προδιαγραφές καθορίζουν μία κατώτατη τιμή. Κάτω από την τιμή αυτή δημιουργούνται στη σχάρα της εστίας συσσωματώματα λόγω τήξεως της τέφρας, που εμποδίζουν την ομαλή λειτουργία της εστίας του λέβητα. Ο προσδιορισμός της τέφρας συνίσταται στον προσδιορισμό του ανδριγανου υπολείμματος που απομένει μετά την τέλεια καύση ορισμένης ποσότητας δείγματος.

#### **11.3.5 Θείο (θειάφι).**

Το θείο είναι καύσιμο συστατικό που αποδίδει 2500 kcal/kg. Παρόλα αυτά η παρουσία του στους γαιανθρακες σε αναλογία πάνω από 4% είναι ανεπιθύμητη λόγω της διαβρωτικότητας του θειικού οξέος που παράγεται κατά την καύση.

#### **11.3.6 Ανθεκτικότητα.**

Αφορά την αντοχή που έχει ο γαιανθρακας στη σύνθλιψη που υφίσταται σε μία εστία λέβητα ή σε μία μεταλλουργική κάμινο. Ελέγχεται περιστρέφοντας ορισμένη ποσότητα γαιανθρακα σε κυλινδρικό δοχείο που είναι τοποθετημένο οριζόντια επί ορισμένο χρόνο και με ορισμένη ταχύτητα. Στο τέλος μετράται ο επερχόμενος βαθμός κονιοποίησεως, τα όρια του οποίου καθορίζουν οι σχετικές προδιαγραφές.

#### **11.3.7 Πτητικά – μόνιμος άνθρακας.**

Τα πτητικά συστατικά που ο γαιανθρακας περιέχει (παράγρ. 11.3.3) προσδιορίζονται θερμαίνοντας ορισμένη ποσότητα δείγματος, επί 7 λεπτά σε ειδική κάμινο σε 950°C. Αν από την απώλεια βάρους αφαιρεθεί η υγρασία (παράγρ. 11.3.2) το υπόλοιπο αντιστοιχεί στην περιεκτικότητα των πτητικών συστατικών του γαιανθρακα.

Ο μόνιμος άνθρακας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Μόνιμος άνθρακας} = 100 - (\text{υγρασία} + \text{πτητικά} + \text{τέφρα})$$

#### **11.4 Η αυτανάφλεξη των γαιανθράκων.**

Όλα σχεδόν τα είδη γαιανθράκων κατά την αποθήκευσή τους έχουν την τάση να απορροφούν βραδέως οξυγόνο από την ατμόσφαιρα, πράγμα που οδηγεί σε μία μορφή οξειδώσεως από την οποία παράγεται θερμότητα. Η θερμότητα αυτή προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, που επιταχύνει την παραπάνω αντίδραση μέχρι του σημείου που να συμβεί αυτανάφλεξη. Το φαινόμενο αυτό, που μπορεί να πάρει καταστρεπτικές διαστάσεις είναι εντονότερο στους λιγνίτες και πισσούχους άνθρακες.

Συνηθέστερα μέσα κατά της αυτανάφλεξεως είναι:

- a) Το δάπεδο του χώρου στον οποίο αποθηκεύονται οι γαιανθράκες να είναι κατά το δυνατόν ξερό (πετρώδες ή μπετόν).
- b) Το ύψος των σωρών των γαιανθράκων να μην υπερβαίνει τα 4-5 μέτρα.
- γ) Να υπάρχουν διάδρομοι αερισμού.
- δ) Να παρακολουθείται η θερμοκρασία στα διάφορα σημεία των σωρών. Μία ασυνήθιστη αύξηση της θερμοκρασίας προδίδει συχνά την έναρξη αυτανάφλεξεως. Πέρα όμως από τα παραπάνω πρέπει στους χώρους αποθηκεύσεως γαιανθράκων να εξασφαλίζονται επαρκή μέσα αντιμετωπίσεως της πυρκαϊάς και αν είναι δυνατόν αυτομάτου επισημάνσεώς της.

## 11.5 Σημασία των γαιανθράκων ως πηγή ενέργειας.

Σήμερα οι γαιάνθρακες και γενικότερα τα στερεά καύσιμα καλύπτουν περίπου το  $\frac{1}{4}$  των ενέργεια-κών αναγκών της ανθρωπότητας, ποσοστό αρκετά υψηλό, που τους φέρνει στη δεύτερη θέση σπουδαιότητας, μετά το πετρέλαιο, σαν πηγή ενέργειας. Βέβαια η πρώση πλοιών με γαιάνθρακες έχει εγκαταλείφθει, χάρη στα πλεονεκτήματα του πετρελαίου, σε σύγκριση με τους γαιάνθρακες και μάλιστα στις μηχανές ατμού (λέβητες), όπως έχει εκτεθεί στην παράγραφο 7.1.

Η ενέργειακή κρίση όμως της δεκαετίας 1970-1980 ξανάφερε το κάρβουνο στο προσκήνιο του διεθνούς ενδιαφέροντος σαν πηγή ενέργειας, στην οποία η ανθρωπότητα αποθέτει τις ελπίδες για τη λύση του προβλήματος που προκύπτει από τη μείωση των αποθεμάτων, αλλά και από την άνοδο των τιμών του πετρελαίου. Στην τελευταία εικοσαετία έγιναν πολλές έρευνες για τη βελτίωση των μεθόδων και συνθηκών εκμεταλλεύσεως γαιανθράκων για τον αποδοτικότερο τρόπο παραγωγής ενέργειας. Τα συμπεράσματα από τις έρευνες αυτές είναι ότι στο μέλλον το κάρβουνο θα ξαναπαίξει πρωτεύοντα ρόλο σαν πηγή ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ήδη αισθητά με τη συγκράτηση των τιμών του πετρελαίου και σε αρκετές περιπτώσεις με τη μείωσή τους, πράγμα που μερικά οφείλεται στην τάση να στραφεί η ανθρωπότητα σε άλλες πηγές ενέργειας, μεταξύ των οποίων και τα στερεά καύσιμα.

## 11.6 Αξιοποίηση του άνθρακα για παραγωγή ενέργειας.

### 11.6.1 Καύση σε στερεά μορφή.

Ο απλούστερος τρόπος χρησιμοποιήσεως των γαιανθράκων για την παραγωγή ενέργειας είναι η καύση του σε στερεά κατάσταση, κατά την οποία αποδίονται 1000 ως 8000 kcal/kg, ανάλογα με το βαθμό και την ποιότητα του γαιάνθρακα (πίνακας 11.2.1). Η καύση γίνεται σε εστίες όπου η παραγόμενη θερμότητα είτε χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού είτε για διάφορες άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Για πάρα πολλά χρόνια η διαδικασία αυτή αποτελούσε τη βάση για τη λειτουργία των μηχανών ατμού σε πλοία και σιδηροδρόμους, ώσπου ήρθε το πετρέλαιο και τα προϊόντα του για να εκποιίσει το κάρβουνο από τις παραπάνω εφαρμογές, χάρη στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το πετρέλαιο έναντι των γαιανθράκων.

Η καύση των γαιανθράκων σε εστίες ή καμίνια έχει το πλεονέκτημα να μη χρειάζεται παρά απλές μόνον εγκαταστάσεις, αλλά συνοδεύεται από πολύ χαμηλή απόδοση και από υψηλό βαθμό ρυπάνσεως του περιβάλλοντος. Για τη βελτίωση της αποδόσεως και γενικότερα των μεθόδων καύσεως των γαιανθράκων, σήμερα εφαρμόζονται δυο μέθοδοι: α) η καύση υπό μορφή σκόνης και β) η μέθοδος του **ρευστοποιημένου στρώματος**.

#### α) Καύση υπό μορφή σκόνης.

Κατά τη μέθοδο αυτή ο άνθρακας κονιοποιείται μέχρις ότου το μέγεθος των κόκκων του κατά το πλείστον να κυμαίνεται μεταξύ 75 και 300 μμ (200 και 50 mesh) και διοχετεύεται με ρεύμα αέρα σε καυστήρες, που λειτουργούν, όπως και οι καυστήρες πετρελαίου, με τη μεγαλύτερη απόδοση καύσεως σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους καύσεως του άνθρακα, γιατί η χρησιμοποιούμενη περίσσεια αέρα είναι η μικρότερη δυνατή.

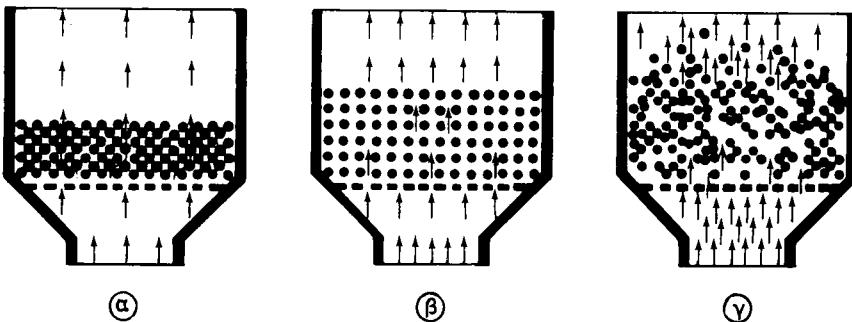
Η καύση του γαιάνθρακα υπό μορφή σκόνης παρουσιάζει δυο κυρίως πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το πετρέλαιο.

- 1) Η καύση των ανθράκων με πολλά πτητικά δίνει μακρά φλόγα στην οποία η καύση των υπολειμμάτων του άνθρακα διαρκεί περισσότερο από την καύση των υπολειμμάτων του μαζούτ (μακρόφλογοι άνθρακες).
- 2) Η παρουσία στερεών σωματιδίων ενισχύει τη θερμαντικότητα της φλόγας, παραμένει όμως το μειονέκτημα της τέφρας, που πολλές φορές μπορεί να δημιουργήσει διαβρωτικές αποθέσεις στους αυλούς και γενικά στα σημεία στα οποία γίνεται η εναλλαγή της θερμότητας.

#### β) Μέθοδος ρευστοποιημένου στρώματος (fluidized bed combustion).

Η μέθοδος αυτή αποτελεί τη σύγχρονη τεχνολογία στον τομέα αξιοποιήσεως των γαιανθράκων για την παραγωγή ενέργειας και επιδιώκει:

- 1) Τη μείωση του κόστους των εγκαταστάσεων.



Σχ. 11.6α.

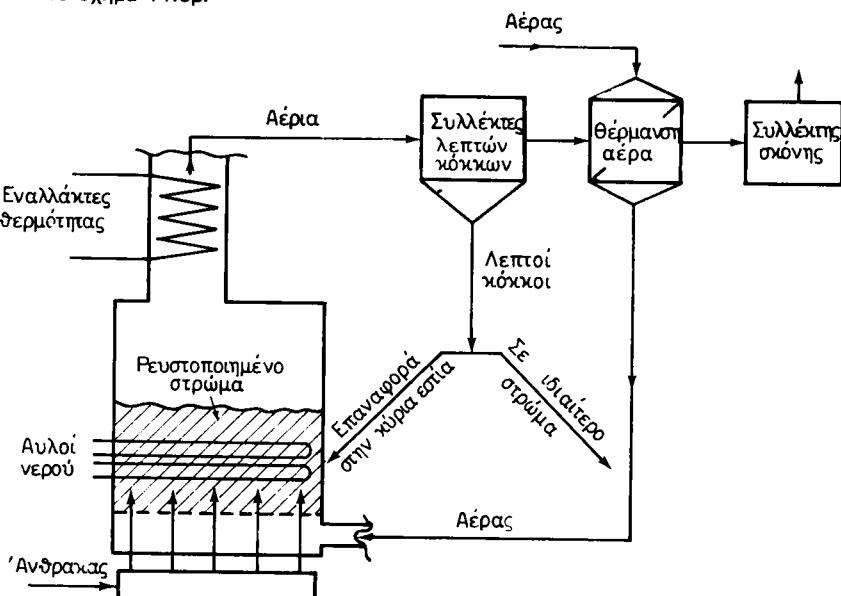
Αρχή «ρευστοποιημένου στρώματος».

- 2) Τη δυνατότητα καύσεως μεγάλης ποικιλίας γιανθράκων.
- 3) Καλύτερο έλεγχο ρυπάνσεως του περιβάλλοντος.

Η αρχή του **ρευστοποιημένου στρώματος** φαίνεται στο σχήμα 11.6α.

Η εστία καύσεως αποτελείται από μια σχάρα πάνω στην οποία υπάρχει στρώμα αδρανούς υλικού (π.χ. άμμου) υπό μορφή κόκκων διά των οποίων εμφυσάται από κάτω ο αέρας μαζί με τον κονιοποιημένο άνθρακα. Αυξάνοντας την ταχύτητα του αέρα (διαδοχικές φάσεις Α-Β-Γ), πετυχαίνομε ώστε οι κόκκοι του αδρανούς υλικού να βρίσκονται σε στροβιλισμό και σε μια δυναμική ισορροπία, έχοντας τη μορφή και τις ιδιότητες ζέοντος ρευστού. Αν το υλικό αυτό θερμαίνεται, ο κονιοποιημένος άνθρακας που διοχετεύεται μαζί με τον αέρα, καίεται ταχύτατα και όλη η μάζα αποκτά μια ομοιόμορφη υψηλή θερμοκρασία. Το σύστημα αυτό αποτελεί την πιο απλή περίπτωση εστίας με **ρευστοποιημένο στρώμα** που, αν και βρίσκεται ακόμη στο στάδιο μελέτης, βρίσκει ολοένα μεγαλύτερη εφαρμογή σε πειραματικές μονάδες παραγωγής ενέργειας από άνθρακα.

Μια τυπική διάταξη απολέβητα που λειτουργεί με τη μέθοδο του ρευστοποιημένου στρώματος φαίνεται στο σχήμα 11.6β.

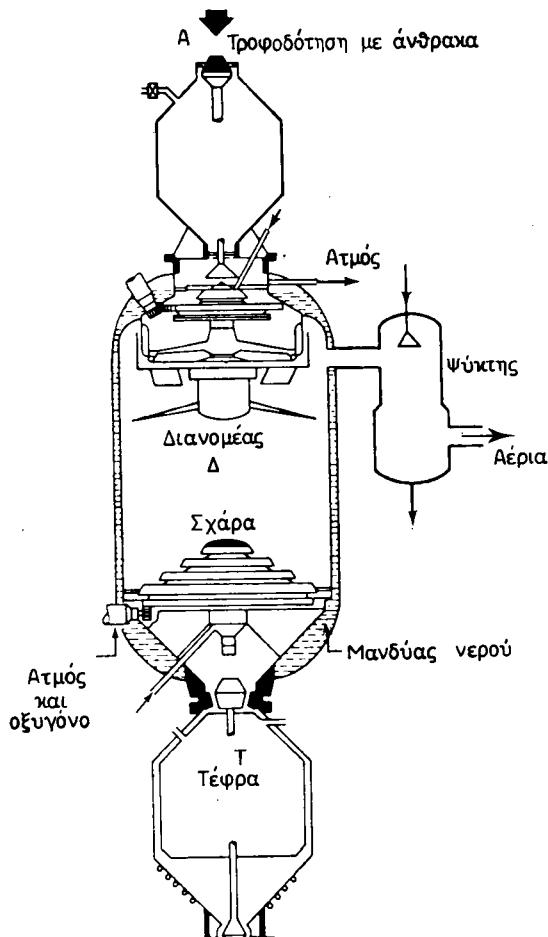


Σχ. 11.6β.

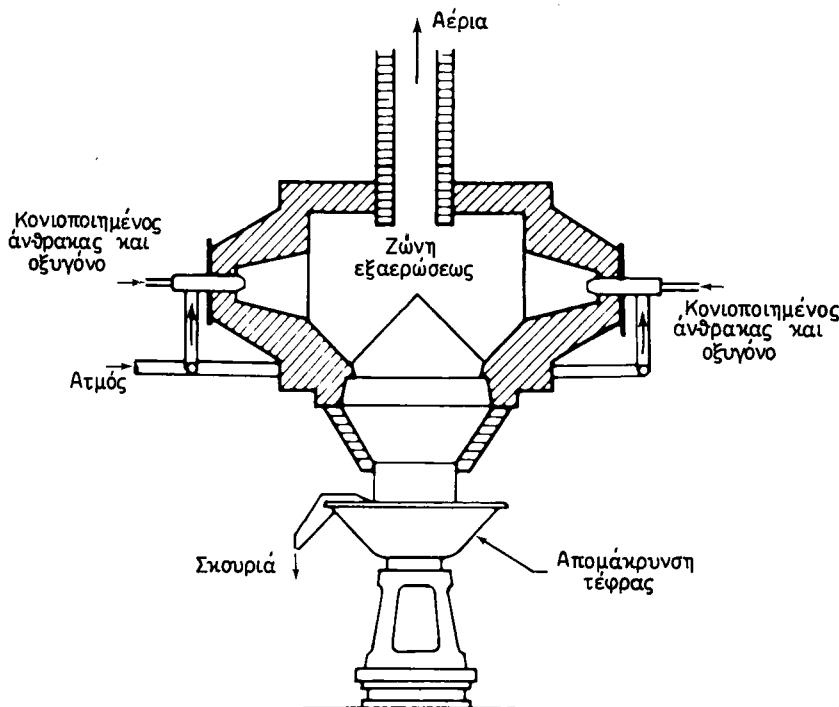
### 11.6.2 Εξαερίωση του γαιάνθρακα.

**Εξαερίωση** του άνθρακα είναι η μετατροπή του σε αέρια καύσιμα. Η μερική μετατροπή του είναι γνωστή από πάρα πολλά χρόνια και αποτελεί τη βάση για την παραγωγή φωταερίου με την **ξηρή απόσταξη**, δηλαδή την πύρωση σε κλειστές εστίες, χωρίς την παρουσία αέρα. Κατ' αυτήν μέρος του γαιάνθρακα (περίπου 15-30%) μετατρέπεται σε αέρια, από τα οποία, ύστερα από μια σειρά διαδικασιών παράγεται το φωταέριο, ενώ το κύριο μέρος του γαιάνθρακα παραμένει στους αποστακτήρες και αποτελεί τον **απτάνθρακα** δηλαδή το **κωκ**, που χρησιμοποιείται πιο πολύ στη μεταλλουργία παρά σαν καύσιμο.

Για την **πλήρη εξαερίωση** του άνθρακα, που σήμερα εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα, χρησιμοποιούνται κυρίως υδρατμός και οξυγόνο (ή αέρας) σε ειδικές εγκαταστάσεις που περιγράφονται παρακάτω. Οι κύριες χημικές αντιδράσεις που γίνονται στην εξαερίωση του άνθρακα είναι:



Σχ. 11.6γ.  
Εξαεριωτήρας Lurgi.



**Σχ. 11.66.**  
Εξαεριωτήρας Koppers-Totzek.

Το τελικό προϊόν, μετά από διάφορες κατεργασίες, μπορεί να έχει θερμογόνα δύναμη που κυμαίνεται από 1500-9000 kcal/m<sup>3</sup>. Η σύνθεσή του είναι:

— Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ) .....	15-30%
— Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) .....	20-55%
— Υδρογόνο (H <sub>2</sub> ) .....	30-40%
— Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> ) .....	0-10%

Οι παραπάνω αντιδράσεις γίνονται σε ειδικούς εξαεριωτήρες (gasifiers), όπου ατμός και οξυγόνο διαβιβάζονται σε διάπυρο στρώμα άνθρακα. Σημαντικότερα είδη εξαεριωτήρων είναι:

#### **α) Εξαεριωτήρας Lurgi.**

Αποτελείται από κυλινδρικό υδρόψυκτο δοχείο, που λειτουργεί με πίεση περίπου 20 bar (σχ. 11.67). Μίγμα οξυγόνου και υδρατμών διοχετεύεται από κάτω στο στρώμα του άνθρακα που βρίσκεται στη σχάρα. Με την κάψη μέρους του άνθρακα αναπτύσσεται θερμοκρασία 1000°C περίπου, στην οποία επιτελούνται οι αντιδράσεις (3) και (5) και έτσι παράγεται τελικά αέριο, η σύνθεση του οποίου δίνεται πιο πάνω.

Η τροφοδότηση του άνθρακα γίνεται συνεχώς από το άνοιγμα Α, ενώ η τέφρα απομακρύνεται από το κάτω μέρος της συσκευής (σημείο Τ). Ο άνθρακας με τον περιστροφικό διανομέα Δ κατανέμεται ομοιόμορφα στο εσωτερικό του εξαεριωτήρα.

#### **β) Μέθοδος Koppers-Totzek (KT).**

Εδώ ο εξαεριωτήρας έχει κυκλικό σχήμα και λειτουργεί σε συνηθισμένη ατμοσφαιρική πίεση (σχ. 11.68). Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι ο άνθρακας διοχετεύεται υπό μορφή σκόνης στο ρεύμα.

μα του ατμού και του οξυγόνου, γι' αυτό οι αντιδράσεις είναι ταχύτερες, η θερμοκρασία υψηλότερη και οι αποδόσεις καλύτερες. Οι αντιδραστήρες KT έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν μεγάλη ποικιλία γαιανθράκων.

### **11.6.3 Υγροποίηση του άνθρακα.**

**Υγροποίηση** του άνθρακα είναι η μετατροπή του σε υγρά καύσιμα, των οποίων η σύσταση και οι ιδιότητες είναι παρόμοιες προς τις ιδιότητες των υδρογονανθράκων, δηλαδή των προϊόντων του φυσικού πετρελαίου, το οποίο μπορούν να υποκαταστήσουν.

Η σημασία των υγρών καυσίμων που παράγονται από την υγροποίηση του άνθρακα είναι τεράστια, αφού τα καύσιμα αυτά μπορούν να υποκαθιστούν τα προϊόντα του φυσικού πετρελαίου. Επί του παρόντος η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Από την άλλη μεριά όμως πρέπει να σημειωθεί ότι τα συνθετικά καύσιμα έχουν σε αρκετές περιπτώσεις ιδιότητες καλύτερες από τα προϊόντα του φυσικού πετρελαίου, γιατί οι ιδιότητες αυτές μπορούν να κατευθύνονται προς την επιθυμητή περιοχή κατά τη διαδικασία της παραγωγής.

Οι σπουδαιότερες μέθοδοι παραγωγής συνθετικών καυσίμων με υγροποίηση του άνθρακα είναι οι παρακάτω:

#### **a) Μέθοδος Fischer-Tropsch.**

Κατά τη μέθοδο αυτή ο άνθρακας εξαεριώνεται πρώτα με μία από τις μεθόδους που περιγράφονται στην παράγραφο 11.6.2 και συνηθέστερα με την μέθοδο Lurgi. Τα αέρια που παράγονται και κυρίως το μονοξείδιο του άνθρακα CO και το υδρογόνο H υποβάλλονται σε καταλυτική σύνθεση, από την οποία παράγεται μίγμα υδρογονανθράκων και αλκοολών. Ύστερα από μια σειρά καθαρισμών και από υδρογόνωση, παράγεται, σαν κύριο προϊόν, καύσιμο ανάλογο ως προς τις ιδιότητες προς το βαρύ Diesel, σαν υποπροϊόντα δε: αέρια, πίσσα και κωκ. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ήδη από το 1973 από την εταιρία SASOL της Νοτιοαφρικανικής Ενώσεως, η απόδοσή της όμως είναι πολύ χαμηλή.

#### **β) Ξηρή απόσταξη (πυρόλινση).**

Ο άνθρακας κατά τη μέθοδο αυτή υποβάλλεται σε πύρωση σε κλειστές εστίες με υψηλή θερμοκρασία, κατά τρόπο ανάλογο προς την παραγωγή του φωταερίου. Από τα πτητικά προϊόντα της πυρόλινσεως αποχωρίζονται με κατάλληλη επεξεργασία τα υγρά προϊόντα, που αποτελούν το κύριο προϊόν, ενώ σαν υποπροϊόντα παράγονται πάλι αέρια, πίσσα και κωκ. Η απόδοση και της μεθόδου αυτής είναι χαμηλή και δεν υπερβαίνει το 15%.

#### **γ) Υδρογόνωση.**

Αποτελεί την καθ' αυτό συνθετική μέθοδο παραγωγής υγρών καυσίμων, αφού συνίσταται στην απευθείας ένωση άνθρακα και υδρογόνου. Σύμφωνα με τη μέθοδο Bergius, που εφαρμόσθηκε για πρώτη φορά το 1913, η υδρογόνωση του άνθρακα, δηλαδή η ένωση άνθρακα και υδρογόνου, επιτεύχθηκε διοχετεύοντας υδρογόνο, σε λεπτό κολλοειδές αιώρημα άνθρακα σε μαζούτ. Η αντιδραση γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία με πίεση 700 περίπου bar και με καταλύτη οξείδια του σιδήρου. Η μέθοδος αυτή εφαρμόσθηκε από τους Γερμανούς στο 2ο παγκόσμιο πόλεμο για την παραγωγή συνθετικής βενζίνης.

Από τα παραπάνω μπορεί εύκολα να συμπεράνει κανείς ότι ο ρόλος του άνθρακα για την αντιμετώπιση του ενέργειακου προβλήματος που η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει είναι σημαντικός. Η επαναφορά του άνθρακα στην πρώτη θέση των πηγών ενέργειας υπό διάφορες μορφές αποτελεί βεβαιότητα αλλά και ελπίδα της ανθρωπότητας για το μέλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### ΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

#### 12.1 Σημασία των αερίων καυσίμων.

Η χρήση των αερίων καυσίμων ως πηγών ενέργειας ήταν μέχρι πριν μερικά χρόνια πολύ περιορισμένη, κυρίως λόγω των σοβαρών προβλημάτων που παρουσίαζε η μεταφορά και αποθήκευση των καυσίμων αυτών. Με την κατασκευή και επέκταση όμως των δικτύων μεταφοράς τους και κυρίως του **φυσικού αερίου**, που είναι το σπουδαιότερο καύσιμο της κατηγορίας αυτής, τα αέρια καύσιμα απέκτησαν τεράστια σημασία, αφού σήμερα η συμμετοχή τους στην παγκόσμια κάλυψη των ενέργειακών αναγκών είναι περίπου 20%. Πρώτα στις ΗΠΑ αναπτύχθηκε τεράστιο δίκτυο διανομής του φυσικού αερίου, που χρησιμοποιείται κυρίως για βιομηχανικούς και οικιακούς σκοπούς. Ήδη στην Ευρώπη κατασκευάζεται αγωγός φυσικού αερίου, που θα διοχετεύει φυσικό αέριο από τα τεράστια αποθέματα της Σοβιετικής Ενώσεως προς τα κέντρα καταναλώσεως διαφόρων ευρωπαϊκών χωρών.

Τα αέρια καύσιμα χρησιμοποιούνται κυρίως για θερμαντικούς σκοπούς αλλά και για τη λειτουργία των λεγομένων **αεριομηχανών ή των μηχανών διπλού καυσίμου** (Dual fuel engines). Οι δεύτερες είναι βασικά μηχανές Diesels ή βενζινομηχανές που είναι κατασκευασμένες για να λειτουργούν αντίστοιχα με πετρέλαιο Diesel ή με βενζίνη, αλλά και με αέριο, όταν η χρήση του καυσίμου αυτού είναι συμφέρουσα, όπως συμβαίνει σε περιοχές όπου το φυσικό αέριο αναφυσάται από τη γη ή σε περιοχές κοντά σε διυλιστήρια, όπου τα αέρια καύσιμα αποτελούν πολύτιμα υποπροϊόντα με σχετικά χαμηλό κόστος.

Οι μηχανές διπλού καυσίμου είναι απλής κατασκευής, σε ελάχιστες δε λεπτομέρειες διαφέρουν από τις συνηθισμένες πετρελαιομηχανές του ίδιου τύπου. Η αρχή λειτουργίας τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλους τους τύπους των πετρελαιομηχανών: δίχρονες, τετράχρονες με ή χωρίς υπερτροφοδότηση. Προσοχή χρειάζεται μόνο στη σωστή ρύθμιση του χρόνου εισαγωγής στον κύλινδρο της μηχανής. Άκαιρη εισαγωγή μπορεί να οδηγήσει σε πιέσεις που ίσως προκαλέσουν προανθλεξη του καυσίμου.

Τα αέρια καύσιμα κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

**α) Φυσικά αέρια καύσιμα**, που αυτούσια βγαίνουν από τη γη ή που συνοδεύουν το φυσικό πετρέλαιο.

**β) Τεχνητά αέρια**, που είναι προϊόντα επεξεργασίας διαφόρων πρώτων υλών.

## 12.2 Φυσικά αέρια καύσιμα.

Είναι αέρια που αναφυσώνται από τις πετρελαιοπηγές και έχουν σύσταση ανάλογη με του φυσικού πετρελαίου. Αποτελούνται δηλαδή κυρίως από υδρογονάνθρακες από τους οποίους σημαντικότερος είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ).

Κατά μέσο όρο η χημική τους σύσταση είναι:

Μεθάνιο .....	80-90%
Αιθάνιο .....	5-10%
Λοιποί υδρογονάνθρακες .....	1-5%
Άζωτο .....	0,5-5%
$\text{CO}_2$ .....	0-1%
Λοιπά συστατικά .....	0-3%

Η θερμαντική ικανότητα των φυσικών αερίων είναι 1000 ως 1200 BTU ανά  $\text{ft}^3$  που αντιστοιχεί σε 10500 kcal/ $\text{m}^3$  περίπου (44000 kJ/ $\text{m}^3$ ).

Τα φυσικά αέρια προορίζονται κυρίως για βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές, αλλά και για τη λειτουργία των μηχανών διπλού καυσίμου. Διακινούνται κυρίως με υπόγειους μεταλλικούς αγωγούς, από τους οποίους σημαντικότεροι είναι:

- α) Το τεράστιο δίκτυο των ΗΠΑ με ολικό μήκος περίπου 900000 μιλίων.
- β) Ο υποβρύχιος αγωγός που μεταφέρει φυσικά αέρια από την Αλγερία προς τη Γαλλία κάτω από τη Μεσόγειο. Υπάρχει προοπτική ο αγωγός αυτός να επεκταθεί και σ' άλλες χώρες της Ευρώπης.
- γ) Ο υπό κατασκευή αγωγός, που θα μεταφέρει φυσικό αέριο από τη Σιβηρία προς τις χώρες της Ευρώπης, στις οποίες ίσως συμπεριληφθεί και η χώρα μας.

## 12.3 Τεχνητά αέρια καύσιμα.

Τα καύσιμα της κατηγορίας αυτής προέρχονται από άλλες πρώτες ύλες. Σπουδαιότερα από αυτά είναι:

### 12.3.1 Φωταέριο (Town gas).

Παράγεται κατά την **ξηρή απόσταξη** των λιθανθράκων. Κατ' αυτήν οι λιθανθράκες πυρώνονται σε 1000°C περίπου σε κλειστές εστίες, χωρίς αέρα, οπότε διασπώνται σε δύο συστατικά.

- α) Σε αέρια που αποτελούνται από υδρογονάνθρακες, υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία, ναφθαλίνη, βενζόλιο, πίσσα κλπ. Από αυτά, ύστερα από μια σειρά επεξεργασιών, απομονώνεται το φωταέριο, ενώ σαν υποπροϊόντα παράγονται: ναφθαλίνη, λιθανθρακόπισσα κλπ.
- β) Στο στερεό υπόλειμμα της αποστάξεως, που είναι το κωκ, υλικό πολύτιμο κυρίως για τη μεταλλουργία.

Η σύνθεση του παραγόμενου με αυτό τον τρόπο φωταερίου είναι:

Υδρογόνο .....	36-50%
Μεθάνιο .....	30-40%
Μονοξείδιο του άνθρακα .....	4-9%
Άζωτο .....	1-6%

Οξυγόνο .....	0,5-1%
Λοιποί υδρογονάνθρακες .....	2-8%
Άλλα συστατικά (υδρόθειο κλπ.) .....	0,1-1%

Η χρήση του φωταερίου περιορίζεται κυρίως σε οικιακές εφαρμογές. Ως πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται επίσης σε σιδηρόβιομηχανίες όπου σαν υποπροϊόν παραγωγής μεταλλουργικού κωκ παράγεται σε μεγάλα ποσά.

### 12.3.2 Υδαταέριο (water gas).

Είναι μίγμα μονοξείδιου του άνθρακα CO και υδρογόνου H<sub>2</sub> σε ισομοριακή αναλογία, που παράγεται διοχετεύοντας υδρατμούς πάνω από διάπυρο άνθρακα:

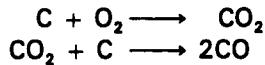


Ως πρώτη ύλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν γαιάνθρακες οποιασδήποτε κατηγορίας. Στην Ελλάδα το υδαταέριο παράγεται από τους λιγνίτες της Πτολεμαΐδας. Χρησιμοποιείται για τη συνθετική παραγωγή αμμωνίας, που αποτελεί τη βάση των αζωτούχων λιπασμάτων, σε μια μεγάλη βιομηχανική μονάδα, που είναι εγκαταστημένη στην περιοχή αυτή και εξασφαλίζει για την ελληνική γεωργία το μεγαλύτερο μέρος των αζωτούχων λιπασμάτων.

Σαν αέριο καύσιμο έχει σημαντικές βιομηχανικές εφαρμογές με θερμαντική ικανότητα 1800-2200 kcal/m<sup>3</sup> (7500-9200 kJ/m<sup>3</sup>).

### 12.3.3 Πτωχό αέριο (producer gas).

Αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα και άζωτο και γι' αυτό είναι πτωχό σε θερμίδες, πράγμα στο οποίο οφείλεται και η ονομασία του. Παράγεται κατά την **ατελή** καύση του άνθρακα σε ειδικές εγκαταστάσεις που ονομάζονται **αεριογόνα** (gazogènes). Η βασική χημική αντίδραση που γίνεται στην περίπτωση αυτή είναι:



Για την παραγωγή του πτωχού αερίου, αέρας ή οξυγόνο διαβιβάζονται σε στρώμα άνθρακα, στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η αντίδραση είναι εξώθερμη, δηλαδή συνοδεύεται από παραγωγή θερμότητας, και η δλη διαδικασία παραγωγής του πτωχού αερίου είναι συνεχής. Χρησιμοποιείται σαν αέριο καύσιμο, με θερμαντική ικανότητα γύρω στα 1000 kcal/m<sup>3</sup> (4180 kJ/m<sup>3</sup>).

Τόσο το υδαταέριο όσο και το πτωχό αέριο ανήκουν στα αέρια καύσιμα, που παράγονται κατά την **εξαερίωση** του άνθρακα, που περιέχεται στα στερεά καύσιμα. Η διεργασία αυτή ανοίγει μεγάλες προοπτικές για την αξιοποίηση των τεραστίων αποθεμάτων γαιάνθρακα, που αποτελεί σημαντική συμβολή στη λύση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 11.6.2. Και τα δυο αέρια μπορούν να παράγονται σήμερα συγχρόνως ή διαδοχικά σε σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες. Σ' αυτές αέρας και/ή υδρατμός διοχετεύονται

σε στρώμα γαιανθράκων, οπότε τα δυο αέρια μπορούν να παράγονται ταυτόχρονα. Η απόδοση των εγκαταστάσεων αυτών μπορεί να αυξάνεται με δυο τρόπους:

- α) Με λειτουργία υπό πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής.
- β) Διοχετεύοντας οξυγόνο αντί για αέρα.

Τα προϊόντα εξαεριώσεως του άνθρακα και η διαδικασία παραγωγής τους είναι καλύτερα αν αντί γαιανθράκων χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη κωκ. Οι γαιάνθρακες συχνά δημιουργούν προβλήματα από την τάση σχηματισμού συσσωματωμάτων που δυσχεραίνει τη λειτουργία της εγκαταστάσεως.

Σαν πρώτη ύλη και των δυο αερίων χρησιμοποιούνται επίσης βαριά καύσιμα.

Ο πίνακας 12.3.1 δίνει τα κύρια χαρακτηριστικά του πτωχού αερίου και του υδαταέριου.

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 12.3.1**

*Ιδιότητες τεχνητών αερίων καυσίμων που προέρχονται από την εξαερίωση του άνθρακα*

Κύρια χαρακτηριστικά	Υδαταέριο	Πτωχό αέριο
1. Σύνθεση (%)		
– Υδρογόνο	50	10-15
– Μονοξείδιο του άνθρακα	41	25-30
– Άζωτο	3,5	45-55
– Υδρογονάνθρακες	1	1-2
– Διοξείδιο του άνθρακα	5	3-5
2. Πυκνότητα (ως προς αέρα)	0,55	0,8-0,9
3. Θερμαντική ικανότητα (kcal/m <sup>3</sup> )	1800-2200	1000-1400

Το υδαταέριο, καθώς και τα άλλα προϊόντα της εξαεριώσεως του άνθρακα, βρίσκουν επίσης μεγάλη εφαρμογή για την παραγωγή διαφόρων συνθετικών προϊόντων και κυρίως συνθετικών καυσίμων (παράγρ. 11.6).

#### **12.3.4 Υγραέρια.**

Είναι γνωστά ως LPG (Liquified Petroleum Gases) και αποτελούν τα πρώτα κλάσματα της διυλίσεως του φυσικού πετρελαίου. Πρόκειται κυρίως για βουτάνιο ( $C_4H_{10}$ ) και προπάνιο ( $C_3H_8$ ) και διατίθενται στο εμπόριο είτε χωριστά είτε σαν μίγμα των δυο σε διάφορες αναλογίες. Στη συνηθισμένη θερμοκρασία είναι αέρια, εύκολα όμως υγροποιούνται με μικρή πίεση. Υγροποιημένα κυκλοφορούν στο εμπόριο, συνήθως σε χαλύβδινες φίαλες, γεγονός στο οποίο οφείλουν το όνομά τους. Ο τρόπος αυτός διακινήσεως επιτρέπει την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων θερμικής ενέργειας σε μικρό χώρο. (Ένας δύκος υγροποιημένου προπανίου δίνει κατά την εξαερίωση 270 δύκους αερίου).

Τα υγραέρια χρησιμοποιούνται ευρύτατα:

- α) Για βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές.
- β) Σαν καύσιμα βενζινομηχανών.
- γ) Για εργασίες κοπής και συγκολλήσεως μετάλλων.

Σε σύγκριση με τα άλλα αέρια καύσιμα και κυρίως τα φυσικά αέρια και τα αέρια που προέρχονται από την εξαερίωση του άνθρακα, υπάρχουν ως προς την καύση

τους οι εξής διαφορές:

- Τα όρια αναφλεξιμότητας ή εκρηκτικότητας είναι στενότερα, συνεπώς τα υγραέρια από απόψεως ασφάλειας πλεονεκτούν των άλλων αερίων καυσίμων.
- Απαιτούν για την καύση τους περισσότερο αέρα, πράγμα που επιβάλλει ανάλογη σχεδίαση και κατασκευή των καυστήρων.
- Λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας (μεγαλύτερης του 1) διαρροές των υγραερίων συγκεντρώνονται στο δάπεδο των χώρων όπου χρησιμοποιούνται, και απαιτούν κατάλληλο αερισμό.

Τα παραπάνω φαίνονται στο συγκριτικό πίνακα 12.3.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12.3.2**  
**Συγκριτικές ιδιότητες αερίων καυσίμων**

Είδος καυσίμου	Όρια εκρηκτικού μίγματος	Σχετική πυκνότητα	Στοιχειομετρική αναλογία αέρα
1. Προπάνιο	2-11%	1,5	23:1
2. Βουτάνιο	1,7-9%	2	30:1
3. Φυσικό αέριο	5-14%	0,65	6:1
4. Υδαταέριο	4-70%	0,55	10:1

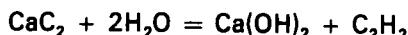
Στον πίνακα 12.3.3 αναγράφονται οι σπουδαιότερες ιδιότητες του υγραερίου κινήσεως, δηλαδή καυσίμου που προορίζεται για βενζινομηχανή και καλύπτεται από το ΦΕΚ 320/26-4-94.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12.3.3**  
**Προδιαγραφές υγραερίου κινήσεως**

Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Όρια τιμών
1. Αριθμός οκτανίου, MON, ελαχ.	89
2. Διένια (ως 1,3 – βουταδιένιο) %, μεγ.	0,5
3. Ολικό θείο, %, μεγ.	0,02
4. Διάβρωση χάλκινου ελάσματος (1h, σε 40°C) μεγ.	1
5. Υπολειμμα εξατμίσεως, mg/kg, μεγ.	100
6. Τάση ατμών, σε 40°C, kPa, μεγ.	1550

### 12.3.5 Ακετυλένιο (Ασετυλίνι).

Είναι υδρογονάνθρακας τύπου  $C_2H_2$  που συνήθως παράγεται με επίδραση νερού σε ανθρακασβέστιο:



Η σπουδαιότερη ιδιότητα του καυσίμου αυτού είναι η πάρα πολύ υψηλή θερμοκρασία που παράγεται κατά την καύση του, προπάντων όταν γίνεται με καθαρό οξυγόνο. Τη θερμοκρασία αυτή εκμεταλλευόμαστε για την τήξη των μετάλλων κατά την κοπή ή τη συγκόλλησή τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

## ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΥΡΑΥΛΩΝ

## 13.1 Γενικά.

Οι πύραυλοι, δύπτες είναι γνωστό, είναι θερμικές μηχανές, που βασίζονται για τη λειτουργία τους στην ίδια θερμοδυναμική αρχή: μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια που παράγεται κατά την καύση ειδικών καυσίμων σε μηχανική ενέργεια. Παρουσιάζουν δυο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:

- a) Η μηχανική ενέργεια αξιοποιείται υπό μορφή **ώσεως**, δηλαδή η λειτουργία τους βασίζεται στο αξιώμα δράσεως και αντιδράσεως, όπως άλλωστε γίνεται σε πολλές περιπτώσεις αεροστροβίλων (Turbo-Jet).

b) Για τη λειτουργία τους δεν απαιτείται οξυγόνο ή αέρας. Οι πύραυλοι μεταφέρουν τόσο το καύσιμο, δύο και το οξειδωτικό μέσο που απαιτείται για την καύση του. Αυτό αποτελεί και την πιο χαρακτηριστική διαφορά από τα άλλα είδη θερμικών μηχανών, γιατί επιτρέπει τη λειτουργία τους και έχω από την ατμόσφαιρα, πράγμα στο οποίο βασίζονται οι διαπλανητικές πτήσεις.

Τα καύσιμα αυτά είναι τέτοια ώστε να μπορούν να παράγουν με την καύση σε μικρό χρόνο μεγάλη ποσότητα αερίων, η εκτόνωση των οποίων αποτελεί τη βάση της προώσεως με αντίδραση (jet propulsion). Σε ορισμένες περιπτώσεις τα αέρια αυτά δεν παράγονται με καύση, δηλαδή με χημική ένωση του καυσίμου με το οξυγόνο ή άλλο οξειδωτικό μέσο (φθερίο, δζ., υπεροξείδιο του υδρογόνου, νιτρικό οξύ κλπ.), αλλά με διάσπαση μιας χημικής ουσίας, όπως συμβαίνει π.χ. με τις πυρίτιδες, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, κ.α. Στις περιπτώσεις αυτές, αντί του όρου **καύσιμο**, ποιο σωστό είναι να χρησιμοποιείται ο όρος **πρωωθητική ουσία** (propellant), που συχνά καλύπτει όλα τα είδη καυσίμων των πυραύλων.

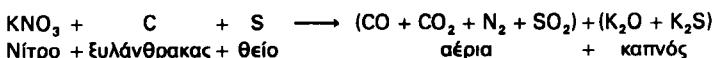
Τα καύσιμα ή πρωθητικά των πυραύλων κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

- α) Στερεά καύσιμα**, που χρησιμοποιούνται σε στερεά μορφή.  
**β) Υγρά καύσιμα**, που κατά τη χρήση τους βρίσκονται σε υγρή κατάσταση.

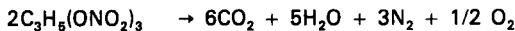
## 13.2 Στερεά καύσιμα.

**Διαιρούνται σε δυο μικρότερες κατηγορίες, τα ομογενή και τα επερογενή καύσιμα.**

**α) Ορογενή καύσιμα.** Είναι κυρίως πρωθητικές πυρίτιδες διπλής βάσεως με κύρια συστατικά τη νιτρογλυκερίνη και τη νιτροκυανίνη. Πρόκειται δηλαδή για πυρίτιδες, σαν αυτές που χρησιμοποιούνται για την εκτόξευση βλημάτων πυροβόλων όπλων. Η σύνθεσή τους είναι τέτοια ώστε μετά την έναυσή τους, αντί εκρήξεως να γίνεται μια ομαλότερη αποσύνθεση, από την οποία τα παραγόμενα αέρια, εκτονούμενα αποτελούν τη βάση της πρωθητικής ισχύος του πυραύλου. Είναι γνωστά και ως **βαλιστίτιδες** και βρίσκουν μικρή εφαρμογή για πυραύλους μικρού βεληνεκούς. Η πιο απλή περίπτωση ομογενούς στερεού καυσίμου είναι η κοινή πυρίτιδα (μαύρο μπαρούτι) που αποτελείται από νίτρο (75%), ξυλάνθρακα (15%) και θειάφι (10%). Μετά την έναυση, που γίνεται με καψούλια ή με πλεκτροικό σπινθήρα, λαμβάνει χώρα η παρακάτω αντίδραση:



Στα εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη ή τη νιτροκυαπταρίνη καπνός δεν υπάρχει, γι' αυτό τα εκποκτικά αυτά λέγονται **άκαπνες πυρίτδες**. Η αντίδραση διασπάσεως π.χ. της νιτρογλυκερίνης είναι:



**β) Ετερογενή καύσιμα.** Το στερεό καύσιμο σε μορφή υποστρώματος αποτελείται από ελαστικές ή πλαστικές ύλες και σ' αυτό, με μορφή λεπτής διασποράς, βρίσκεται το οξειδωτικό μέσο. Ως οξειδωτικά χρησιμοποιούνται ουσίες πλούσιες σε οξυγόνο, όπως είναι το νιτρικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , το υπερχλωρικό αμμώνιο  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$  και το υπερχλωρικό κάλιο  $\text{KClO}_4$ . Τα καύσιμα αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι κάθε στιγμή έτοιμα για πυροδότηση, χάρη στην ασφάλεια που παρουσιάζει η αποθήκευσή τους, παρόλο που περιέχουν σε επαφή το καύσιμο και το οξειδωτικό. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για πυραύλους πολεμικών εφαρμογών, όπως είναι οι αμερικανικοί πύραυλοι Titan 3, Minuteman, Polaris κλπ. Σε σύγκριση με τα υγρά καύσιμα υστερούν ως προς την απόδοση και την ταχύτητα εκτοξεύσεως.

### 13.3 Υγρά καύσιμα.

Είναι τα σημαντικότερα είδη καυσίμων πυραύλων και διαιρούνται επίσης σε δύο κατηγορίες:

**α) Μονοκάυσιμα** (monopropellants). Αποτελούνται από ένα μόνο συστατικό, που κατά τη βίαιη αποσύνθεσή του μετατρέπεται σε αέρια. Τα αέρια αυτά με μεγάλη ταχύτητα εξέρχονται από το πίσω άκρο του πυραύλου, εξασφαλίζοντας έτσι την πρώτη του, εξ αντιδράσεως. Δεν πρόκειται συνεπώς για καύσιμα με την έννοια που δίνεται στην παράγραφο 1.1., αλλά για πρωθητικά διασπάσεως (propellants). Συνηθέστερα είναι το υπεροξείδιο του υδρογόνου  $\text{H}_2\text{O}_2$  και το νιτρομεθάνιο  $\text{CH}_3\text{NO}_2$ . Η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω της αστάθειας, που δημιουργεί σοβαρά προβλήματα ασφαλείας κατά την αποθήκευση.

**β) Διπλά καύσιμα** (bipropellants). Είναι τα σπουδαιότερα και συνηθέστερα, όχι μόνο από τα υγρά καύσιμα, αλλά από όλες τις πρωθητικές ουσίες που προορίζονται για πυραύλους. Το καύσιμο και το οξειδωτικό μέσο περιέχονται σε χωριστές δεξαμενές και φέρονται σε επαφή μόνο κατά τη στιγμή πυροδοτήσεως του πυραύλου. Αυτό έχει σαν συνέπεια ότι η ετοιμότητα χρήσεως των πυραύλων με υγρά καύσιμα είναι μικρότερη απ' ότι είναι στους πυραύλους με στερεά καύσιμα, έχουν όμως πολύ μεγαλύτερη πρωθητική ισχύ. Η πρώτη τους στο θάλαμο καύσεως γίνεται συνήθως με αδρανές αέριο π.χ. άζωτο.

Η απόδοση των καυσίμων της κατηγορίας αυτής καθορίζεται από δύο παράγοντες:

α) Από την ταχύτητα των παραγομένων αερίων.

β) Από την **ειδική ώση** (specific impulse), δηλαδή τα kg ώσεως ανά kg καυσίμου που παράγονται στη μονάδα του χρόνου (kg ώσεως/kg καυσίμου/sec). Τα σπουδαιότερα ζεύγη διπλών καυσίμων φαίνονται στον πίνακα 13.3.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 13.3.1**  
**Διπλά καύσιμα πυραύλων (bipropellents)**

Ζεύγος πρωθητικών		Ταχύτητα αερίων (m/sec)	Ειδική ώση (kg ώσεως/kg καυσίμου/sec)
Καύσιμο	Οξειδωτικό		
Υδρογονάνθρακες (βενζίνη, κεροζίνη)	Οξυγόνο	2460	248
Οινόπνευμα (αιθυλική αλκοόλη)	Οξυγόνο	2470	242
Οινόπνευμα	Φθόριο	3000	296
Υδρογόνο	Οξυγόνο	3360	350
Υδρογόνο	Φθόριο	3380	352
Υδρογόνο	Όζο	4010	369
Ανιλίνη	Νιτρικό οξύ	2225	221
Υδραζίνη	Φθόριο	2970	298
Κεροζίνη	Υπεροξείδιο υδρογόνου	2400	233

Αν και αρκετά από τα συστατικά των καυσίμων και οξειδωτικών του πίνακα 13.3.1 είναι αέρια (οξυγόνο, υδρογόνο, όζο, φθόριο), χαρακτηρίζονται ως **υγρά καύσιμα** γιατί σε πυραύλους χρησιμοποιούνται σε υγρή κατάσταση.

Τα υγρά καύσιμα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται στους περισσότερους διηπειρωτικούς πυραύλους (Κρόνος, Θωρ, Άτλας, Κένταυρος κλπ.). Τα προγράμματα **Απόλλων** των ΗΠΑ με τα οποία αμερικανοί αστροναύτες πραγματοποίησαν πτήσεις στο διάστημα, έγιναν με πυραύλους Κρόνος I, που σαν προωθητικό χρησιμοποιούσαν υγρό υδρογόνο και υγρό οξυγόνο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

#### 14.1 Γενικά.

Έχει παρατηρηθεί ότι ένα στοιχειώδες σωματίδιο, δημοσίευτο, έχει το νετρόνιο  $n$  και ο πυρήνας ενός ατόμου, ή ακόμη οι πυρήνες δύο ατόμων, είναι δυνατόν να έλθουν σε **αλληλεπίδραση**, που έχει ως αποτέλεσμα να προκύψουν διαφορετικά προϊόντα, π.χ. ένας νέος πυρήνας και ένα στοιχειώδες σωματίδιο ή δύο νέοι πυρήνες και στοιχειώδη σωματίδια. Αλληλεπιδράσεις αυτού του είδους χαρακτηρίζονται ως **πυρηνικές αντιδράσεις**.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν ορισμένες πυρηνικές αντιδράσεις στις οποίες παρατηρείται ότι η συνολική μάζα  $M_1$ , πριν από την αντίδραση είναι **μικρότερη** κατά ένα ποσό  $\Delta m$  από τη συνολική μάζα  $M_2$  των **προϊόντων** της πυρηνικής αντιδράσεως. Δηλαδή είναι:

$$M_1 = M_2 + \Delta m \Rightarrow M_1 - M_2 = \Delta m$$

Μια τέτοια πυρηνική αντίδραση λέμε ότι εμφανίζει ένα **έλλειμμα μάζας**  $\Delta m$ . Αυτό το έλλειμμα μάζας μετατρέπεται σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας  $E$ , σύμφωνα με τη γνωστή από τη Φυσική σχέση του Einstein:

$$E = (\Delta m) \cdot c^2$$

όπου  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Η ενέργεια αυτή  $E$  ελευθερώνεται κατά την πυρηνική αντίδραση, η οποία γι' αυτό το λόγο ονομάζεται **εξώθερμη**.

Για  $\Delta m = 1$ , δηλαδή από έλλειμμα μάζας ενός γραμμαρίου, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, η ισοδύναμη ενέργεια που ελευθερώνεται θα είναι:

$$E = 0,001 \text{ kg} (3 \cdot 10^8)^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 9 \cdot 10^{13} \text{ J} = 2,5 \cdot 10^7 \text{ kWh}$$

δηλαδή 25 εκατομμύρια κιλοβατώρες.

Σύμφωνα λοιπόν με τα προαναφερθέντα, υπάρχουν **ορισμένες** πυρηνικές αντιδράσεις, που όταν πραγματοποιηθούν συνοδεύονται από την ελευθέρωση ενέργειας. Η ενέργεια αυτή, λόγω της προελεύσεώς της, χαρακτηρίζεται ως **πυρηνική ενέργεια**, που καμιά φορά λανθασμένα αναφέρεται ως **ατομική ενέργεια**. Αυτές οι

πυρηνικές αντιδράσεις, όπως είναι φανερό, παρουσιάζουν ιδιάτερο πρακτικό ενδιαφέρον. Αρκεί, βεβαίως, να είναι εφικτή η πραγματοποίησή τους υπό προϋποθέσεις που επιτρέπουν την αξιοποίηση της εκλυόμενης ενέργειας σε πρακτικές εφαρμογές, όπως είναι π.χ. η ηλεκτροπαραγωγή. Και είναι γνωστό ότι αυτό έχει ήδη επιτευχθεί, αφού εδώ και αρκετά χρόνια λειτουργούν σε πολλές χώρες Πυρηνικά Εργοστάσια Ηλεκτροπαραγωγής.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί το ιδιαίτερης πρακτικής σημασίας γεγονός, ότι η εκλυόμενη λόγω ελλείμματος μάζας ενέργεια, είναι **πολύ** μεγαλύτερη από εκείνη που ελευθερώνεται από μια χημική αντίδραση, όπως είναι η καύση του άνθρακα.

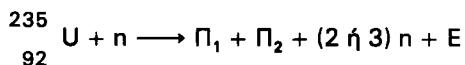
## 14.2 Εξώθερμες πυρηνικές αντιδράσεις πρακτικού ενδιαφέροντος.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες εξωθέρμων πυρηνικών αντιδράσεων που μπορεί να αξιοποιηθούν στην πράξη.

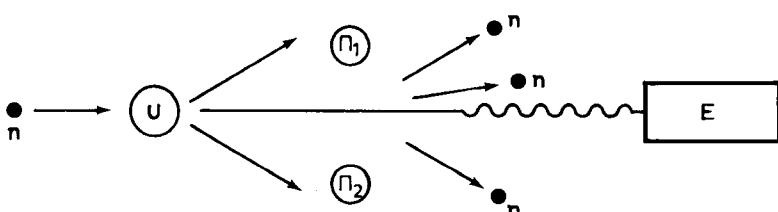
### α) Πυρηνικές αντιδράσεις σχάσεως (nuclear fission).

Έχει παραπορηθεί, ότι όταν ένα νετρόνιο οποιασδήποτε ταχύτητας, εισχωρήσει στον πυρήνα του φυσικού ισότοπου 235 του στοιχείου ουρανίου, που συμβολίζεται ως  $^{235}_{92}\text{U}$  ή U-235, μπορεί να προκαλέσει τον τεμαχισμό του σε δύο πυρήνες  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  με την ίδια περίπου μάζα, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζονται και δύο ή σπανιότερα τρία νέα νετρόνια. Αυτό το φαινόμενο του τεμαχισμού του αρχικού πυρήνα U-235 ονομάζεται **πυρηνική σχάση** ή και απλώς **σχάση**. Η αντίδραση αυτή είναι **εξώθερμη**, δηλαδή συνοδεύεται από την ελευθέρωση ενέργειας, αφού η μάζα των προϊόντων της αντιδράσεως (πυρήνες  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  και νετρόνια) είναι μικρότερη από τη συνολική μάζα του πυρήνα U-235 και του νετρονίου που συμμετέχουν στην αντίδραση αυτή.

Η πυρηνική αντίδραση που αναφέραμε πριν συμβολίζεται ως εξής:



Σχηματικά η αντίδραση αυτή μπορεί να παρασταθεί ως εξής:



Η πυρηνική σχάση του ισότοπου U-235, που είναι εξώθερμη, μπορεί να αξιοποιηθεί για πρακτικούς σκοπούς γιατί παρουσιάζει τις ακόλουθες ιδιότητες, οι οποίες δύναμη δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν λεπτομερέστερα:

1. Πραγματοποιείται με νετρόνια ακόμη και πολύ μικρής ταχύτητας.
2. Η ίδια η σχάση **παράγει** τους φορείς που την επάγουν, δηλαδή τα νετρόνια. Μάλιστα δε, ενώ για μια σχάση απαιτείται ένα νετρόνιο, απ' αυτή παράγονται 2 και 3, τα οποία έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόκληση νέων σχάσεων (αλυσωτή αντίδραση).
3. Οι πυρήνες U-235 υπάρχουν στη φύση, γιατί το ισότοπο αυτό περιέχεται στο φυσικό ουράνιο σε αναλογία περίπου 0,7%.

Υπάρχουν δύο ακόμη πυρήνες οι οποίοι υφίστανται σχάση με νετρόνια και εμφανίζουν τις δύο πρώτες από τις ιδιότητες που προαναφέραμε. Πρόκειται για το ισότοπο του ουρανίου  $\frac{233}{92} \text{U}$  ή U-233 και το ισότοπο του πλουτωνίου  $\frac{239}{94} \text{Pu}$  ή Pu-239.

### Pu-239.

Οι πυρήνες αυτοί, αν και δεν υπάρχουν ελεύθεροι στη φύση, μπορούν να παραχθούν **τεχνητά** σε επαρκείς ποσότητες.

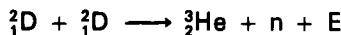
Οι πυρήνες U-235, U-233 και Pu-239 ονομάζονται **σχάσιμοι πυρήνες** και όπως αναφέρθηκε, προσφέρονται για πρακτική αξιοποίηση της εκλυόμενης ενέργειας κατά τη σχάση τους με νετρόνια.

### β) Πυρηνικές αντιδράσεις συντήξεως (nuclear fusion).

Έχει παρατηρηθεί ότι η συνένωση δύο ελαφρών πυρήνων — συνήθως ισοτόπων του υδρογόνου — που οδηγεί στο σχηματισμό ενός βαρύτερου πυρήνα, συνοδεύεται και αυτή, όπως και η σχάση, με ελευθέρωση ενός πολύ σημαντικού ποσού ενέργειας. Μια τέτοια πυρηνική αντίδραση ονομάζεται **σύντηξη**.

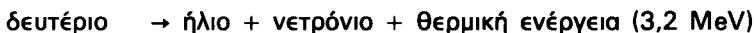
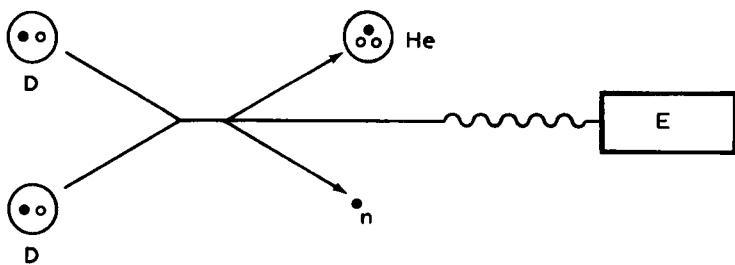
Η εκλυόμενη κατά τη σύντηξη ενέργεια οφείλεται επίσης στο γεγονός ότι και αυτή η πυρηνική αντίδραση εμφανίζει έλλειμμα μάζας. Δηλαδή, η συνολική μάζα των προϊόντων της αντιδράσεως είναι μικρότερη από τη συνολική μάζα των πυρήνων που συμμετέχουν σ' αυτή. Το έλλειμμα μάζας που προέρχεται από αντιδράσεις συντήξεως συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερο από το έλλειμμα μάζας στις αντιδράσεις σχάσεως. Κατά συνέπεια η ενέργεια που παράγεται από τις αντιδράσεις συντήξεως είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που ελευθερώνεται από αντιδράσεις σχάσεως.

Μια τυπική αντίδραση συντήξεως είναι η ακόλουθη:



όπου με  $^2_1\text{D}$  συμβολίζεται ο πυρήνας του δευτερίου, δηλαδή του ισότοπου του υδρογόνου, που έχει στον πυρήνα του, εκτός από ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο.

Η παραπάνω πυρηνική αντίδραση συντήξεως μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από μία τέτοια πυρηνική αντίδραση προέρχεται η ηλιακή ενέργεια, ενώ σε μια τέτοια πυρηνική αντίδραση βασίζεται η βόμβα υδρογόνου, γνωστή ως **βόμβα H**.

Το δευτέριο υπάρχει στη φύση ως ένα από τα δύο ισότοπα του υδρογόνου και η χημική του ένωση  $D_2O$ , γνωστή ως **βαρύ ύδωρ**, περιέχεται σε μικρή αναλογία στο φυσικό νερό. Υπολογίζεται ότι ένας τόνος θαλασσινού νερού περιέχει περίπου 34 γραμμάρια δευτερίου, που σημαίνει ότι η θάλασσα περιέχει συνολικά  $3 \times 10^{13}$  τόνους δευτερίου. Αν ολόκληρο αυτό το απόθεμα δευτερίου της φύσεως ήταν δυνατόν να αξιοποιηθεί σε σύντηξη για την παραγωγή ενέργειας, τότε θα απολαμβάναμε ενέργεια 1 τρισεκατομμύριο φορές περισσότερη από την ενέργεια που εξασφαλίζουν σήμερα τα γνωστά αποθέματα συμβατικών καυσίμων. Αυτό δείχνει το πόσο σημαντικό είναι το να αξιοποιηθεί κάποτε πρακτικά έστω και ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτού του τεράστιου ενεργειακού πόρου.

Από τις δύο πιο πάνω πυρηνικές αντιδράσεις μόνο η σχάση, και μάλιστα του U-235, έχει μέχρι σήμερα αξιοποιηθεί για πρακτικούς σκοπούς, ενώ η πυρηνική σύντηξη βρίσκεται ακόμη σε πρόωρο στάδιο, παρά την εντατική έρευνα που από πολλά χρόνια διεξάγεται.

Έτσι λοιπόν, όσα ακολουθούν περιορίζονται μόνο στην αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας που προέρχεται από τη σχάση του U-235.

### 14.3 Πυρηνικοί αντιδραστήρες, πυρηνικά καύσιμα.

Οι εγκαταστάσεις που χρησιμεύουν για την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας, είτε αυτή προέρχεται από σχάση είτε από σύντηξη, ονομάζονται **πυρηνικοί αντιδραστήρες**. Όπως ήδη αναφέρθηκε, μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί η κατασκευή πυρηνικών αντιδραστήρων των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο φαινόμενο της σχάσεως του ισότοπου U-235 με νετρόνια. Στο φαινόμενο αυτό περιορίζονται όσα αναφέρονται παρακάτω.

Είναι φανερό ότι βασικό υλικό συγκροτήσεως ενός πυρηνικού αντιδραστήρα είναι το ουράνιο. Το ουράνιο αυτό περιέχεται υπό κατάλληλη μορφή, συνήθως ως  $UO_2$ , στο υλικό ράβδων που τοποθετούνται στον αντιδραστήρα. Το υλικό αυτών των ράβδων, το οποίο περιέχει τους πυρήνες του U-235, ονομάζεται **πυρηνικό καύσιμο**. Βέβαια ο όρος αυτός δεν ανταποκρίνεται προς την έννοια των καυσίμων σύμφωνα με την οποία η παραγόμενη ενέργεια οφείλεται στη χημική τους ένωση με το οξυγόνο. Κατατάσσονται όμως διεθνώς και αυτά τα υλικά στα **καύσιμα**, με διεύρυνση του όρου, ώστε να περιλαμβάνει υλικά κατάλληλα για την παραγωγή

ενέργειας, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο ελευθερώνεται η ενέργεια.

Η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων βασίζεται κατ' αρχή στο γεγονός ότι, η σχάση με ένα νετρόνιο ενός πυρήνα U-235 δίνει 2 ή 3 νετρόνια που μπορούν και αυτά να προκαλέσουν νέες σχάσεις άλλων πυρήνων U-235 κ.ο.κ. Πρόκειται δηλαδή για αποκατάσταση, όπως λέμε, **αλισωτής αντιδράσεως σχάσεως**, δημοσίευσης γενεά νετρονίων με τις προκαλούμενες σχάσεις οδηγεί σε νέες γενεές νετρονίων, που με τη σειρά τους δημιουργούν μία επόμενη γενεά κ.ο.κ. Αυτή ακριβώς η αλληλουχία γενεών νετρονίων ελέγχεται με κατάλληλες **ράβδους ελέγχου**, έτσι ώστε το πλήθος των σχάσεων από γενεά σε γενεά μόνο κατά βούληση να μπορεί να μεταβληθεί.

Για να είναι δυνατή η λειτουργία ενός αντιδραστήρα είναι αναγκαίο η ποσότητα του περιεχόμενου πυρηνικού καυσίμου να μην είναι μικρότερη μιας ελάχιστης τιμής που χαρακτηρίζεται ως **κρίσιμη μάζα**.

Η ενέργεια που εκλύεται κατά τη σχάση του U-235 εμφανίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό ως θερμότητα μέσα στον αντιδραστήρα και κυρίως στις ράβδους του πυρηνικού καυσίμου. Η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να αξιοποιηθεί για πρακτικούς σκοπούς αν μεταφερθεί εκτός του αντιδραστήρα. Η μεταφορά αυτή πραγματοποιείται σήμερα κυρίως με νερό και κατά δύο διαφορετικούς τρόπους που περιγράφονται με συντομία στη συνέχεια.

Ο απλούστερος τρόπος απαγωγής της παραγόμενης θερμότητας είναι με την κυκλοφορία νερού μέσα από τον αντιδραστήρα, κατά την οποία με βρασμό παραγεται ατμός. Ο ατμός αυτός, που εξέρχεται από τον αντιδραστήρα, μπορεί πλέον να διοχετευθεί σε ένα ατμοστρόβιλο και έτσι τελικά επιτυγχάνεται η μετατροπή της πυρηνικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια που παραλαμβάνεται στον άξονα του ατμοστροβίλου.

Ο δεύτερος τρόπος, που επίσης χρησιμοποιείται για την απαγωγή της θερμότητας, είναι με την κυκλοφορία νερού μέσα στον αντιδραστήρα υπό αρκετά υψηλή πίεση, ώστε το νερό θερμαίνεται **χωρίς** όμως να γίνεται βρασμός. Το θερμό νερό μετά την έξοδό του μπορεί να οδηγηθεί σε εναλλάκτη θερμότητας, όπου αποδίδει τη θερμότητά του προκαλώντας την παραγωγή ατμού στο δευτερεύον κύκλωμα του εναλλάκτη. Αν, τέλος, ο ατμός αυτός οδηγηθεί σε ατμοστρόβιλο, τότε επιτυγχάνεται και πάλι η μετατροπή της πυρηνικής ενέργειας σε μηχανική, που παραλαμβάνεται στον άξονα του ατμοστροβίλου.

Ο ατμοστρόβιλος που αναφέρθηκε στις πιο πάνω δύο περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί π.χ. είτε για την πρόωση, οπότε όταν μιλάμε για **πυρηνική πρόωση**, είτε για την κίνηση ηλεκτρογεννήτριας, οπότε μιλάμε για **πυρηνοηλεκτρική παραγωγή**.

Η πυρηνική ενέργεια καλύπτει σήμερα περίπου το 4,5% του συνόλου των ενέργειακών αναγκών της ανθρωπότητας, με προοπτική να φθάσει στο τέλος του αιώνα μας το 10%, συμβάλλοντας έτσι στην άμβλυνση του ενεργειακού προβλήματος που η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει από την εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου, αλλά και από στις συνεχείς ανατιμήσεις του.

Ανασταλτικοί παράγοντες στην εντατικότερη εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας είναι:

- Στο παρελθόν το κόστος της ήταν υψηλότερο σε σχέση με την ενέργεια που παράγεται από συμβατικές πηγές. Τη διαφορά αυτή πάντως, τείνουν να εκ-

μηδενίσουν οι συνεχείς ανατιμήσεις του πετρελαίου, παρά το πολύ υψηλό κόστος επενδύσεως για την εγκατάσταση μονάδας παραγωγής ενέργειας από πυρηνικά καύσιμα. Σήμερα το κόστος της πυρηνικής ενέργειας μπορεί να ανταγωνισθεί το κόστος ενέργειας των συμβατικών καυσίμων.

- β) Ο κίνδυνος ατυχημάτων από τη ραδιενέργεια, που δημιουργείται κυρίως από τα κατάλοιπα των πυρηνικών καυσίμων.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν σ' όλη τη γη 565 εγκαταστημένοι πυρηνικοί αντιδραστήρες, οι περισσότεροι από τους οποίους λειτουργούν ήδη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ άλλων η κατασκευή δεν έχει ακόμα περατωθεί. Απ' αυτούς οι περισσότεροι βρίσκονται στις ΗΠΑ (183), Γαλλία (62), Δυτική Γερμανία (43), Σοβ. Ένωση (41), Αγγλία (39), Ιαπωνία (34), Καναδά (26).

Πυρηνικοί αντιδραστήρες κινούν πολλές μονάδες του στόλου των μεγάλων δυνάμεων (κυρίως ΗΠΑ και ΕΣΣΔ), ενώ η εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας σε εμπορικά πλοία είναι ακόμα πολύ περιορισμένη.

Σ' όλους τους πυρηνικούς αντιδραστήρες η θερμότητα που παράγεται από την πυρηνική αντίδραση μεταφέρεται εκτός του αντιδραστήρα με νερό ή αέριο, όπου σε εναλλάκτες η μεταφέρομενη θερμότητα χρησιμοποιείται για ατμοπαραγωγή (ατμολέβητες). Ο παραγόμενος ατμός τροφοδοτεί πλέον ατμοστρόβιλο, η ενέργεια του οποίου μεταβιβάζεται σε άξονα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για πρώση πλοίων. Σε ορισμένο τύπο αντιδραστήρων η ατμοπαραγωγή πραγματοποιείται μέσα στον ίδιο τον αντιδραστήρα, οπότε αυτός ο ατμός οδηγείται πλέον κατευθείαν στον ατμοστρόβιλο της εγκαταστάσεως.

#### 14.4 Πρόωση πλοίων με πυρηνική ενέργεια.

Η εφαρμογή πυρηνικής ενέργειας για την πρόωση πλοίων περιορίζεται επί του παρόντος μόνο σε πολεμικά σκάφη, όπου γίνεται εκμετάλλευση δυο σημαντικών πλεονεκτημάτων της πυρηνικής προώσεως.

- α) Η πολύ μεγάλη ακτίνα δράσεως των πλοίων, χάρη στο γεγονός ότι η κατανάλωση καυσίμου είναι πολύ μικρή.  
 β) Δεν απαιτείται αέρας για την καύση, πράγμα με ιδιαίτερη σημασία για την πρόωση υποβρυχίων σε κατάδυση.

Στο εμπορικό ναυτικό τα πρώτα πυρηνοκίνητα πλοία εμφανίσθηκαν πριν 30 περίπου χρόνια και είναι το αμερικανικό πλοίο *Savannah* και το ρωσικό *Lenin*. Στο διάστημα αυτό μελετήθηκαν τα προβλήματα από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την πρόωση εμπορικών πλοίων και αποκτήθηκε αρκετή εμπειρία. Τα αποτελέσματα της εμπειρίας αυτής ήταν ενθαρρυντικά, ώστε η εγκατάσταση πυρηνικών αντιδραστήρων να επεκταθεί και σε άλλες μονάδες του εμπορικού ναυτικού.

Απ' αυτές σπουδαιότερες είναι:

- α) Το γερμανικό πλοίο *Otto Hahn*.  
 β) Το ιαπωνικό πλοίο *Mutsu* που προκάλεσαν παγκόσμιο ενδιαφέρον.

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων αυτών δίνονται συνοπτικά παρακάτω:

- α) Το γερμανικό *Otto Hahn* είναι ολικού εκτοπίσματος 25 000 τόνων και η καθέλκυσή του έγινε στα ναυπηγεία του Κιέλου τον Ιούνιο του 1964. Σε ενεργό υπηρεσία μπήκε τον Οκτώβριο του 1968. Προορίζεται για μεταφορές με-

ταλλευμάτων κυρίως (Bulk Carrier) αλλά και σαν πλοίο έρευνας για τις δυνατότητες πυρηνικής προώσεως πλοίων. Ο αντιδραστήρας του είναι τύπου **νερού υπό πίεση** και χρησιμοποιεί ως καύσιμο ουράνιο εμπλούτισμένο με ισότοπο 235 υπό μορφή οξειδίου  $\text{UO}_2$ . Το συνολικό βάρος καυσίμου είναι περίπου 3 τόνοι και επαρκεί για πλόες 500 ημερών υπό πλήρη ισχύ, που είναι 10 000 HP. Το πλοίο αυτό βρίσκεται σήμερα **εκτός λειτουργίας**.

- β) Το ιαπωνικό πυρηνοκίνητο πλοίο MUTSU έχει ολικό εκτόπισμα 8350 τόνους και η καθέλκυσή του έγινε το 1969 στα Ναυπηγεία I.H.I. του Τόκου. Το 1972 έγινε η τοποθέτηση του πυρηνικού αντιδραστήρα από την εταιρία Mitsubishi και βρίσκεται σε ενεργό υπηρεσία από το 1974.

Ο αντιδραστήρας είναι παρόμοιος με τον αντιδραστήρα του Otto Hahn και χρησιμοποιεί σαν καύσιμο ουράνιο υπό μορφή οξειδίου, εμπλούτισμένο με το ισότοπο 235 σε αναλογία 2,5%.

Η θερμική ενέργεια που παράγεται από τη σχάση του ουρανίου έχει ισχύ 36 000 kW, που μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια μέσω εγκαταστάσεως ατμοστροβίλου, με τελική ισχύ 10 000 HP περίπου. Η ποσότητα του οξειδίου του ουρανίου που περιέχει η καρδιά του αντιδραστήρα είναι 2775 kG και είναι αρκετή για να καλύψει με αυτήν το πλοίο απόσταση 145 000 μίλια με ταχύτητα 16,5 κόμβων. Το Mutsu, αν και ναυπηγήθηκε για μεταφορές ειδικών φορτίων προορίζεται βασικά για την εξοικείωση του προσωπικού στην πυρηνική πρόωση και την παραπέρα διευκρίνιση των δυνατοτήτων που η πυρηνική ενέργεια προσφέρει στην πρόωση των πλοίων.

Σαν συμπέρασμα πρέπει να τονισθεί ότι η πυρηνική ενέργεια δεν αποτελεί επί του παρόντος υπολογίσιμο παράγοντα στον τομέα προώσεως των εμπορικών πλοίων. Υπάρχουν όμως θετικές ενδείξεις για τη μελλοντική της αξιοποίηση κάτω από την πίεση της ελλείψεως των άλλων συμβατικών μορφών ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

#### 15.1 Η σημασία του ποιοτικού ελέγχου.

Ο έλεγχος της ποιότητας των καυσίμων έχει βασικό σκοπό να εξακριβώσει κατά πόσο το κάθε καύσιμο είναι κατάλληλο για τη μηχανή για την οποία προορίζεται.

Η ποιότητα των διαφόρων καυσίμων εκφράζεται από μία σειρά φυσικών χημικών ή και άλλων χαρακτηριστικών, οι τιμές των οποίων καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές που πρέπει να ακολουθούν τα καύσιμα αυτά. Οι προδιαγραφές επίσης χρησιμεύουν για να λαμβάνονται τα πρέποντα μέτρα ασφάλειας κατά τη διακίνηση των καυσίμων.

Η εξασφάλιση της ποιότητας των καυσίμων γίνεται κυρίως από τις εταιρίες πετρελαιοειδών από τις οποίες το κάθε πλοίο ή η κάθε ναυτιλιακή εταιρία προμηθεύεται το καύσιμο. Οι εταιρίες αυτές έχουν κάθε λόγο να ενδιαφέρονται για την ποιότητα των καυσίμων με τα οποία εφοδιάζουν τους πελάτες τους, και κυρίως λόγους ανταγωνισμού. Φροντίζουν μάλιστα να κάνουν περιοδικούς ελέγχους στα καύσιμα, αλλά κυρίως στα λιπαντικά των πλοίων που εφοδιάζουν, όταν αυτό ζητηθεί από τους πελάτες τους. Τα δείγματα στέλνονται από το πλοίο σε διάφορα εργαστήρια, που οι εταιρίες έχουν εγκαταστήσει σε διάφορα μέρη της υδρογείου και σε λίγες μέρες παίρνουν τα αποτελέσματα της αναλύσεως, με υποδειξείς ή σχόλια αν απαιτούνται.

Γενικά, η εκτέλεση των δοκιμών και μετρήσεων, που προβλέπουν οι προδιαγραφές των διαφόρων καυσίμων, είναι έργο χημικών εργαστηρίων και απαιτούν κατά κανόνα εξειδικευμένο προσωπικό.

Παρόλα αυτά, η γνώση των μεθόδων που εφαρμόζονται για τον ποιοτικό έλεγχο των καυσίμων — αλλά και των λιπαντικών — έχει για το μηχανικό ιδιαίτερη σημασία για δυο κυρίως λόγους:

- α) Για να μπορεί ο μηχανικός να ερμηνεύσει και να αξιολογήσει σωστά τη σημασία των αποτελεσμάτων μιας χημικής αναλύσεως, όπως αυτά αναγράφονται στο Δελτίο Αναλύσεως του καυσίμου. Από την ορθή ερμηνεία των διαφορών που μπορεί να εμφανίζονται μεταξύ των προδιαγραφών και των αποτελεσμάτων της αναλύσεως, θα μπορεί να οδηγηθεί ο μηχανικός στον εντοπισμό των αιτιών μιας πιθανής ανωμαλίας που προκάλεσε η αλλοίωση των χαρακτηριστικών ή να αποφασίσει για τις πιθανές συνέπειες που θα μπούσαν οι διαφορές αυτές να έχουν στη μηχανή κατά τη λειτουργία της.

- β) Σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει ο μηχανικός να είναι σε θέση, με τα πρόχειρα εργαστηριακά μέσα που διαθέτει στο πλοίο του, να, κάνει μόνος του μερικές απλές δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές αφορούν περισσότερο τα λιπαντικά και περιγράφονται στην παράγραφο 18.16.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, με τον ποιοτικό έλεγχο των καυσίμων εξασφαλίζεται η κατάλληλη ποιότητα του καυσίμου και συνεπώς η αποδοτικότερη λειτουργία της μηχανής για την οποία προορίζεται το καύσιμο.

Μερικές από τις δοκιμές των διαφόρων καυσίμων περιγράφονται στα αντίστοιχα κεφάλαια, όπως είναι η πτητικότητα της βενζίνης (παράγρ. 5.3), ο αριθμός οκτανίου (παράγρ. 5.4), τα ρητινικά συστατικά (κομμιώδεις ουσίες) (παράγρ. 5.6.2), ο αριθμός κετανίου (παράγρ. 6.3), η σταθερότητα του μαζούτ (παράγρ. 7.2.4).

Οι δοκιμές και μετρήσεις που περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους αφορούν σχεδόν όλα (τα υγρά κυρίως) καύσιμα.

## 15.2 Μακροσκοπική εξέταση. Βαθμός καθαρότητας.

Λέγοντας **μακροσκοπική εξέταση** εννοούμε την απλή, αλλά προσεκτική παρατήρηση ενός δείγματος καυσίμου, που έχει σκοπό κυρίως:

- Να διαπιστώσει το βαθμό καθαρότητάς του.
- Να εξακριβώσει το χρώμα του.

Μέτρο του βαθμού καθαρότητας των υγρών καυσίμων, πλην του μαζούτ, αποτελεί η **διαύγεια** που παρουσιάζει κατά τη μακροσκοπική εξέταση.

Αν το καύσιμο είναι θολό, αυτό σημαίνει παρουσία ξένων υλών και κυρίως νερού, που πρέπει να προσδιορισθούν με φυγοκέντρηση. Κατά τη φυγοκέντρηση, που γίνεται υπό ορισμένες συνθήκες, το νερό και οι ξένες ύλες που περιέχονται στο καύσιμο, συγκεντρώνονται στον πυθμένα του δοχείου που περιέχει το δείγμα, όπου και μετρούνται. Ο δύκος τους αποτελεί τον λεγόμενο **αριθμό κατακρημνίσεως** (Precipitation number) ή **νερό και ξένες ύλες διά φυγοκεντρίσεως** (Bottom sediment and water, BSW). Τα ανώτατα όρια του αριθμού κατακρημνίσεως καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Για τη μέτρηση της περιεκτικότητάς του καυσίμου σε νερό, ακολουθείται η μέθοδος που περιγράφεται στην παράγραφο 15.10.

Το **χρώμα** του καυσίμου κατά τη μακροσκοπική εξέταση έχει την εξής σημασία:

- Για τη βενζίνη είναι διακριτικό της ποιότητας. Η απλή βενζίνη χρωματίζεται κίτρινη, η βενζίνη Super πράσινη, η στρατιωτική βενζίνη κόκκινη, η βενζίνη αεροπορίας των 115 οκτανίων μωβ κ.ο.κ.
- Για το πετρέλαιο Diesel απόχρωση βαθύτερη από το γνωστό καστανοκίτρινο χρώμα προσδίδει συχνά ανάμιξη με μαζούτ, πράγμα που επιβάλλει την παραπέρα εξέταση. Στην Ελλάδα, ο χρωματισμός του Diesel γίνεται με κυανά χρώματα για τις ένοπλες δυνάμεις και με καστανοκόκκινα για τον πολιτικό τομέα.

## 15.3 Ειδικό βάρος ή πυκνότητα.

Το **ειδικό βάρος** ( $\frac{B}{V}$ ) ή η **πυκνότητα** ( $\frac{M}{V}$ ) είναι βασικό χαρακτηριστικό ενός καυ-

σίμου, αλλά δεν έχει αποφασιστική σημασία για την ποιότητά του.

Η τιμή του δεν προδιαγράφεται παρά μονάχα σε ορισμένες κατηγορίες βαρέων καυσίμων που προορίζονται για πετρελαιομηχανές. Εκεί καθορίζεται ανώτατο όριο τιμών (0,99), γιατί πάνω από το δριο αυτό ο φυγοκεντρικός αποχωρισμός του νερού δεν είναι δυνατός.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η μέτρηση της πυκνότητας ή του ειδικού βάρους για τη μετατροπή του όγκου ενός καυσίμου σε βάρος, με βάση τη γνωστή σχέση:

$$\text{Βάρος} = \text{Όγκος} \times \text{Ειδικό βάρος} \quad (1)$$

Η διακίνηση όλων των καυσίμων γίνεται σε μονάδες όγκου, γιατί ο όγκος εύκολα μπορεί να μετρηθεί, είτε με μετρητές είτε με τη στάθμη των δεξαμενών, που είναι συνήθως ογκομετρημένες. Ο όγκος όμως, όπως είναι γνωστό, μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, σε αντίθεση με το βάρος που είναι ανεξάρτητο της θερμοκρασίας. Γι' αυτό οι διακανονισμοί των καυσίμων γίνονται είτε σε μονάδες βάρους είτε σε όγκο που όμως έχει αναχθεί σε ορισμένη θερμοκρασία, συνήθως 15°C. Η αναγωγή του όγκου σε 15°C (60°F) γίνεται με ειδικούς πίνακες (πίνακας 6.6.1), ενώ για την εύρεση του βάρους εφαρμόζεται η σχέση (1), αφού πρώτα μετρηθεί το ειδικό βάρος με απόλυτη ακρίβεια. Για την αναγωγή του ειδικού βάρους που μετρήθηκε σε μια ορισμένη θερμοκρασία, σε ειδικό βάρος 15°C ή 60°F χρησιμοποιούνται ειδικοί πίνακες API, μέρος των οποίων παρατίθεται στο παράρτημα Δ.

Η μέτρηση του ειδικού βάρους ή της πυκνότητας γίνεται με ειδικά όργανα που λέγονται **αραιόμετρα** και είναι βαθμολογημένα είτε στις γνωστές μονάδες, που μας δίνουν απόλυτα το πηλίκο του βάρους διά του όγκου ( $\epsilon.\beta. = B/V$ ), είτε στην κλίμακα API, που χρησιμοποιείται από πολλές χώρες του δυτικού κόσμου. Π.χ. 0,834 σημαίνει ότι το πηλίκο του βάρους ορισμένης ποσότητας διά του όγκου της σε αντίστοιχες μονάδες ( $\text{kg/l}$  ή  $\text{g/cm}^3$ ) είναι 0,834.

Η κλίμακα API συνδέεται με το ειδικό βάρος με τη σχέση:

$$\text{API} = \frac{141,5}{\epsilon.\beta.} - 131,5$$

Έτσι θα έχομε για:  
 το νερό ( $\epsilon.\beta. = 1$ )  $\text{API} = [(141,5/1) - 131,5] = 10$   
 τη βενζίνη ( $\epsilon.\beta. = 0,705$ )  $\text{API} = [(141,5/0,705) - 131,5] = 69,2$   
 το πετρέλαιο ( $\epsilon.\beta. = 0,810$ )  $\text{API} = [(141,5/0,810) - 131,5] = 43,2$

Το πλεονέκτημα της κλίμακας API είναι ότι παρέχει το ειδικό βάρος σε τιμές ακέραιες μεγαλύτερες της μονάδας, επομένως έχομε καλύτερη και ευχέρεστερη ανάγνωση της τιμής  $\epsilon.\beta.$ .

Ευνόητο είναι ότι το ειδικό βάρος και η πυκνότητα μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. **Δεν νοείται μέτρηση του ειδικού βάρους ή της πυκνότητας χωρίς μέτρηση της θερμοκρασίας στην οποία το ειδικό βάρος ή η πυκνότητα αντιστοιχεί.** Συνήθως το  $\epsilon.\beta.$  δίνεται σε 15°C ή 60°F. Αν η μέτρηση γίνεται σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία Θ η αναγωγή στους 15°C γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$C_{15} = C_{\Theta} + (\Theta - 15) K \quad (2)$$

όπου:  $C_{15}$  η πυκνότητα σε  $15^{\circ}\text{C}$ .

$C_{\theta}$  η πυκνότητα που μετρήθηκε στη θερμοκρασία  $\theta$ .

Κ ο συντελεστής του οποίου η τιμή εξαρτάται από το είδος του καυσίμου, δηλαδή από την τιμή της πυκνότητας.

Οι τιμές του Κ για τα σπουδαιότερα είδη καυσίμων είναι:

α) Μαζούτ  $K = 0,00064$

β) Diesel  $K = 0,00068$

γ) Βενζίνη  $K = 0,00074$

Αν π.χ. η πυκνότητα του μαζούτ βρέθηκε  $0,932$  σε  $30^{\circ}\text{C}$ , αναγόμενο σε  $15^{\circ}\text{C}$  με τη σχέση (2) θα είναι:

$$C_{15} = 0,932 + (30 - 15) \times 0,00064 = 0,9416$$

Τα περισσότερα αραιόμετρα έχουν ενσωματωμένο θερμόμετρο, πράγμα που διευκολύνει τη μέτρηση, αφού συγχρόνως με το ειδικό βάρος βρίσκεται και η θερμοκρασία στην οποία το ειδικό βάρος αντιστοιχεί. Επειδή όμως η ακρίβεια των θερμομέτρων αυτών δεν είναι ικανοποιητική, η μέτρηση της θερμοκρασίας συγχρόνως με τη μέτρηση του ειδικού βάρους γίνεται με θερμόμετρα μεγαλύτερης ακρίβειας.

Το ειδικό βάρος χρησιμεύει ακόμα και για τον έμμεσο υπολογισμό της θερμαντικής ικανότητας των υγρών καυσίμων, που κατά προσέγγιση μπορεί να γίνει με τον εμπειρικό τύπο:

$$Q = 12400 - 2100 D^2 \text{ kcal/kg} \quad (3)$$

όπου:  $D$  το ειδικό βάρος σε  $15^{\circ}\text{C}$ .

Π.χ. μαζούτ με ειδικό βάρος  $0,94$  θα έχει θερμαντική ικανότητα (ανώτερη):

$$Q = 12400 - 2100 (0,94)^2 = 10544 \text{ kcal/kg.}$$

## 15.4 Ιξώδες.

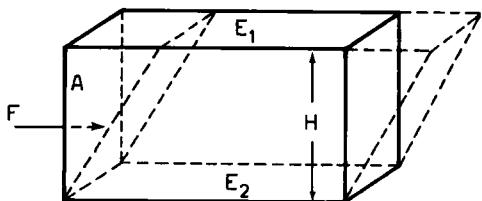
**Ιξώδες** ενός υγρού είναι το μέτρο της εσωτερικής τριβής μεταξύ των μορίων του υγρού αυτού κατά τη ροή του και εκφράζει την αντίσταση που παρουσιάζει στη ροή.

Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τα καύσιμα και περισσότερο για το πετρέλαιο Diesel και το μαζούτ, γιατί επηρεάζει δυο βασικές ιδιότητές τους:

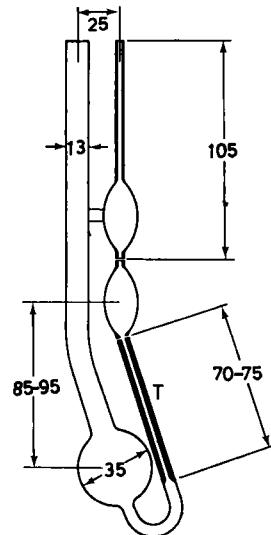
α) Την **αντλητικότητα**, δηλαδή την ευκολία με την οποία τα καύσιμα διακινούνται στο δίκτυο τους.

β) Το **βαθμό διασκορπισμού**, δηλαδή την ευκολία με την οποία τα καύσιμα εκνεφώνονται κατά την εκροή τους από το προστόμιο των καυστήρων. Ο βαθμός διασκορπισμού βρίσκεται σε άμεση σχέση με την ποιότητα καύσεως (παράγρ. 6.6.1).

Ελέγχοντας το ιξώδες, ώστε να έχει πάντα την κατάλληλη τιμή, εξασφαλίζομε για τη μηχανή μας καύσιμο, του οποίου η αντλητικότητα και ο βαθμός διασκορπισμού βρίσκονται στα επιθυμητά όρια.



**Σχ. 15.4α.**  
Η έννοια του ιξώδους.



**Σχ. 15.4β.**  
Ιξωδόμετρο Cannon-Fenske  
(κινηματικό ιξώδες).

Η έννοια του **απόλυτου ιξώδους** γίνεται αντιληπτή αν πάρομε ένα τμήμα του ρευστού σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου και εξετάσομε την κίνηση του επάνω επιπέδου  $E_1$ , σε σχέση με το κάτω επίπεδο (σχ. 15.4α), που προς στιγμή δε-χόμαστε ακίνητο. Η ροή του υγρού ασκεί μια διατμητική τάση, η τιμή της οποίας δί-νεται από το πηλίκο  $F/A$  και η οποία διατηρεί μεταξύ των επιφανειών  $E_1$  και  $E_2$  στα-θερή ταχύτητα υ. Το απόλυτο ιξώδες στην περίπτωση αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$Z = \frac{F/A}{u/H} \quad (1)$$

όπου:  $Z$  η τιμή του απόλυτου ιξώδους.

$F$  η δύναμη διατμήσεως ή δύναμη αποσχίσεως, που ασκείται από τη ροή του υγρού.

$A$  η επιφάνεια στην οποία η διάτμηση ενεργεί.

$u$  η ταχύτητα ροής.

$H$  η απόσταση μεταξύ των επιφανειών  $E_1$  και  $E_2$  και

$u/H$  η ταχύτητα διατμίσεως ή ταχύτητα αποσχίσεως.

Επομένως το ιξώδες είναι το πηλίκο της τάσεως διατμήσεως  $F/A$  προς την ταχύ-τητα αποσχίσεως  $u/H$  που προκαλείται από την τάση αυτή. Είναι δηλαδή η τιμή του ιξώδους ανάλογη προς την τάση διατμήσεως και αντιστρόφως ανάλογη προς την ταχύτητα αποσχίσεως, την οποία η τάση διατμήσεως προκαλεί. Το πηλίκο αυτό εί-ναι σταθερό (Νευτώνεια υγρά) και μεταβάλλεται μόνο με τη θερμοκρασία ή/και με την πίεση. Στα μη Νευτώνεια υγρά μεταβάλλεται και με την ταχύτητα διατμήσεως.

Στην περίπτωση των μη Νευτωνείων υγρών, όπως είναι αρκετά από τα λιπαντικά, χρησιμοποιείται η έννοια του **Φαινόμενου ή Φαινομενικού Ιξώδους** (Apparent viscosity) που μαθηματικώς δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{F}{s}$$

όπου:  $F$  η τάση διατμήσεως.

$s$  η παραμόρφωση, την οποία η διάτμηση προκαλεί.

η τιμή του φαινόμενου ιξώδους.

Αν τα παραπάνω φυσικά μεγέθη πάρουν τις τιμές των μονάδων τους στο σύστημα CGS, θα έχομε τη μονάδα μετρήσεως του απόλυτου ιξώδους που καλείται **poise**.

Επομένως: **1 poise είναι το απόλυτο ιξώδες ρευστού το οποίο υπό τάση διατμήσεως 1 dyne/cm<sup>2</sup> διατηρεί ταχύτητα 1 cm/s μεταξύ δυο επιπέδων επφανειών του, που απέχουν μεταξύ τους 1 cm.**

**Κινηματικό ιξώδες** είναι ο λόγος του απόλυτου ιξώδους  $Z$ , προς την πυκνότητα  $\rho$  του ρευστού και μετράται σε **Stokes**.

$$Stoke = \frac{Poise}{\rho}$$

Για τα περισσότερα καύσιμα το κινηματικό ιξώδες μετράται σε εκατοστά του stoke, που λέγονται **centistokes** και συμβολίζονται με cSt.

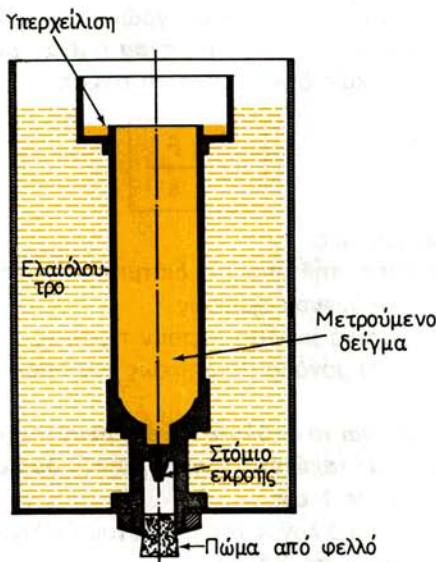
$$1 \text{ cSt} = \frac{1}{100} \text{ stoke}$$

Για τη μέτρηση του κινηματικού ιξώδους χρησιμοποιούνται απλές συσκευές όπως το ιξωδόμετρο Cannon-Fenske που εικονίζεται στο σχήμα 15.4β.

Είναι ένας γυάλινος σωλήνας με σχήμα U, στον οποίο μετράται ο χρόνος ροής (με τον τριχοειδή σωλήνα T) ορισμένης ποσότητας του μετρούμενου υγρού, με αυστηρά καθορισμένες συνθήκες. Κάθε τέτοιο ιξωδόμετρο φέρει χαραγμένο ένα συντελεστή που είναι η **σταθερά του οργάνου**. Αν ο χρόνος ροής πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή αυτό βρίσκεται η τιμή του κινηματικού ιξώδους του μετρούμενου υγρού. Η σταθερά αυτή προκύπτει με βάση την τιμή του κινηματικού ιξώδους του νερού, που είναι γνωστή από πίνακες, για μια ορισμένη θερμοκρασία.

Συνήθως κατασκευάζονται πλήρεις σειρές τέτοιων ιξωδομέτρων, που διαφέρουν μεταξύ τους κατά τη διάμετρο του τριχοειδούς, έτσι ώστε, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ιξωδόμετρο, ανάλογα με το εξεταζόμενο υγρό, να απαιτείται χρόνος ροής που να κυμαίνεται σε λογικά όρια.

Πρακτικότερα, απλούστερα στη χρήση, αλλά με μικρότερη ακρίβεια, είναι τα **Συμβατικά ιξωδόμετρα**, στα οποία ως μέτρο ιξώδους παίρνεται ο χρόνος εκροής ορισμένης ποσότητας δείγματος καυσίμου από προστόμιο με ορισμένες διαστάσεις και υπό αυστηρά καθορισμένες συνθήκες. Υπάρχουν διαφόρων τύπων τέτοια ιξωδόμετρα, από τα οποία σπουδαιότερα είναι:



**Σχ. 15.4γ.**  
Τομή ιξωδομέτρου Saybolt.

- a) Το ιξωδόμετρο Saybolt, που χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ.
- β) Το ιξωδόμετρο Redwood, που χρησιμοποιόταν στην Αγγλία, αλλά έχει καταργηθεί και δεν πρέπει να αναφέρεται πλέον. Ως λύση προτείνεται η αναγραφή του κινηματικού ιξώδους με προσωρινή παράθεση (σε παρένθεση) της αντίστοιχης τιμής Redwood για λόγους κατανοήσεως της συγκρίσεως.
- γ) Το ιξωδόμετρο Engler, που χρησιμοποιείται κυρίως στη Δυτική Ευρώπη.

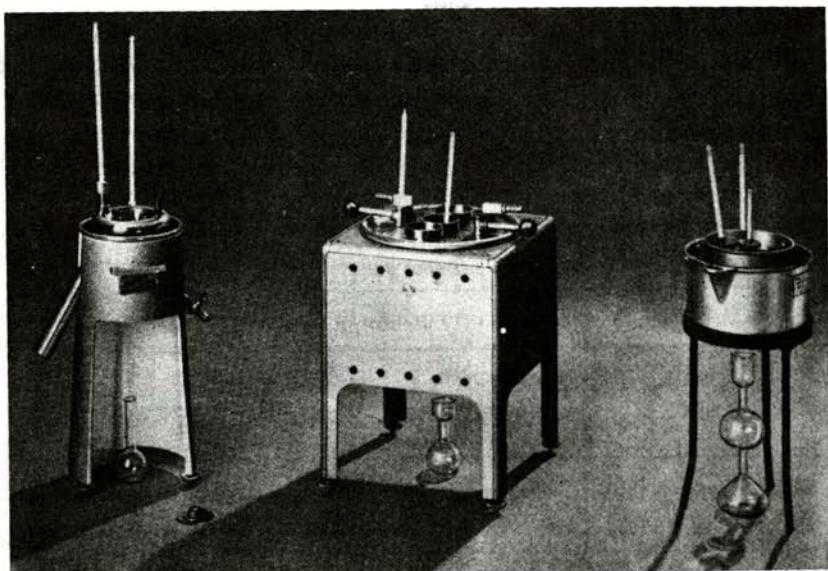
Η βασική λειτουργία των ιξωδομέτρων αυτών φαίνεται στο σχήμα 15.4γ. Στο σχήμα 15.4δ εικονίζονται οι συσκευές ιξωδομέτρων Redwood, Saybolt και Engler. Στις δυο πρώτες το μετρούμενο μέγεθος είναι ο χρόνος ροής ορισμένης ποσότητας δείγματος, ενώ στο ιξωδόμετρο Engler είναι η σχέση των χρόνων ροής του δείγματος στη θερμοκρασία δοκιμής προς το χρόνο ροής ίσης ποσότητας νερού ( $200\text{cm}^3$ ) στη θερμοκρασία των  $20^\circ\text{C}$ .

Ειδικότερα το ιξωδόμετρο Redwood, που είχε βρει τη μεγαλύτερη εφαρμογή, εικονίζεται σκαριφηματικά στο σχήμα 15.4ε. Διευκρινίζεται ότι υπήρχαν δυο τύποι ιξωδομέτρων Redwood, που διαφέρουν μεταξύ τους κατά τις διαστάσεις του στόμιου εκροής:

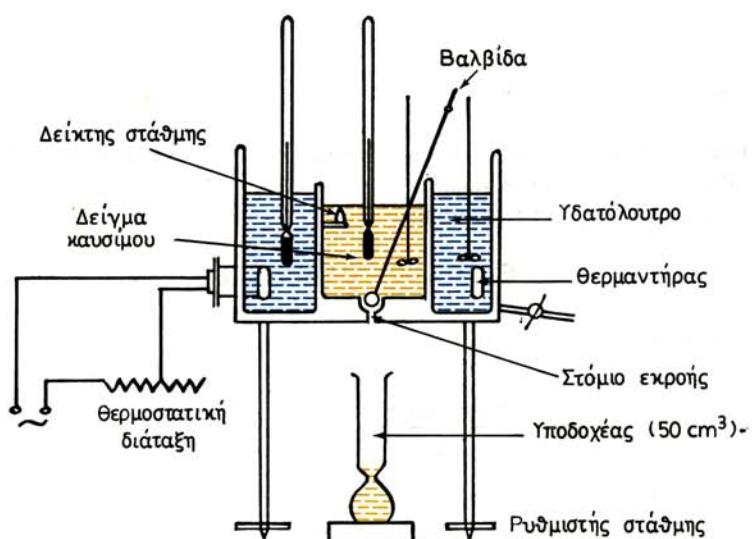
- a) Ιξωδόμετρο Redwood No 1 (RI) του οποίου το ακροφύσιο έχει μήκος 10 mm και διάμετρο 1,62 mm και χρησιμοποιόταν για υγρά με μέτριες τιμές ιξώδους (μέχρι 2000 RI).

- β) Ιξωδόμετρο Redwood No 2 (RII) του οποίου το ακροφύσιο έχει μήκος 5 mm και διάμετρο 3,50 mm και χρησιμοποιόταν για παχύρρευστα υγρά (βαριά καύσιμα). Ο χρόνος εκροής στο ιξωδόμετρο Redwood No II είναι, για το ίδιο υγρό, περίπου το  $\frac{1}{10}$  του χρόνου εκροής στο ιξωδόμετρο Redwood I.

Το ίδιο ισχύει για το ιξωδόμετρο Saybolt, που, ανάλογα με τις διαστάσεις του



**Σχ. 15.4δ.**  
Ιξωδόμετρα Redwood, Saybolt, Engler (κατά σειρά).



**Σχ. 15.4ε.**  
Ιξωδόμετρο Redwood.

ακροφυσίου, είναι δυο τύπων:

- α) Saybolt universal (Μονάδες μετρήσεως SSU) για υγρά με μέτριο ιξώδες.
- β) Saybolt Furol (Μονάδες μετρήσεως SSF) για υγρά παχύρρευστα, που είναι το  $\frac{1}{10}$  του SSU.

Ο πίνακας 15.4.1 δίνει συνοπτικά στοιχεία για τους τρεις τύπους ιξωδομέτρων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15.4.1**  
*Οι κυριότερες μέθοδοι μετρήσεως ιξώδους*

Μέθοδος	Χώρα	Ποσότητα δείγματος	Παρατηρήσεις
Engler	Δυτική Ευρώπη	200 CC	—
Redwood No I	Αγγλία	50 CC	Υγρά με μικρό ιξώδες
Redwood No II	Αγγλία	50 CC	Υγρά με μεγάλο ιξώδες
Saybolt Universal (SSU)	ΗΠΑ	60 CC	Υγρά με μικρό ιξώδες
Saybolt Furol (SSF)	ΗΠΑ	60 CC	Υγρά με μεγάλο ιξώδες

Η μετατροπή των τιμών ιξώδους μεταξύ των διαφόρων μεθόδων μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

- α) Εμπειρικοί τρόποι:** Επιτρέπουν την κατά προσέγγιση μετατροπή τιμών ιξώδους, στην *Ιδια Θερμοκρασία*.

$$SSU = 1,5 \text{ (SSF)} - 62$$

$$SSU = 37,5 \times \text{Engler}$$

$$SSU = RI : 0,84$$

π.χ. πετρέλαιο του οποίου το ιξώδες με τη μέθοδο Redwood No I βρέθηκε σε 50°C (122°F) 200 θα έχει ιξώδες:

- Στην κλίμακα Saybolt universal:

$$SSU = 200 : 0,84 = 238$$

- Στην κλίμακα Saybolt Furol:

$$SSF = \frac{(SSU + 62,5)}{11,5} = \frac{(238 + 62,5)}{11,5} = 26,1$$

- Στην κλίμακα Engler:

$$\text{Engler} = \frac{SSU}{37,5} = \frac{232}{37,5} = 6,34$$

- β) Πίνακες.** Δίνουν απευθείας την αντιστοιχία των διαφόρων κλιμάκων γι' αυτή τη Θερμοκρασία. Ένας τέτοιος πίνακας είναι ο πίνακας 15.4.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15.4.2.**  
**Αντιστοιχία ίξώδους διαφόρων κλιμάκων.**

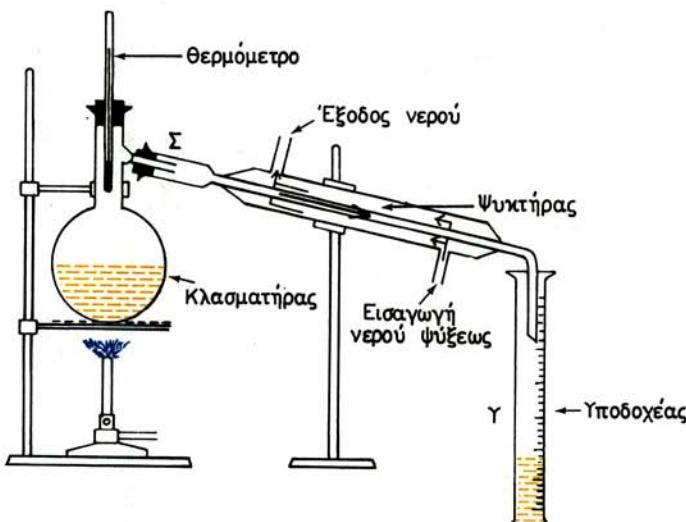
cst	°E	RI	SSU	cst	°E	RI	SSU	cst	°E	RI	SSU	cst	°E	RI	SSU
1,0	1,04	29	29,5	35,5	4,78	147	167,4	91	12,01	373	424,5	255	33,7	1046	1190
1,5	1,08	30	31,1	36,0	4,84	149	168,7	92	12,14	377	429,5	260	34,3	1066	1213
2,0	1,12	31	32,8	36,5	4,91	151	172,0	93	12,28	381	434,0	265	35,0	1087	1237
2,5	1,17	32	34,5	37,0	4,97	153	174,3	94	12,41	385	438,5	270	35,6	1107	1260
3,0	1,22	33	36,2	37,5	5,03	155	176,6	95	12,54	390	443,5	275	36,3	1128	1283
3,5	1,26	35	37,8	38,0	5,09	157	178,8	96	12,67	394	448,0	280	37,0	1148	1307
4,0	1,31	36	39,5	38,5	5,16	159	181,1	97	12,80	398	452,5	285	37,6	1169	1330
4,5	1,35	37	41,1	39,0	5,22	161	183,4	98	12,94	402	457,5	290	38,3	1189	1353
5,0	1,39	39	42,7	39,5	5,29	163	185,7	99	13,07	406	462,0	295	39,0	1210	1377
5,5	1,44	40	44,3	40,0	5,35	165	188,0	100	13,20	410	466,5	300	39,6	1230	1400
6,0	1,48	41	45,9	40,5	5,42	167	190,3	102	13,46	418	476	310	40,9	1271	1447
6,5	1,52	42	47,5	41,0	5,48	169	192,6	104	13,73	426	485	320	42,2	1312	1493
7,0	1,57	44	49,1	41,5	5,55	171	194,9	106	13,99	435	495	330	43,6	1353	1540
7,5	1,61	45	50,8	42,0	5,61	173	197,2	108	14,26	443	504	340	44,9	1394	1587
8,0	1,65	46	52,4	42,5	5,68	175	199,1	110	14,52	451	513	350	46,2	1435	1633
8,5	1,70	48	54,1	43,0	5,74	177	201,0	112	14,78	459	523	360	47,5	1476	1680
9,0	1,74	49	55,8	43,5	5,81	179	203,5	114	15,05	467	532	370	48,8	1517	1727
9,5	1,79	51	57,5	44,0	5,87	181	206,0	116	15,31	476	541	380	50,2	1558	1773
10,0	1,83	52	59,2	44,5	5,94	183	208,5	118	15,58	484	551	390	51,5	1559	1820
10,5	1,88	53,5	62,0	45,0	6,00	185	211,0	120	15,84	492	560	400	52,8	1640	1867
11,0	1,93	55	62,8	45,5	6,07	187	213,0	122	16,10	500	569	410	54,1	1681	1913
11,5	1,98	57	64,7	46,0	6,13	189	215,0	124	16,37	508	579	420	55,4	1722	1980
12,0	2,03	58,5	66,5	46,5	6,20	191	217,5	126	16,63	517	588	430	56,8	1763	2007
12,5	2,07	60	68,4	47,0	6,26	193	220,0	128	16,90	525	597	440	58,1	1804	2053
13,0	2,12	62	70,2	47,5	6,33	195	222,0	130	17,16	533	607	450	59,4	1845	2100
13,5	2,17	63,5	72,1	48,0	6,39	197	224,0	132	17,42	541	616	460	60,7	1886	2147
14,0	2,22	65	74,0	48,5	6,46	199	226,5	134	17,69	549	625	470	62,0	1927	2193
14,5	2,27	66,5	76,0	49,0	6,52	201	229,0	136	17,95	558	635	480	63,4	1968	2240
15,0	2,33	68	77,9	49,5	6,59	203	231,5	138	18,22	566	644	490	64,7	2009	2287
15,5	2,38	70	79,9	50,0	6,65	205	234,0	140	18,48	574	653	500	66,0	2050	2334
16,0	2,43	72	81,9	51	6,78	209	238,5	142	18,74	582	663	510	67,3	2091	2380
16,5	2,49	73,5	83,9	52	6,81	213	243,0	144	19,01	590	672	520	68,6	2132	2427
17,0	2,54	75	86,0	53	7,04	217	247,5	146	19,27	598	581	530	70,0	2173	2474
17,5	2,60	77	88,0	54	7,17	222	252,0	148	19,54	607	691	540	71,3	2214	2520
18,0	2,65	79	90,1	55	7,30	226	256,5	150	19,80	615	700	550	72,6	2255	2567
18,5	2,71	80,5	92,2	56	7,43	230	261,0	152	20,06	623	709	560	73,9	2296	2614
19,0	2,76	82	94,3	57	7,56	234	266,0	154	20,33	631	719	570	75,2	2337	2660
19,5	2,82	84	96,4	58	7,69	238	271,0	156	20,59	640	728	580	76,6	2378	2707
20,0	2,88	86	98,5	59	7,82	242	275,5	158	20,86	648	737	590	77,9	2419	2754
20,5	2,93	88	100,6	60	7,95	246	280,0	160	21,12	656	747	600	79,2	2460	2800
21,0	2,99	90	102,7	61	8,08	250	284,5	162	21,38	664	756	610	80,5	2501	2847
21,5	3,05	92	104,9	62	8,21	254	289,0	164	21,65	672	765	620	81,8	2542	2893
22,0	3,11	94	107,0	63	8,34	258	294,0	166	21,91	681	775	630	83,2	2583	2940
22,5	3,17	95,5	109,2	64	8,47	262	299,0	168	22,18	689	784	640	84,5	2624	2987
23,0	3,23	97	111,4	65	8,60	266	303,5	170	22,44	697	793	650	85,8	2665	3034
23,5	3,29	99	113,6	66	8,73	271	308,0	172	22,70	705	803	660	87,1	2706	3080
24,0	3,35	101	115,8	67	8,86	275	312,5	174	22,97	713	812	670	88,4	2747	3127
24,5	3,41	103	118,0	68	8,99	279	317,0	176	23,23	722	821	680	89,8	2788	3174
25,0	3,47	105	120,2	69	9,12	283	321,5	178	23,50	730	830	690	91,1	2829	3220
25,5	3,53	107	122,4	70	9,25	287	326,0	180	23,76	738	840	700	92,4	2870	3267
26,0	3,59	109	124,6	71	9,38	291	331,5	182	24,02	746	849	710	93,7	2911	3314
26,5	3,65	111	126,8	72	9,51	295	336,0	184	24,29	754	859	720	95,0	2952	3360
27,0	3,71	113	129,0	73	9,64	299	340,5	186	24,55	763	868	730	96,4	2993	3407
27,5	3,77	115	131,3	74	9,77	303	345,0	188	24,82	771	877	740	97,7	3034	3454
28,0	3,83	117	133,5	75	9,90	307	350,0	190	25,08	779	887	750	99,0	3075	3500
28,5	3,90	118	135,8	76	10,03	311	354,5	192	25,34	787	896	800	106	3280	3734
29,0	3,96	121	138,0	77	10,16	316	359,5	194	25,61	795	905	850	112	3485	3967
29,5	4,02	123	140,3	78	10,30	320	364,0	196	25,87	804	915	900	119	3690	4200
30,0	4,08	125	142,5	79	10,43	324	368,5	198	26,14	812	924	950	125	3895	4434
30,5	4,15	127	144,8	80	10,56	328	373,0	200	26,40	820	933	1000	132	4100	4667
31,0	4,21	129	147,0	81	10,69	332	378,0	205	27,1	841	957	1100	145	4510	5134
31,5	4,27	131	149,3	82	10,82	336	382,5	210	27,7	861	980	1200	158	4920	5600
32,0	4,33	133	151,5	83	10,96	340	387,5	215	28,4	882	1003	1300	172	5330	6067
32,5	4,40	135	153,8	84	11,09	344	392,0	220	29,0	902	1027	1400	185	5740	6534
33,0	4,46	137	156,0	85	11,22	349	396,5	225	29,7	923	1050	1500	198	6150	7001
33,5	4,52	139	158,3	86	11,35	353	401,5	230	30,4	943	1073	1600	211	6560	7467
34,0	4,58	141	160,6	87	11,48	357	406,0	235	31,0	964	1097	1700	224	6970	7934
34,5	4,65	143	162,9	88	11,62	361	410,5	240	31,7	984	1120	1800	238	7380	8401
35,0	4,71	145	165,1	89	11,75	365	415,5	245	32,3	1005	1143	1900	251	7790	8867
				90	11,88	369	420,0	250	33,0	1025	1167	2000	264	8200	9334

cst:centistokes    °E:Engler    RI:Redwood I    SSU:seconds saybolt universal

### 15.5 Απόσταξη.

Με την απόσταξη χωρίζομε τα συστατικά ενός καυσίμου μεταξύ τους, ανάλογα με τις θερμοκρασίες στις οποίες αποτελείται το καθένα απ' αυτά. Τα αποστάγματα λαμβάνονται σε ομάδες και λέγονται **κλάσματα**, γι' αυτό και η απόσταξη ονομάζεται **κλασματική**. Συνήθως σημειώνεται η θερμοκρασία στην οποία έχει αποστάξει ορισμένο ποσοστό του δείγματος και μάλιστα το 10%, 40%, 50% και 90%. Σημειώνονται επίσης η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η απόσταξη (IBP, Initial boiling point) και η ανώτατη θερμοκρασία που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της και που θεωρείται σαν το τέλος της αποστάξεως (E.P., End Point) ή FBP (Final Boiling Point). Οι τιμές όλων αυτών των θερμοκρασιών καθορίζονται από τις προδιαγραφές.

Η συσκευή αποστάξεως που εικονίζεται στο σχήμα 15.5α αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα:



**Σχ. 15.5α.**  
Συσκευή κλασματικής αποστάξεως.

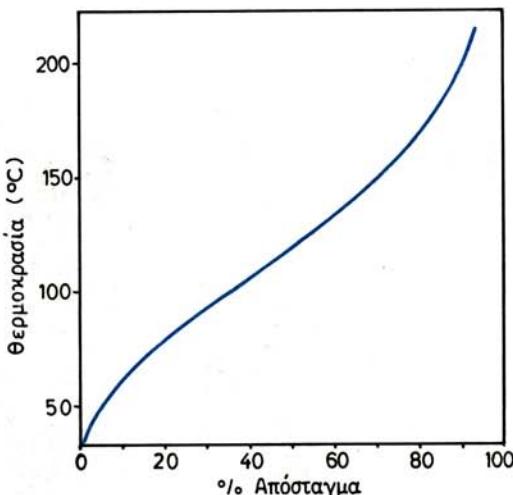
- Κλασματήρας** είναι η σφαιρική φιάλη στην οποία φέρεται το δείγμα (συνήθως  $100 \text{ cm}^3$ ). Από το πώμα του κλασματήρα διέρχεται το θερμόμετρο, ενώ ο πλαγιος σωλήνας  $\Sigma$  οδηγεί τους παραγόμενους ατμούς στον ψυκτήρα.
- Ψυκτήρας** είναι γυάλινος ή μεταλλικός σωλήνας.
- Υποδοχέας**  $\Upsilon$  είναι κύλινδρος βαθμολογημένος στον οποίο συλλέγονται αποστάγματα του δείγματος.

Οι διαστάσεις της συσκευής καθορίζονται με ακρίβεια από τις σχετικές προδια-

γραφές. Παρόμοια είναι η συσκευή που καθορίζεται από τη μέθοδο ASTM. Διαφέρει κυρίως κατά το ότι τα κύρια μέρη της περιβάλλονται από μεταλλικές θήκες και η θέρμανση του δείγματος γίνεται συνήθως με ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Οι θερμοκρασίες στις οποίες συλλέγονται τα διάφορα κλάσματα καταχωρούνται σε πίνακα ή μεταφέρονται σε διάγραμμα θερμοκρασιών - κλασμάτων από το οποίο προκύπτει η **καμπύλη αποστάξεως**, που έχει ιδιαίτερη σημασία για την πτητικότητα της βενζίνης (παράγρ. 5.3). Μια τυπική καμπύλη αποστάξεως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 15.5β (Τυπική καμπύλη αποστάξεως βενζίνης).

Για ακριβείς μετρήσεις πρέπει να γίνεται διόρθωση της θερμοκρασίας ανάλογα με τη βαρομετρική πίεση, με βάση ειδικούς πίνακες.



Σχ. 15.5β.  
Καμπύλη αποστάξεως βενζίνης.

### 15.6 Σημείο αναφλέξεως και σημείο καύσεως.

**Σημείο αναφλέξεως** είναι η κατώτατη θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί που συγκεντρώνονται πάνω από την επιφάνεια ενός δείγματος καυσίμου, που θερμαίνεται κάτω από ορισμένες συνθήκες, αναφλέγονται **σπιγματία** με την προσέγγιση μικρής φλόγας. Υπάρχουν δύο σημεία αναφλέξεως:

- 1) Σημείο Αναφλέξεως σε Κλειστό Δοχείο (ΣΑΚΔ) και
- 2) Σημείο Αναφλέξεως σε Ανοικτό Δοχείο (ΣΑΑΔ).

Το δεύτερο είναι 10-40°C πάνω από το πρώτο και εφαρμόζεται σε βαριά καύσιμα ή λιπαντικά, ενώ το κλειστό δοχείο (συσκευή Pensky-Martens) χρησιμοποιείται για ελαφρά καύσιμα με σχετικά χαμηλότερο σημείο αναφλέξεως (βενζίνες - Diesel - κεροζίνη).

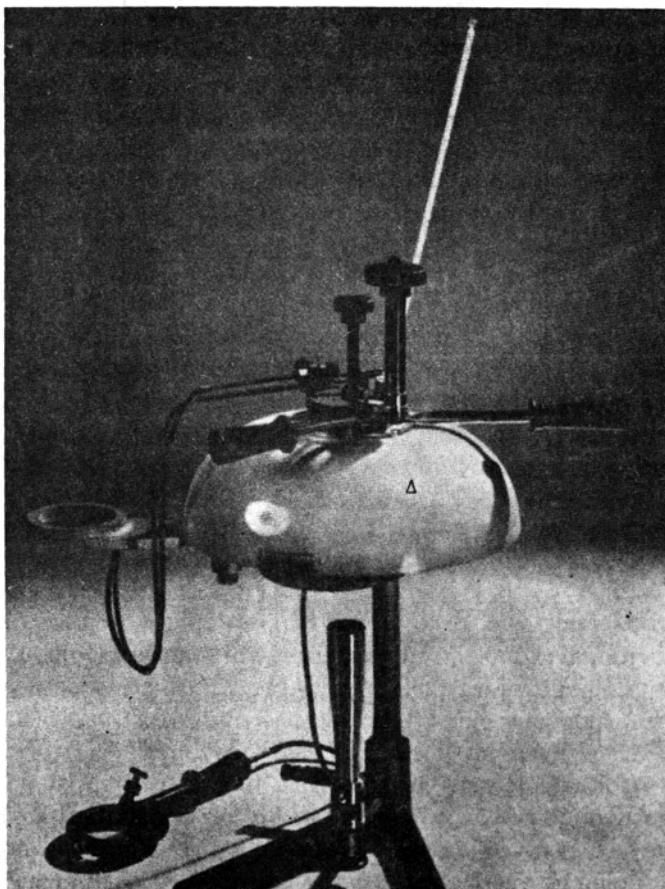
**Σημείο καύσεως** είναι η θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο, που θερμαίνεται με τις ίδιες συνθήκες, αναφλέγεται, αλλά και εξακολουθεί να καίεται επί 5'' τουλάχιστον.

Το σημείο καύσεως είναι συνήθως 20-40°C πάνω από το σημείο αναφλέξεως σε ανοικτό δοχείο.

Ο προσδιορισμός του σημείου αναφλέξεως χρειάζεται για να ερευνηθεί αν υπάρχει μόλυνση ενός προϊόντος με πητητικά καύσιμα και για να ληφθούν τα πρέποντα μέτρα ασφάλειας κατά την αποθήκευση και διακίνηση κάθε προϊόντος.

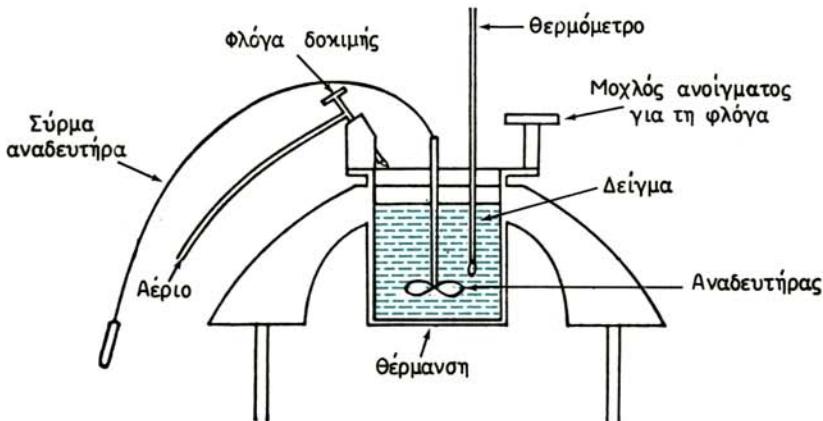
Η μέτρηση του σημείου αναφλέξεως γίνεται σε ειδική συσκευή, όπως αυτή που εικονίζεται στο σχήμα 15.6 α, γνωστή ως συσκευή Rensky-Martens.

Το δείγμα του καυσίμου θερμαίνεται στο κλειστό δοχείο Δ, με τρόπο ώστε η θερμοκρασία του να ανεβαίνει κατά 5°C ανά λεπτό. Περίπου 10°C πριν από το αναμενόμενο σημείο αναφλέξεως, από τον πλαϊνό σωλήνα Σ προσάγεται μικρή φλόγα διαμέτρου 4 mm, με την οποία δοκιμάζεται η ανάφλεξη των ατμών που έχουν συγκεντρωθεί στην επιφάνεια. Αυτό επαναλαμβάνεται κάθε 1°C ή 2°C ώ-



**Σχ. 15.6α.**  
Συσκευή σημείου αναφλέξεως.

σπου να παρατηρηθεί στιγμιαία ανάφλεξη (Flash). Η κατώτατη θερμοκρασία στην οποία θα συμβεί η στιγμιαία ανάφλεξη είναι η θερμοκρασία αναφλέξεως του δείγματος. Για να βρούμε το σημείο καύσεως, η θέρμανση συνεχίζεται ώσπου η καύση να παραμένει σταθερή τουλάχιστον επί 5 δευτερόλεπτα. Σκαριφηματική τομή της συσκευής φαίνεται στο σχήμα 15.6β.



Σχ. 15.6β.

Συσκευή Pensky-Martens, για τον προσδιορισμό του Σ.Α. σε κλειστό δοχείο.

## 15.7 Θείο.

Η μέτρηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού πάνω από ορισμένα όρια η παρουσία του είναι ανεπιθύμητη, γιατί τα προϊόντα καύσεως του θείου είναι ισχυροί διαβρωτικοί παράγοντες για τα μεταλλικά μέρη της μηχανής.

Η μέτρηση του θείου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

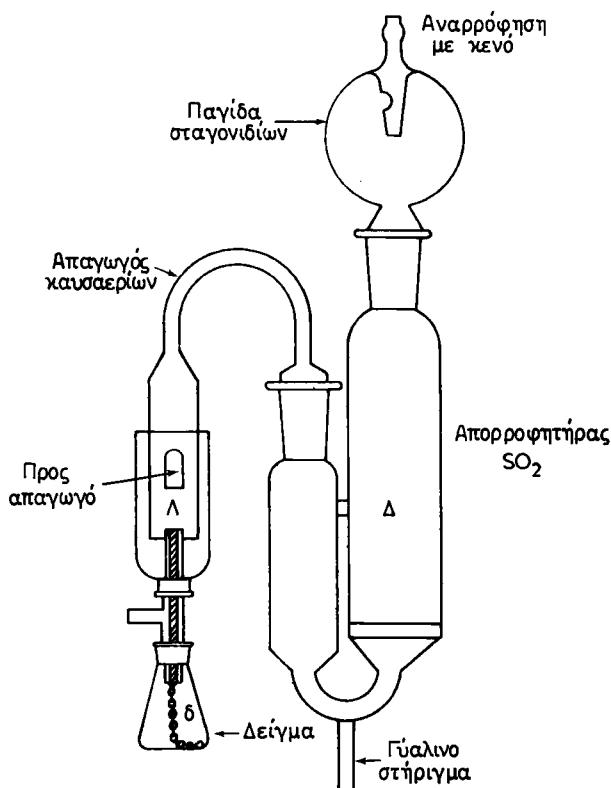
### 1) Άμεσος προσδιορισμός διά καύσεως.

Το δείγμα του καυσίμου υποβάλλεται σε καύση κατά την οποία το θείο μετατρέπεται τελικά σε θειικό οξύ, που εύκολα προσδιορίζεται με απλές μεθόδους της αναλυτικής χημείας.

Για την καύση χρησιμοποιούνται δύο ειδών εργαστηριακές συσκευές:

#### α) Μέθοδος λάμπας.

Εφαρμόζεται μόνο για βενζίνη και φωτιστικό πετρέλαιο και γενικά για καύσιμα που μπορούν να καίονται με φυτίλι. Το δείγμα, που βρίσκεται στο δοχείο Δ, ανεβαίνει με τη βοήθεια του φυτίλιού στο χώρο Λ όπου καίεται, σε ατμόσφαιρα που ρυθμίζεται να περιέχει 10%  $\text{CO}_2$  και 30% οξυγόνο (σχ. 15.7). Το διοξείδιο του θείου  $\text{SO}_2$ , που παράγεται κατά την καύση, απορροφάται στο δοχείο Δ, που περιέχει υπεροξείδιο του υδρογόνου  $\text{H}_2\text{O}_2$ , με το οποίο οξειδώνεται προς τριοξείδιο του θείου  $\text{SO}_3$ , που με το νερό μετατρέπεται σε θειικό οξύ  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Το



**Σχ. 15.7.**  
Λάμπα προσδιορισμού θείου.

Θειικό οξύ προσδιορίζεται με δύο τρόπους:

- 1) **Ογκομετρικά**, με άλκαλι, δηλαδή με διάλυμα NaOH ή KOH γνωστής ισχύος, του οποίου κάθε  $\text{cm}^3$  αντιστοιχεί σε ορισμένη ποσότητα θειικού οξέος.
- 2) **Σταθμικά**, με χλωριούχο βάριο ( $\text{BaCl}_2$ ), που μετατρέπει το θειικό οξύ σε θειικό βάριο ( $\text{BaSO}_4$ ), που είναι εντελώς αδιάλυτο. Το θειικό βάριο εύκολα απομονώνεται και ζυγίζεται. Από το βάριος του υπολογίζεται το θείο, που περιέχει το αρχικό δείγμα του καυσίμου, η ποσότητα του οποίου ήταν από την αρχή γνωστή.

### β) Θερμιδομετρική οβίδα.

Χρησιμοποιείται για όλα τα είδη καυσίμων και είναι γνωστή ως **Θερμιδομετρική οβίδα Mahler** (σχ. 15.8). Εδώ η καύση γίνεται με πολύ έντονες συνθήκες, ώστε να καίονται τελείως και υλικά των οποίων η καύση δεν είναι εύκολη, όπως συμβαίνει με πολλές κατηγορίες στερεών καυσίμων. Η καύση γίνεται σε κλειστό χώρο, με καθαρό οξυγόνο και με πίεση περίπου 25 bar. Και εδώ το θείο μετατρέπεται σε θειικό οξύ, που τελικά προσδιορίζεται με την ίδια διαδικασία, όπως

και στη μέθοδο της λάμπας. Η θερμιδομετρική οβίδα χρησιμοποιείται περισσότερο για τη μέτρηση της θερμαντικής ικανότητας των καυσίμων, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο (15.8).

## 2) Έμμεσος έλεγχος παρουσίας θείου.

Βασίζεται στη διαβρωτικότητα που προκαλούν οι θειούχες ενώσεις σε ελάσματα καθαρού χαλκού (Copper Strip Corrosion). Η διαβρωτικότητα αυτή εκδηλώνεται με την αμαύρωση του χαλκού, ο βαθμός της οποίας είναι ανάλογος προς την περιεκτικότητα θείου. Τα ελάσματα του χαλκού εμβαπτίζονται στο δείγμα που εξετάζεται και διατηρούνται σ' αυτό επί 3 ώρες σε θερμοκρασία 50°. Η αμαύρωση του χαλκού συγκρίνεται με μια σειρά από πρότυπα δοκίμια χαλκού και βαθμολογείται ανάλογα. Μόνο μια ελαφρά αλλοίωση της αρχικής αποχρώσεως επιτρέπεται, που στην παραπάνω κλίμακα βαθμολογείται με ένα (1). Οι προδιαγραφές καθορίζουν όρια μόνο για τα αποστάγματα (βενζίνες, κεροζίνη, Γκαζόιλ). Για το μαζούτ δεν καθορίζονται όρια, άρα η δοκιμή αυτή δεν εφαρμόζεται για μαζούτ, γιατί, όπως είναι ευνόητο, η αμαύρωση καλύπτεται από το χρώμα του μαζούτ.

## 15.8 Θερμαντική ικανότητα ή θερμογόνος δύναμη.

**Θερμαντική ικανότητα** ενός καυσίμου είναι το ποσό της θερμότητας που παράγεται κατά την τέλεια καύση της μονάδας βάρους του καυσίμου αυτού υπό ορισμένες συνθήκες. Είναι ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά ενός καυσίμου, αφού από τη θερμαντική ικανότητα εξαρτάται το ποσό ενέργειας που θα παραχθεί κατά την καύση του καυσίμου στη μηχανή. Τη σημασία της θερμαντικής ικανότητας για τα υγρά καύσιμα, και κυρίως για τα πετρελαιοειδή, μειώνει το γεγονός ότι η τιμή της για τα καύσιμα αυτά κυμαίνεται σε περιορισμένα όρια (8500-11000 kcal/kg). Αντίθετα για τα στερεά καύσιμα ποικίλλει σε πολύ ευρέα όρια που κυμαίνονται από 1000-8800 kcal/kg και αποτελεί το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό τους.

Για τα αέρια καύσιμα η θερμογόνος δύναμη εκφράζεται και σε kcal/m<sup>3</sup>. Η μετατροπή από kcal/kg σε kcal/m<sup>3</sup>, μπορεί εύκολα να γίνει, πολλαπλασιάζοντας κάθε φορά την τιμή kcal/kg επί το ειδικό βάρος του καυσίμου, όπως παρουσιάζει ο παρακάτω πίνακας:

θερμογόνος δύναμη διαφόρων καυσίμων

Είδος καυσίμου	QA kcal/kg	Ειδικό βάρος kg/m <sup>3</sup>	QA kcal/m <sup>3</sup>
Υδρογόνο	34400	0,089	3071
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	13100	0,714	9355
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	12300	1,34	16470
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	11900	1,96	23345
Βουτάνιο (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	11700	2,58	30290
Ασετυλίνη	12000	1,176	13990
Μονοξ. άνθρακα (CO)	2430	1,25	3038

Η μέτρηση της θερμαντικής ικανότητας γίνεται με **τέλεια καύση** ορισμένης ποσότητας δείγματος του καυσίμου με καθαρό οξυγόνο σε πίεση 25 bar υπό καθορισμένες συνθήκες. Η συσκευή που χρησιμοποιείται για την καύση αυτή είναι γνωστή ως **Θερμιδομετρική οβίδα** ή **Θερμιδομετρικός δλμος**. Τοποθετείται μέσα στο θερμιδόμετρο μαζί με ορισμένη ποσότητα νερού (σχ. 15.8).

Ο υπολογισμός της θερμότητας  $Q$  που παράγεται κατά την καύση γίνεται με τη γνωστή από τη θερμιδομετρία σχέση (1). Η θερμότητα αυτή ανάγεται ανά μονάδα βάρους του καυσίμου (συνήθως kg), πράγμα που αντιστοιχεί στην έννοια της θερμαντικής ικανότητας.

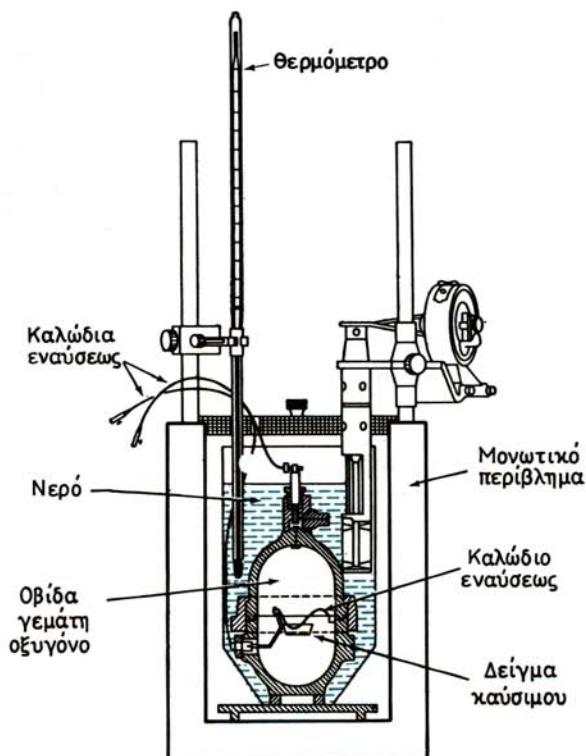
$$Q = c (\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

όπου  $Q$  η θερμότητα που παράγεται από την καύση ορισμένης γνωστής ποσότητας καυσίμου.

$\theta_1$  η αρχική θερμοκρασία του νερού στο θερμιδόμετρο (πριν την καύση).

$\theta_2$  η τελική θερμοκρασία του νερού στο θερμιδόμετρο (μετά την καύση).

$c$  η σταθερά του θερμιδομέτρου, ανά βαθμό θερμοκρασίας, που υπολογί-



Σχ. 15.8.  
Θερμιδομετρική οβίδα.

ζεται αν η θερμιδομέτρηση γίνει με καύσιμο γνωστής θερμαντικής ικανότητας, οπότε η εξίσωση (1) λύνεται ως προς c.

Η εξίσωση (1) βασίζεται στην απλή σκέψη ότι το ποσό της θερμότητας που παράγεται κατά την καύση του δείγματος καυσίμου, είναι αυτό που απορροφά το θερμιδόμετρο. Η μόνωση της συσκευής περιορίζει τις απώλειες της θερμότητας σε όρια αμελητέα. Για πιο ακριβή αποτελέσματα θερμιδομετρήσεων πρέπει να γίνονται διορθώσεις:

- Για το περιεχόμενο θείο, που μέσα στο θερμιδόμετρο μετατρέπεται σε θεικό οξύ.
- Για το άζωτο, που στο θερμιδόμετρο μετά την καύση μετατρέπεται σε νιτρικό οξύ.
- Για τις απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον.

### Παράδειγμα.

Σε θερμιδόμετρο καίεται ποσότητα 0,96 g μαζούτ, οπότε παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας του νερού του θερμιδομέτρου από  $14,45^{\circ}\text{C}$  σε  $16,55^{\circ}\text{C}$ . Ζητείται η θερμαντική ικανότητα του μαζούτ, αν η σταθερά του θερμιδομέτρου είναι  $c = 4,92$ .

### Λύση.

$$Q = 4,92 (16,55 - 14,45) = 4,92 \times 2,10 = 10,332 \text{ kcal}$$

Ωστε: από 0,96 g μαζούτ παράγονται 10,332 kcal  
από 1000 g (1 kg) x;

$$x = \frac{10,332 \times 1000}{0,96} = \mathbf{10762 \text{ kcal}}$$

Άρα η θερμαντική ικανότητα του δείγματος του μαζούτ είναι:

$$\mathbf{10762 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}}$$

### Έμμεσοι τρόποι υπολογισμού της θερμαντικής ικανότητας.

Τη θερμαντική ικανότητα του καυσίμου μπορούμε με αρκετή προσέγγιση να υπολογίσουμε έμμεσα με διάφορους τρόπους από τους οποίους αναφέρονται δύο:

#### 1) Από τη χημική σύσταση του καυσίμου.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη διαπίστωση ότι τα στοιχεία, από τα οποία αποτελείται το καύσιμο, αποδίδουν κατά την τέλεια καύση τους το ίδιο ποσό θερμότητας, είτε καίονται μόνα τους, δηλαδή το καθένα χωριστά, είτε καίονται υπό τη μορφή των χημικών ενώσεων που αποτελούν το καύσιμο.

Οι επί μέρους θερμαντικές ικανότητες των βασικών συστατικών των καυσίμων είναι:

- Για τον άνθρακα (C) = 8100 kcal/kg (33800 kJ/kg)
- Για το υδρογόνο (H) = 34400 kcal/kg (144000 kJ/kg)
- Για το θείο (S) = 2500 kcal/kg (10400 kJ/kg)

Το οξυγόνο όχι μόνο δεν δίνει θερμότητα κατά την καύση του καυσίμου, αλλά,

αντίθετα θεωρείται ότι έχει δεσμεύσει στο μόριο του καυσίμου υδρογόνο ίσο με το  $\frac{1}{8}$  του βάρους του, γιατί μ' αυτή την αναλογία ενώνονται τα δύο αυτά στοιχεία μεταξύ τους. Η δέσμευση αυτή του υδρογόνου πρέπει να αφαιρείται κατά τον υπολογισμό της θερμαντικής ικανότητας του καυσίμου. Έτσι καταλήγομε στη σχέση:

$$Q_A = 8100 C + 34400 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \quad (2)$$

όπου: C η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα σε kg/kg καυσίμου.

H η περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο σε kg/kg καυσίμου.

S η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο σε kg/kg καυσίμου.

O η περιεκτικότητα του καυσίμου σε οξυγόνο σε kg/kg καυσίμου.

O συμβολισμός  $Q_A$  παριστάνει την **ανώτερη θερμογόνο δύναμη** ή **ανώτερη θερμαντική ικανότητα** του καυσίμου, δηλαδή το ποσό της θερμότητας που παράγεται υπό καθορισμένες συνθήκες κατά την τέλεια καύση του. Η θερμότητα αυτή αντιστοιχεί σ' αυτήν που μετράται με τη θερμιδομετρική οβίδα σε 25°C, οπότε το παραγόμενο νερό είναι σε υγρή κατάσταση. Το εκμεταλλεύσιμο όμως ποσό θερμότητας, που ονομάζεται **κατώτερη θερμαντική ικανότητα** (ή **θερμογόνος δύναμη**) είναι μικρότερο, γιατί μέρος της παραγόμενης θερμότητας κρατεί ο υδρατμός που υπάρχει στα προϊόντα της καύσεως. Ο υδρατμός αυτός προέρχεται από την εξάτμιση της υγρασίας ή του νερού που το καύσιμο περιέχει, και από την καύση του υδρογόνου.

Αν ληφθεί υπόψη ότι:

- a) Από H kg υδρογόνου παράγονται κατά την καύση 9H kg νερού.
- b) Κάθε kg νερού δεσμεύει 600 περίπου θερμίδες (kcal) για να παραμείνει σε κατάσταση υδρατμού, τότε η κατά προσέγγιση σχέση που συνδέει την ανώτερη θερμαντική ικανότητα  $Q_A$  με την κατώτερη θερμαντική ικανότητα  $Q_K$  θα είναι:

$$Q_K = Q_A - 600 (9H + Y) \quad (3)$$

όπου: Y η περιεκτικότητα του καυσίμου σε νερό (kg νερού/kg καυσίμου).

Την κατώτερη θερμαντική ικανότητα μπορούμε και κατευθείαν να υπολογίζομε με τη σχέση:

$$Q_K = 8100C + 29000 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500S - 600Y \quad (4)$$

που προκύπτει από το συνδυασμό των εξισώσεων (2) και (3).

(29000 kcal/kg είναι η κατώτερη θερμαντική ικανότητα του υδρογόνου).

### **Παράδειγμα.**

Η χημική σύσταση πετρελαίου είναι:

C = 82%, H = 12%, O = 0,08%, S = 1,2% και νερό = 4%. Να ευρεθούν η ανώτερη και η κατώτερη θερμαντική ικανότητά του.

### Λύση.

$$\text{α) } Q_A = 8100 \times 0,82 + 34400 \left[ 0,12 - \left( \frac{0,008}{8} \right) \right] + 0,012 \times 2500$$

$$Q_A = 6642 + 4093,6 + 30 = \mathbf{10765,6 \text{ kcal/kg καυσίμου.}}$$

$$\text{β) } Q_K = Q_A - 600 (9 \text{ H} + Y)$$

$$Q_K = 10765,6 - 600 (9 \times 0,12 + 0,04)$$

$$Q_K = 10765,6 - (600 \times 1,12)$$

$$Q_K = \mathbf{10083,6 \text{ kcal/kg καυσίμου.}}$$

Οι παραπάνω τύποι (3) και (4) ισχύουν με την παραδοχή ότι τα συστατικά των καυσίμων (άνθρακας, υδρογόνο, θείο) είναι ελεύθερα, επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη η **ενέργεια σχηματισμού**, δηλαδή η θερμότητα που έχει δαπανηθεί για το σχηματισμό του καυσίμου που αποτελούν.

Ονομάζεται, λοιπόν, **ενέργεια σχηματισμού** το ποσό θερμότητας, που απαιτείται για το σχηματισμό μιας χημικής ενώσεως. Το ποσό αυτό άλλοτε είναι θετικό, δηλαδή η θερμότητα εκλύεται κατά το σχηματισμό της ενώσεως, όπως π.χ. συμβαίνει με το μεθάνιο (εξώθερμη αντίδραση) και άλλοτε είναι αρνητικό, δηλαδή η θερμότητα απορροφάται κατά το σχηματισμό της ενώσεως, όπως συμβαίνει π.χ. με το ακετυλένιο (ενδόθερμη αντίδραση). Φυσικό, είναι, λοιπόν κατά την καύση να υπολογίζεται και η θερμότητα σχηματισμού, αφού τόση θερμότητα απαιτείται για τη διάσπαση του καυσίμου στα συστατικά του, ώστε ελεύθερα πλέον να μπορούν να ενωθούν με το οξυγόνο για την καύση.

Για το λόγο αυτό, όταν απαιτείται ακριβής προσδιορισμός της θερμαντικής ικανότητας ενός καυσίμου, αντί του υπολογισμού με τις παραπάνω εξισώσεις (3) και (4), είναι προτιμότερος ο πειραματικός προσδιορισμός με τη θερμιδομετρική οβίδα, όπως περιγράφεται παραπάνω.

### 2) Από το ειδικό βάρος ή πυκνότητα d του καυσίμου στους 15°C.

Ισχύει μόνο για τα υγρά καύσιμα και μάλιστα για τα πετρελαιοειδή, στα οποία έχει παρατηρθεί ότι η θερμαντική ικανότητα είναι μικρότερη στα βαρύτερα καύσιμα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα βαρύτερα καύσιμα, όπως το μαζούτ, έχουν σχέση C/H μεγαλύτερη απ' όσο τα ελαφρύτερα κλάσματα, και επομένως αποδίδουν λιγότερες θερμίδες, αφού η θερμαντική ικανότητα του άνθρακα είναι περίπου το  $\frac{1}{4}$  της θερμαντικής ικανότητας του υδρογόνου.

Για τον υπολογισμό της θερμαντικής ικανότητας με βάση το ειδικό βάρος ή την πυκνότητα d του καυσίμου εφαρμόζεται ο εμπειρικός τύπος:

$$Q = 12400 - 2100 d^2$$

(βλέπε παράγρ. 15.2 όπου και παράδειγμα).

Τα λαμβανόμενα αποτελέσματα είναι λίγο μεγαλύτερα από τα πραγματικά. Η θερμαντική ικανότητα με βάση την τιμή του ειδικού βάρους για τα καύσιμα των πετρελαιομηχανών μπορεί να βρεθεί και από πίνακες, όπως ο πίνακας του παραρτήματος A, που βασίζεται στην παραπάνω σχέση.

Ένας άλλος τρόπος διακρίσεως της θερμογόνου δυνάμεως ενός καυσίμου είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η καύση, δηλαδή:

α) Θερμογόνος δύναμη υπό σταθερή πίεση ( $Q_p$ ), όταν η καύση γίνεται υπό σταθερή πίεση.

β) Θερμογόνος δύναμη υπό σταθερό όγκο ( $Q_v$ ), όταν η καύση γίνεται υπό σταθερό όγκο.

Είναι φανερό ότι η  $Q_p$  είναι μεγαλύτερη της  $Q_v$  διότι, όταν η καύση γίνεται υπό σταθερή πίεση και το σχηματιζόμενο νερό είναι σε υγρή κατάσταση τότε παράγεται από την ατμόσφαιρα έργο  $W_a$ , που αποδίδεται στο σύστημα, δηλαδή

$$Q_p = Q_v + W_a$$

Ευνόητο είναι ότι η παραπάνω διάκριση αφορά τόσο την ανώτερη όσο και την κατώτερη Θ.Δ. δηλαδή θα έχουμε:

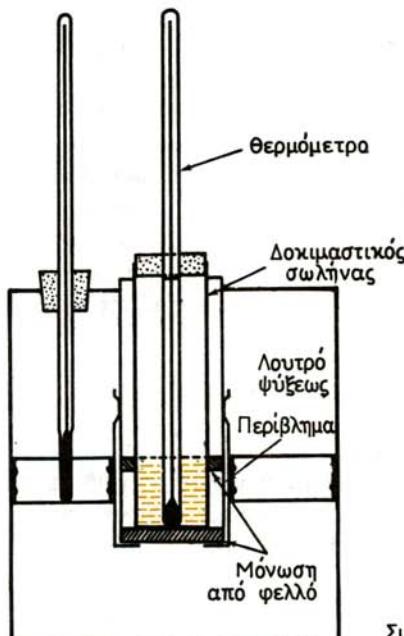
$$\begin{aligned} Q_{A(p)} &= Q_{A(v)} + W_a \\ Q_{k(p)} &= Q_{k(v)} + W'_a \end{aligned}$$

Οι τιμές του έργου  $W_a$  ή  $W'_a$  εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε Η και Ο (εκτός Η και Ο που υπάρχουν στο νερό που το καύσιμο περιέχει) και δίδονται κατά προσέγγιση με τον τύπο.

$$W_a = 1,5H - 0,20 \text{ kcal/kg}$$

### 15.9 Σημείο ροής.

Σημείο ροής (Pour point) είναι η κατώτατη θερμοκρασία μέχρι την οποία το καύσιμο διατηρεί τη ρευστότητά του, μπορεί δηλαδή να ρέει κάτω από ορισμένες συνθήκες.



Σχ. 15.9.  
Συσκευή προσδιορισμού σημείου ροής.

Για τη μέτρηση χρησιμοποιείται απλή συσκευή, όπως αυτή που εικονίζεται στο σχήμα 15.9. Το δείγμα ψύχεται με ορισμένη ταχύτητα σε δοκιμαστικό σωλήνα ορισμένων διαστάσεων που φέρεται σε ψυκτικό θάλαμο. Δοκιμή για διαπίστωση ροής ή όχι γίνεται κάθε  $3^{\circ}\text{C}$  πτώση της θερμοκρασίας (δοκιμάζεται κατά πόσο το δείγμα διατηρεί τη ρευστότητά του). Καταγράφεται η θερμοκρασία εκείνη στην οποία η ελεύθερη επιφάνεια του δείγματος δεν παρουσιάζει πλέον κύρτωση, όταν ο δοκιμαστικός σωλήνας τοποθετηθεί σε οριζόντια θέση επί 5 s. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται **θερμοκρασία ψύξεως ή ακινησίας** (Freezing point).

Το σημείο ροής ορίζεται συμβατικά  $3^{\circ}\text{C}$  πάνω από τη θερμοκρασία ψύξεως (ή ακινησίας).

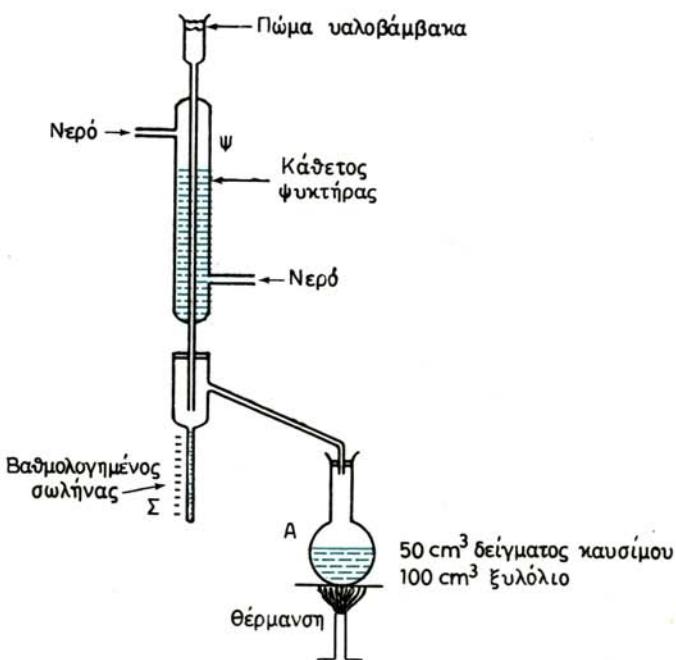
Αν π.χ. ένα πετρέλαιο δίνει με την παραπάνω μέθοδο σημείο ακινησίας  $-10^{\circ}\text{C}$ , τότε το σημείο ροής θα είναι:

$$\Sigma.P. = -10 + 3 = -7^{\circ}\text{C}$$

### 15.10 Μέτρηση του νερού.

Η παρουσία του νερού στα καύσιμα είναι γενικά ανεπιθύμητη, για τρεις κυρίως λόγους:

- α) Προκαλεί διαβρώσεις.
- β) Είναι δυνατόν σε χαμηλές θερμοκρασίες να προκαλέσει απόφραξη του δικύου από τον πάγο που μπορεί να σχηματισθεί.



Σχ. 15.10.

Συσκευή προσδιορισμού νερού στα καύσιμα (Dean and Stark).

γ) Μπορεί να διαχωρισθεί κατά την προθέρμανση και να προκαλέσει στους καυστήρες σβήσιμο της φλόγας από τον παραγόμενο υδρατμό.

Η παρουσία του νερού στα αποστάγματα (βενζίνες, κεραζίνη, πετρέλαιο Diesel) προδίνεται κατά τη μακροσκοπική εξέταση (παράγρ. 15.2). Άλλωστε τα καύσιμα αυτά δεν συγκρατούν νερό ή το αποβάλλουν εύκολα με απλή καθίζηση.

Αντίθετα, για τα βαρύτερα καύσιμα (μαζούτ), η μέτρηση της περιεκτικότητας του νερού μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

α) Με φυγοκέντριση, οπότε συμπροσδιορίζονται και οι άλλες ξένες ύλες που το καύσιμο περιέχει. Το σύνολο του νερού και των ξένων υλών εκφράζεται ως **αριθμός κατακρημνίσεως** ή ως **ξένες ύλες διά φυγοκεντρίσεως (BSW)**.

β) Με τη συσκευή του σχήματος 15.10 (μέθοδος Dean and Stark). Το δείγμα θερμαίνεται στη σφαιρική φιάλη A με ξυλόλιο ή με άλλο διαλυτικό, που κατά το βρασμό παρασύρει τους υδρατμούς στον κάθετο ψυκτήρα Ψ, όπου και συμπυκνώνονται. Το συμπύκνωμα συλλέγεται στο βαθμολογημένο σωλήνα Σ, στον πυθμένα του οποίου συγκεντρώνεται το νερό, όπου και μετράται με απλή ανάγνωση του δύκου του.

### 15.11 Εξανθράκωμα.

**Εξανθράκωμα** (Carbon residue) είναι το ανθρακούχο υπόλειμμα που παραμένει μετά την ατελή καύση δείγματος πετρελαίου κάτω από ορισμένες συνθήκες. Κύριο γνώρισμα των συνθηκών αυτών είναι η έλλειψη επαρκούς αέρα και η σχετικά υψηλή θερμοκρασία στην οποία γίνεται η εξανθράκωση. Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζονται συνθήκες κάτω από τις οποίες θα μπορούσε ίσως να βρεθεί το πετρέλαιο κατά την καύση του. Η τιμή του εξανθρακώματος εκφράζει την τάση του πετρελαίου να σχηματίζει ανθρακούχα κατάλοιπα κατά την καύση του.

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για τη μέτρηση του εξανθρακώματος:

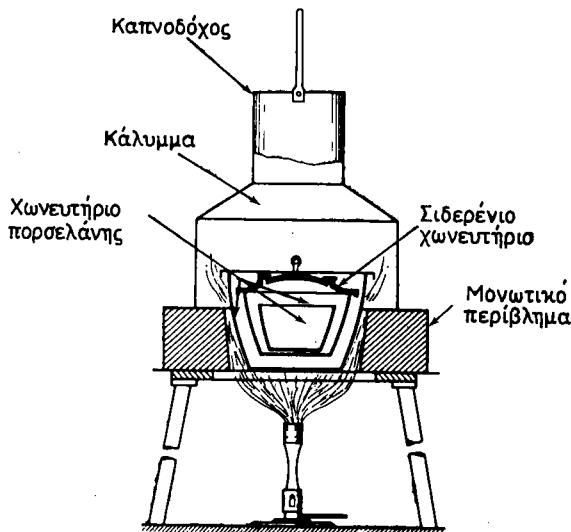
#### α) Μέθοδος Conradson.

Το δείγμα του πετρελαίου θερμαίνεται σε ειδικό χωνευτήριο πορσελάνης ή χαλαζίου, που τοποθετείται σε δεύτερο μεταλλικό χωνευτήριο όπως φαίνεται στο σχήμα 15.11. Και τα δυο χωνευτήρια σκεπάζονται με κάλυμμα που αφήνει λίγο αέρα να περνάει στο δείγμα για την καύση του. Και τα δυο χωνευτήρια περιβάλλονται από ένα εξωτερικό περίβλημα που καταλήγει σε είδος καπνοδόχου εξασφαλίζοντας φυσικό ελκυσμό του αέρα που απαιτείται για την καύση. Έτσι η καύση γίνεται με ελεγχόμενες συνθήκες, ώστε τα αποτελέσματα του προσδιορισμού να είναι συγκρίσιμα.

Το δείγμα θερμαίνεται στην αρχή έντονα με λύχνο Bunsen επί  $10 \pm 1.5$  min, οπότε οι σχηματίζομενοι ατμοί αναφλέγονται και η καύση συνεχίζεται επί  $13 \pm 1$  min ακόμα, μετά το πέρας της οποίας η πύρωση με το λύχνο συνεχίζεται για 7 min ακριβώς, έτσι ώστε η δλη διαδικασία εξανθρακώσεως να διαρκεί γύρω στα 30 min. Κατόπιν το δείγμα αφού ψυχθεί επί 15 min, ζυγίζεται και προσδιορίζεται το ανθρακούχο υπόλειμμα, αναγόμενο σε % του αρχικού δείγματος.

#### β) Μέθοδος Remsbottom.

Η συσκευή που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του εξανθρακώματος



**Σχ. 15.11.**  
Συσκευή Conradson.

διαφέρει από την προηγούμενη, κυρίως κατά το ότι η απανθράκωση δεν γίνεται σε προοδευτικά αυξανόμενη θερμοκρασία, αλλά σε σταθερή θερμοκρασία και σε κλειστό δοχείο που απολήγει στο άνω μέρος σε τριχοειδή σωλήνα, διά του οποίου διαφεύγουν οι παραγόμενοι ατμοί του καυσίμου. Η διάρκεια της εξανθρακώσεως δοκιμής είναι 20+2 λεπτά και η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 550°C.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τα βαριά καύσιμα (μαζούτ) το εξανθράκωμα προσδιορίζεται στο δείγμα όπως είναι, ενώ στα αποστάγματα (Diesel) μετράται στο 10% του υπολείμματος που απομένει μετά την απόσταξη των ελαφροτέρων κλασμάτων. Και αυτό γιατί η τάση σχηματισμού εξανθρακωμάτων στα ελαφρά κλάσματα, όπως το πετρέλαιο Diesel, συνδέεται προς τα βαρύτερα συστατικά τους, που περιέχονται στο 10% του υπολείμματος, ενώ τα ελαφρότερα συστατικά είναι πιπερικότερα και καίονται συνήθως προτού προλάβουν να αφήσουν εξανθρακώματα.

## 15.12 Σημείο ανιλίνης.

**Σημείο ανιλίνης** είναι η κατώτερη θερμοκρασία πάνω από την οποία μίγμα ίσων όγκων καυσίμου και ανιλίνης αναμιγνύεται πλήρως, σχηματίζοντας ομογενές μίγμα.

Πράγματι αν αναμίξομε ίσους όγκους πετρελαίου και ανιλίνης θα παρατηρήσομε ότι τα δύο υγρά στη συνηθισμένη θερμοκρασία δεν αναμιγνύονται πλήρως, αλλά σχηματίζουν γαλάκτωμα, που διαυγάζει από μια θερμοκρασία και πάνω. Αυτή τη θερμοκρασία ονομάζομε **σημείο ανιλίνης**. Η μέτρηση του σημείου ανιλίνης γίνεται σε γυάλινο κυλινδρικό δοχείο στο οποίο το μίγμα του καυσίμου με την ανιλίνη

Θερμαίνεται με ορισμένο ρυθμό, υπό συνεχή ανάδευση, ώσπου να διαυγάσει εντελώς. Κατόπιν αφήνεται να ψυχθεί σιγά-σιγά και καταγράφεται η θερμοκρασία στην οποία το μίγμα χάνει την αναμιξιμότητά του, οπότε εμφανίζεται θόλωμα. Η θερμοκρασία αυτή είναι το **σημείο ανιλίνης** και εξαρτάται από τη μοριακή δομή των υδρογονανθράκων που αποτελούν το καύσιμο. Γι' αυτό το λόγο η τιμή του σημείου ανιλίνης παρέχει ενδείξεις για ορισμένες ιδιότητες που εξαρτώνται από το είδος των υδρογονανθράκων που περιέχονται στο καύσιμο. Το σημείο ανιλίνης είναι υψηλό για τους παραφινικούς υδρογονάνθρακες και χαμηλό για τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Κυρίως χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του Δείκτη Ντήζελ (D.I.) βάσει της σχέσεως:

$$DI = \frac{(AP) \times (API)}{100}$$

όπου: DI ο δείκτης Diesel.

AP το σημείο ανιλίνης (aniline point) σε °F.

API το ειδικό βάρος (σε κλίμακα API).

Ο δείκτης Diesel σχετίζεται με την ταχύτητα αναφλέξεως του καυσίμου, δηλαδή με τον **αριθμό κετανίου** (παράγρ. 6.3.2).

### 15.13 Βανάδιο.

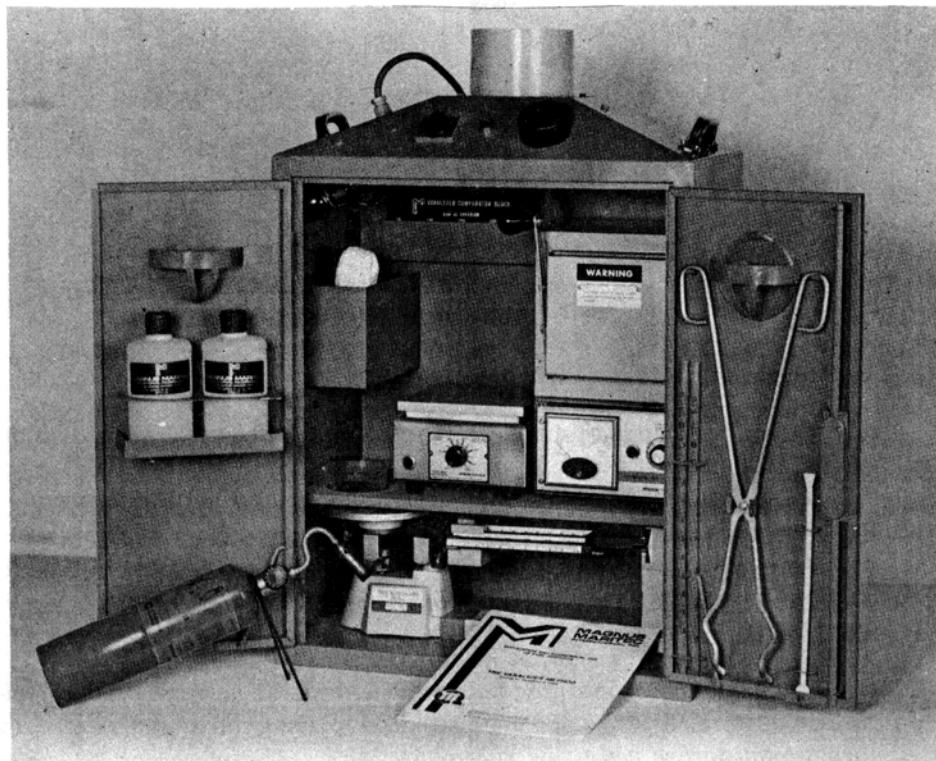
Ο ακριβής προσδιορισμός της περιεκτικότητας των καυσίμων σε βανάδιο, έχει για τα καύσιμα των πετρελαιομηχανών, αλλά και για το πετρέλαιο λεβήτων, ιδιαίτερη σημασία, γιατί το στοιχείο αυτό είναι εξαιρετικά επιβλαβές, όταν η παρουσία του υπερβαίνει ορισμένα δρια (παράγρ. 8.5.4).

Ο προσδιορισμός του βαναδίου γίνεται με χρωματομετρικές μεθόδους. Βασίζεται δηλαδή, σε χρωστικές αντιδράσεις που το στοιχείο αυτό δίνει με ορισμένα χημικά αντιδραστήρια. Η ένταση του χρώματος που οι αντιδράσεις αυτές προκαλούν είναι ανάλογη προς την περιεκτικότητα σε βανάδιο. Η σύγκριση γίνεται με πρότυπα διαλύματα γνωστής περιεκτικότητας σε βανάδιο ή με πρότυπες χρωματιστές πλάκες που αντιστοιχούν σε ορισμένη περιεκτικότητα βαναδίου.

Μια τέτοια συσκευή την οποία διαθέτουν πολλά πλοία, εικονίζεται στο σχήμα 15.13 και επιτρέπει ένα γρήγορο και ακριβή προσδιορισμό του βαναδίου από το προσωπικό του πλοίου. Από τα αποτελέσματα της μετρήσεως αυτής καθορίζεται η δόση των χημικών ουσιών που πρέπει να προστεθούν στο πετρέλαιο για την εξουδετέρωση των δυσμενών επιδράσεων του βαναδίου (παράγρ. 8.5.4).

Το δείγμα ζυγίζεται με ακρίβεια (10g) σε κάψα πορσελάνης όπου και στην αρχή μεν καίεται κατόπιν δε αποτεφρώνεται με πύρωση σε 525°C μέσα στον κλίβανο που είναι βασικό εξάρτημα της συσκευής. Στην τέφρα που περιέχει το βανάδιο ως οξείδιο, προστίθεται πυκνό οξύ που το διαλύει και μετά από διήθηση, προστίθεται στο διαυγές διήθημα το αντιδραστήριο B που προκαλεί τη χρωστική αντίδραση. Από τη σύγκριση του χρώματος αυτού με το χρώμα προτύπων διαλυμάτων βρίσκεται η περιεκτικότητα του βαναδίου.

Ο ακριβής προσδιορισμός του βαναδίου, αλλά και των άλλων μεταλλικών προσμίξεων που τα καύσιμα περιέχουν, γίνεται σήμερα με φασματομετρικές μεθό-



**Σχ. 15.13.**  
Συσκευή προσδιορισμού βαναδίου.

δους, από τις οποίες σημαντικότερη είναι η φασματομετρία ατομικής απορροφής. Οι συσκευές αυτές είναι πολύ δαπανηρές και απαιτούν προσεκτικό χειρισμό από προσωπικό ειδικευμένο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

### ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΛΙΠΑΝΣΕΩΣ

#### 16.1 Σκοπός και σημασία της λιπάνσεως.

**Λιπανσή** είναι η παρεμβολή μεταξύ δύο τριβομένων επιφανειών μιας ουσίας, που λέγεται **λιπαντικό** και που έχει ως σκοπό:

- 1) Τη μείωση της τριβής μεταξύ των επιφανειών που έρχονται σε επαφή, με αποτέλεσμα:
  - Την ελάττωση των απωλειών λόγω τριβής, άρα και τη βελτίωση του μηχανικού βαθμού αποδόσεως της μηχανής, στην οποία ανήκουν οι τριβόμενες επιφάνειες.
  - Τον περιορισμό της φθοράς λόγω τριβής.
- 2) Την απαγωγή της θερμότητας που αναπτύσσεται λόγω τριβής. Στην περίπτωση αυτή το λιπαντικό δρα ως ψυκτικό μέσο. Ιδιαίτερη σημασία έχει στην περίπτωση αυτή η ψύξη των κυλίνδρων ΜΕΚ.
- 3) Τη στεγανοποίηση του χώρου καύσεως στις ΜΕΚ. Το λιπαντικό στην περίπτωση αυτή συμπληρώνει τη στεγανοποίηση του χώρου καύσεως, που ως ένα βαθμό εξασφαλίζουν τα ελατήρια.
- 4) Την προστασία των μεταλλικών μερών της μηχανής από τη διάβρωση. Η προστασία αυτή διαρκεί και κατά το χρόνο που η μηχανή δεν εργάζεται. Σ' αυτό βοηθεί και το γεγονός ότι τα περισσότερα λιπαντικά έχουν καλή πρόσφυση επάνω στα μέταλλα.
- 5) Τη διατήρηση της καθαρότητας των μεταλλικών μερών της μηχανής, με τα οποία το λιπαντικό έρχεται σε επαφή. Αυτό οφείλεται στις απορρυπαντικές ιδιότητες που το λιπαντικό αποκτά με την προσθήκη ειδικών χημικών προσθέτων.

Μεγαλύτερη σημασία από τα παραπάνω έχει η ελάττωση της τριβής, που είναι και η σπουδαιότερη αποστολή της λιπάνσεως.

#### 16.2 Τριβή.

**Τριβή** είναι η δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ δύο σωμάτων, από τα οποία το ένα μετακινείται επάνω στο άλλο, που θεωρείται ακίνητο. Η δύναμη τριβής ενεργεί προς την αντίθετη διεύθυνση από εκείνη που έχει η σχετική κίνηση των δύο τριβομένων επιφανειών, την οποία με τον τρόπο αυτό εμποδίζει. Το κατά πόσο την εμποδίζει εξαρτάται από το είδος της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο επιφανειών που εφάπτονται.

Διακρίνονται δύο είδη τριβής:

a) **Στατική τριβή.** Οι δύο επιφάνειες είναι ακίνητες και αρχίζουν να κινούνται με τον παραπάνω τρόπο.

b) **Κινητική τριβή.** Οι δύο επιφάνειες κινούνται ήδη κανονικά.

Κατά μία άλλη διάκριση έχομε:

— **Τριβή ολισθήσεως**, που αναπτύσσεται όταν ένα σώμα ολισθαίνει σε μια επιφάνεια.

— **Τριβή κυλίσεως**, όταν ένα σώμα κυλάει σε μια επιφάνεια.  
Η στατική τριβή είναι μεγαλύτερη από την κινητική τριβή και διαρκεί στιγμιαία, όταν οι επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή είναι ακίνητες ή ακριβώς τη στιγμή της εκκινήσεως.

Η τριβή ολισθήσεως είναι μεγαλύτερη από την τριβή κυλίσεως, γιατί προϋποθέτει μεγάλες επιφάνειες σε επαφή, όπως συμβαίνει π.χ. κατά την παλινδρόμηση των εμβόλων στους κυλίνδρους των μηχανών. Κατά την τριβή κυλίσεως το ένα από τα δύο τριβόμενα σώματα εφάπτεται στο άλλο με μια γραμμή, όπως συμβαίνει στα κυλινδρικά ρουλεμάν, ή με ένα σημείο, όπως συμβαίνει με τα σφαιρικά ρουλεμάν.

Μια άλλη διάκριση τριβών είναι:

a) **Ξηρή τριβή**, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών δεν παρεμβάλλεται καμιά τρίτη ουσία.

b) **Υγρή τριβή**, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών παρεμβάλλεται τρίτη ουσία, το λιπαντικό μέσο, σε μορφή λιπαντικής μεμβράνης (παράγρ. 16.5).

Το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης διαμορφώνει και το είδος της λιπάνσεως, έτσι ώστε μπορεί να έχομε:

— **Υδροδυναμική λίπανση**, όταν η λιπαντική μεμβράνη έχει σημαντικό πάχος.

— **Οριακή λίπανση**, όταν το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης είναι σχετικά μικρό.

Μέτρο της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ δύο επιφανειών είναι ο λεγόμενος **συντελεστής τριβής**. Δηλαδή το πηλικό F/B, της ελάχιστης δυνάμεως 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.

$$\mu = \frac{F}{B}$$

Το  $\mu = 0,15$  σημαίνει π.χ. ότι για να υπερνικηθεί η αντίσταση τριβής ενός σώματος βάρους 1 kp, κατά την προσπάθεια μετακινήσεώς του σε μια οριζόντια επιφάνεια, απαιτείται δύναμη τουλάχιστον 150 p.

$$F = \mu \cdot B = 0,15 \times 1 = 0,15 \text{ kp (} 150 \text{ p)}$$

Κατά την τριβή κυλίσεως οι τιμές του συντελεστή τριβής μ, είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του μ κατά την τριβή ολισθήσεως.

Η ορθή λίπανση των διαφόρων μηχανών αποβλέπει ακριβώς στο να μετατρέπει την ξηρή τριβή σε υγρή και αν είναι δυνατό στην ελαχιστοποίηση των συντελεστών τριβής μ, με την παρεμβολή του λιπαντικού. Επίσης αποβλέπει και στην κατά το δυνατό μεγαλύτερη χρησιμοποίηση της τριβής κυλίσεως από ό,τι της τριβής ολισθήσεως.

Στον πίνακα 16.2.1 αναγράφονται οι τιμές του συντελεστή τριβής μ για ορισμένες περιπτώσεις τριβών.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16.2.1**  
*Τιμές συντελεστή τριβής μ*

1	Ξύλο σε ξύλο ξηρό	$\mu = 0,25-0,50$
2	Ξύλο σε ξύλο με σαπούνι	$\mu = 0,10-0,20$
3	Ξύλο σε ξύλο με γράσσο	$\mu = 0,004-0,10$
4	Τριβή μεταξύ μετάλλων χωρίς λιπαντικό	$\mu = 0,5-1,5$
5	Τριβή μεταξύ μετάλλων με οριακή λίπανση	$\mu = 0,05-0,15$
6	Τριβή μεταξύ μετάλλων με υδροδυναμική λίπανση	$\mu = 0,001-003$

### 16.3 Έργο τριβής. Απώλειες λόγω τριβής.

Κατά την περιστροφή του άξονα σε ένα έδρανο η δύναμη τριβής που αναπτύσσεται παράγει έργο. Το έργο αυτό είναι αρνητικό, δηλαδή αφαιρείται από το έργο που παράγει η μηχανή και έχει ως συνέπεια την ελάττωση του βαθμού αποδόσεως.

Το έργο τριβής ( $E_{Tp}$ ) εύκολα υπολογίζεται από τη σχέση.

$$E_{Tp} = F \cdot S \quad (1)$$

όπου:  $F$  η δύναμη τριβής, που κατά τον ορισμό της θα είναι:

$$F = \mu \cdot W \quad (2)$$

όπου:  $\mu$  ο συντελεστής τριβής

$W$  το φορτίο που ενεργεί στο κομβίο του άξονα και

$S$  το διάστημα που διανύθηκε από ένα σημείο του κομβίου κατά την περιστροφή του.

Αν η ακτίνα του είναι  $R$ , τότε σε κάθε περιστροφή το διάστημα  $S$  θα είναι:

$$S = 2\pi R \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (1), (2) και (3) προκύπτει ότι το έργο τριβής, σε κάθε περιστροφή του άξονα θα είναι:

$$E_{Tp} = 2\pi R \mu W \quad (4)$$

και αν ο άξονας περιστρέφεται με ταχύτητα  $N$  στρ/min, το έργο τριβής θα είναι:

$$E_{Tp} = 2\pi R \mu N W \text{ σε kpm/min}$$

ή

ft . lb/min

ή

kJ/min

(5)

ανάλογα με το σύστημα μονάδων που εφαρμόζεται.

### Παράδειγμα 1.

Ελικοφόρος άξονας με διάμετρο 40 cm και ολικό φορτίο  $1\frac{1}{2}$  τόνο περιστρέφεται με 120 rpm (στροφές το λεπτό). Να βρεθεί η απώλεια του έργου λόγω τριβής. Δίνεται ο συντελεστής τριβής  $\mu = 0,1$ .

### Λύση.

Στις μονάδες του μετρικού συστήματος τα δεδομένα είναι:

$$R = 0,2 \text{ m}, W = 1500 \text{ kp}, \mu = 0,1 \text{ και } N = 120 \text{ rpm}$$

Εφαρμόζοντας τον τύπο (5) θα έχουμε:

$$E_{tp} = 2 \times 3,14 \times 0,2 \times 0,1 \times 1500 \times 120 = \mathbf{22608} \text{ kpm/min}$$

Σε μονάδες SI το έργο τριβής θα είναι:

$$E_{tp} = 22608 \times 9,81 = 221784 \text{ J/min} = \mathbf{221,784} \text{ kJ/min.}$$

### Παράδειγμα 2.

Στροφαλοφόρος άξονας με διάμετρο 12,5 cm και φορτίο 500 lb εκτελεί 750 στροφές το λεπτό. Σε ένα από τα έδρανά του ο συντελεστής τριβής έχει τιμή  $\mu = 0,04$ . Να υπολογισθεί η απώλεια έργου τριβής σ' αυτό το έδρανο.

### Λύση.

Στις μονάδες του αγγλικού συστήματος τα δεδομένα είναι:

$$R = 5 \text{ in} = \frac{5}{12} \text{ ft}$$

$$W = 500 \text{ lb}, N = 750 \text{ και } \mu = 0,04.$$

$$\text{'Αρα } E_{tp} = 2 \times 3,14 \times \frac{5}{12} \times 0,04 \times 500 \times 750 = \mathbf{39250} \text{ ft.lb/min}$$

$$\text{Σε μονάδες SI το έργο τριβής θα είναι: } E_{tp} = 39250 \frac{9,81}{7,26} = \mathbf{53036} \text{ Joules}$$

$$(\text{γιατί } \frac{\text{ft . lb}}{7,26} = \text{kpm} = \frac{\text{ft . lb}}{7,26} \times 9,81 \text{ Joules})$$

Την απώλεια ισχύος λόγω τριβής σε ίπους βρίσκομε διαιρώντας τον τύπο (5) διά 4500 αν πρόκειται για το μετρικό σύστημα ή διά 33000 αν πρόκειται για το αγγλικό σύστημα, γιατί:

$$1 \text{ HP} = \frac{\text{kpm}}{\text{min}} : 60 : 75 \text{ (μετρικό σύστημα)}$$

$$1 \text{ HP} = \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{min}} : 60 : 550 \text{ (αγγλικό σύστημα)}$$

Δηλαδή: α)  $\frac{\text{Μετρικό σύστημα:}}{(W \text{ σε kp})}$   $I_{\text{tp}} = \frac{2\pi R \mu NW}{4500} \text{ HP}$  (6)

β)  $\frac{\text{Αγγλικό σύστημα:}}{(W \text{ σε lb})}$   $I_{\text{tp}} = \frac{2\pi R \mu NW}{33000} \text{ HP}$  (6)

γ)  $\frac{\text{Σύστημα SI:}}{(W \text{ σε kN})}$   $I_{\text{tp}} = \frac{2\pi R \mu NW}{60} \text{ kW}$  (6)

### Παράδειγμα 3.

Μηχανή ισχύος 180 HP δίνει στον κύριο άξονά της, που έχει διάμετρο 20 cm, ταχύτητα περιστροφής 1500 στροφές το λεπτό. Να βρεθεί η % απώλεια ισχύος σε ένα από τα σημεία εδράσεως του άξονα, στο οποίο έχομε συντελεστή τριβής  $\mu = 0,03$  και φορτίο  $W = 220 \text{ lb}$ .

#### Λύση.

##### α) Μετρικό σύστημα.

$$I_{\text{tp}} = \frac{6,28 \times 0,1 \times 0,03 \times 1500 \times 100}{4500} = 0,63 \text{ HP}$$

και  $1\% = \frac{0,63 \times 100}{180} = 0,35 \text{ (απώλεια ισχύος } 0,35\%)$

##### β) Αγγλικό σύστημα.

$$I_{\text{tp}} = \frac{6,28 \times \frac{1}{3} \times 0,03 \times 1500 \times 220}{33000} = 0,63 \text{ HP}$$

αλλά και πάλι η απώλεια ισχύος, όταν αναχθεί %, θα είναι  $I = 0,35\%$

##### γ) Σύστημα SI.

$$I_{\text{tp}} = \frac{6,28 \times 0,1 \times 0,03 \times 1500 \times 981}{60} = 463 \text{ Watts}$$

δηλαδή  $\frac{463 \times 100}{180 \times 735} = 0,35\%$

#### 16.4 Αποτελέσματα της τριβής.

Το μεγαλύτερο μέρος του έργου, που παράγεται κατά την τριβή, όπως υπολογί-

ζεται με τον τύπο (5), μετατρέπεται σε θερμότητα. Το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την τριβή παρέχεται από τον τύπο:

$$\text{Μετρικό σύστημα} \quad Q = \frac{2\pi R \mu N W}{427} \quad \text{kcal/min}$$

$$\text{Αγγλικό σύστημα:} \quad Q = \frac{2\pi R \mu N W}{778} \quad \text{BTU/min}$$

$$\text{Σύστημα SI:} \quad Q = \frac{2\pi R \mu N W}{4,188} \quad \text{kcal/min}$$

όπου το 427, το 778 και το 4,188 είναι οι τιμές του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας στο μετρικό, το αγγλοσαξονικό και το σύστημα SI αντίστοιχα.

Το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την τριβή απορροφάται από το λιπαντικό, που έτσι επιτελεί το δεύτερο προορισμό του: να δρα ως ψυκτικό μέσο. Αν συνεπώς η λίπανση είναι ανεπαρκής, η θερμότητα που παράγεται από την τριβή θα ήταν αρκετή για να προκαλέσει την τήξη των προστριβομένων επιφανειών. Στην ελαφρότερη μορφή αυτό έχει σαν συνέπεια το λεγόμενο **άρπαγμα των κουζινέτων**, δηλαδή ένα ξεφλούδισμα της επιφάνειας των αντιτριβικών κραμάτων, που καλύπτουν το εσωτερικό των εδράνων. Αν η διακοπή της λιπάνσεως παραταθεί, η καταστροφή των εδράνων είναι πλήρης, με επακόλουθο την **κράτηση** της μηχανής. Αυτό στην πράξη είναι γνωστό σαν **κόλλημα της μηχανής**.

Από τα παραπάνω φαίνεται η τεράστια σημασία που έχει για μια μηχανή η σωστή λίπανσή της γιατί: περιορίζοντας τις απώλειες λόγω τριβής αυξάνεται ο βαθμός αποδόσεως και εξουδετερώνεται ο κίνδυνος υπερθερμάνσεως, που θα μπορούσε να προκαλέσει ακόμα και την πλήρη καταστροφή της.

Οι βασικοί τύποι της τριβής ανακεφαλαιώνονται ως εξής:

$$\text{α) Έργο τριβής:} \quad E_{tr} = 2\pi R \mu N W$$

$$\text{β) Απώλεια ισχύος:} \quad I_{tr} = \frac{2\pi R \mu N W}{4500} \quad (\text{μετρικό σύστημα})$$

$$\text{ή} \quad I_{tr} = \frac{2\pi R \mu N W}{33000} \quad (\text{αγγλικό σύστημα})$$

$$\text{ή} \quad I_{tr} = \frac{2\pi R \mu N W}{60} \quad (\text{σύστημα SI})$$

$$\text{γ) Παραγόμενη θερμότητα:} \quad Q = \frac{2\pi R \mu N W}{427} \quad (\text{μετρικό σύστημα}) \text{ kcal/kg}$$

ή

$$Q = \frac{2\pi R \mu NW}{778}$$

(αγγλικό σύστημα) BTU/lb

ή

$$Q = \frac{2\pi R \mu NW}{4,188}$$

(σύστημα SI) kcal/kg

Οι μονάδες μετρήσεως των φυσικών μεγεθών που περιέχονται στους παρακάτω τύπους, στα δύο συστήματα είναι:

α/α	Φυσικό μέγεθος	Μονάδα μετρήσεως		
		Μετρικό σύστημα	Αγγλικό σύστημα	Σύστημα SI
1	Ακτίνα (R)	m	ft	m
2	Ισχύς (I)	HP	HP	W ή kW
3	Φορτίο (W)	kP	lb	N ή kN
4	Έργο (E)	kpm	ft.lb	J ή kJ
5	Θερμότητα (Q)	kcal	BTU	kcal ή kJ
6	Ταχύτητα περιστροφής (N)	rpm	rpm	rpm

## 16.5 Θεωρία της λιπάνσεως. Λιπαντική μεμβράνη.

Στην πράξη κατά τη λίπανση συναντάμε τις εξής περιπτώσεις:

### α) Ξηρή τριβή.

Εμφανίζεται όταν δύο στερεά ολισθαίνουν μεταξύ τους, χωρίς να παρεμβάλλεται λιπαντικό. Χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές του συντελεστή τριβής μ, που κυμαίνονται από 0,5 ως 1,5 ανάλογα με το υλικό και τη φύση των τριβομένων επιφανειών. Η ξηρή τριβή προκαλεί μεγάλες απώλειες έργου, που μετατρέπονται σε θερμότητα, προκαλώντας σύντηξη ή συγκόλληση των επιφανειών (κόλλημα της μηχανής).

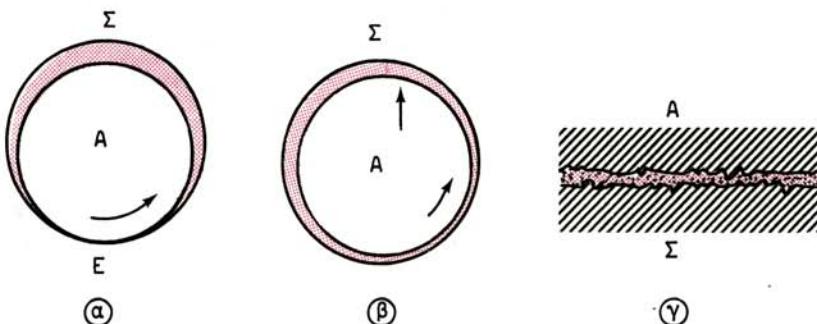
### β) Υγρή λίπανση.

Εμφανίζεται όταν μεταξύ των τριβομένων επιφανειών παρεμβάλλεται πλήρης λιπαντική μεμβράνη με ποικίλο πάχος, που διακρίνεται (παράγρ. 16.2).

- 1) Σε **υδροδυναμική λίπανση**, όταν η λιπαντική μεμβράνη έχει αρκετό πάχος.

Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής τριβής μειώνεται σε 0,001-0,03, πράγμα που συνεπάγεται αντίστοιχη μείωση των απωλειών ισχύος, σύμφωνα με τον τύπο (6) της παραγράφου 16.3. Η ύπαρξη υδροδυναμικής λιπάνσεως, προϋποθέτει εντελώς λείες επιφάνειες, που στην πράξη είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθούν, αλλά και μεγάλες ελευθερίες (χάρη) μεταξύ εδράνου και άξονα, που, όπως είναι γνωστό, δεν συνιστώνται. Γ' αυτό συνήθως έχουμε:

- 2) **Οριακή λίπανση**, που χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό πάχος λιπαντικής μεμβράνης, και οφείλεται κυρίως στο ότι οι φαινομενικά λείες επιφάνειες των μετάλλων παρουσιάζουν πάντοτε μικρές ανωμαλίες, όπως φαίνονται σε μεγέθυνση στο σχήμα 16.5(γ). Είναι, λοιπόν, φυσικό, κατά την έναρξη της πε-



Σχ. 16.5.

ριστροφής του άξονα, και όταν το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης είναι πάρα πολύ μικρό, οι ανωμαλίες των επιφανειών να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους σε μερικά σημεία. Στα σημεία αυτά η λιπαντική μεμβράνη διακόπτεται, με συνέπεια να εμφανίζεται τοπικά η ξηρή τριβή.

Αυτό ακριβώς αποτελεί την οριακή λίπανση.

Ο σχηματισμός της λιπαντικής μεμβράνης εξηγείται ως εξής:

Όταν η μηχανή είναι ακίνητη, ο άξονας εδράζεται εντελώς στο στροφείο κι' έτσι έχουμε σχεδόν ξηρή τριβή, που διαρκεί ως τη στιγμή της εκκινήσεως (στατική τριβή) [σχ. 16.5(α)].

Ευθύς μετά την εκκίνηση, λόγω της ανοχής του στροφείου και των εδράνων, δημιουργείται η υδροδυναμική σφήνα του ορυκτελαίου κατά τη φορά της περιστροφής, που έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη μιας ανυψωτικής τάσεως, αθώντας τον άξονα προς τα πάνω [σχ. 16.5(β)]. Το λιπαντικό εισχωρεί στο κενό που σχηματίζεται μεταξύ του εδράνου και του στροφείου και αποκαθιστά τη λιπαντική μεμβράνη, οπότε έχουμε συνθήκες **υγρής λίπανσης**.

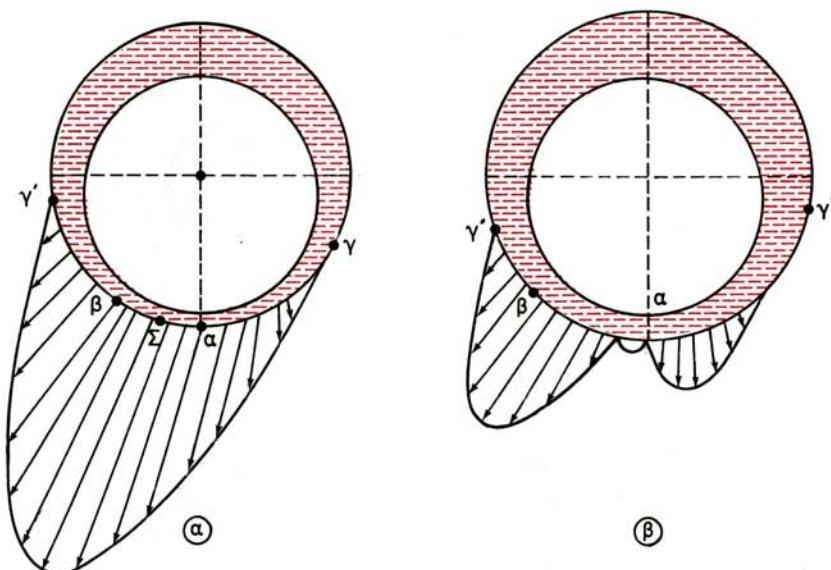
Κατά κανόνα, με υψηλές ταχύτητες περιστροφής και με μικρά φορτία έχουμε **υγρή λίπανση**, ενώ οριακή λίπανση αναμένεται, όταν έχουμε μεγάλα φορτία με μικρές ταχύτητες. Η οριακή λίπανση έχει συντελεστή τριβής 0,05-0,15.

## 16.6 Κατανομή των πιέσεων.

Την κατανομή των πιέσεων κατά μήκος της επιφάνειας ενός τριβέα δίνει το λεγόμενο **πολικό διάγραμμα των πιέσεων** (σχ. 16.6).

Η μέγιστη τιμή πιέσεως,  $P_{max}$ , αντιστοιχεί στο σημείο  $\Sigma$ , που βρίσκεται μεταξύ του σημείου  $\alpha$ , όπου επενεργεί το φορτίο του άξονα και του σημείου  $\beta$ , όπου το στρώμα του λαδιού έχει το μικρότερο πάχος του. Κι' από τις δύο πλευρές του σημείου  $\Sigma$  οι πιέσεις ελαττώνονται και μηδενίζονται στα σημεία  $\gamma$  και  $\gamma'$ , που βρίσκονται σχεδόν στα άκρα της περιφέρειας του τριβέα.

Το πολικό διάγραμμα των πιέσεων σε τριβείς που φέρουν αύλακες, έχει τη μορφή που εικονίζεται στο σχήμα 16.6(β). Η πίεση κοντά στο σημείο 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.



**Σχ. 18.6.**  
Πολικό διάγραμμα πιέσεων.

Επομένως με τις αύλακες, που φέρουν οι τριβείς διανέμεται καλύτερα το λιπαντικό σ' όλο το μήκος του τριβέα, δεν θα πρέπει όμως οι αύλακες να βρίσκονται στο τμήμα του τριβέα που δέχεται το φορτίο.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι μεταξύ του κομβίου του άξονα και του τριβέα απαιτείται η ύπαρξη ορισμένων ελευθεριών, που θα επιτρέψουν το σχηματισμό της σφήνας, η οποία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία της πιέσεως του στρώματος του λιπαντελαίου.

Η ελευθερία (χάρη) στις τριβόμενες επιφάνειες και ειδικότερα στα στροφεία πρέπει να τηρείται σε ορισμένα όρια, για τους εξής λόγους:

- α) Ελευθερία μικρότερη από την κανονική παρεμποδίζει την υδροδυναμική λίπανση. Η οριακή λίπανση, που είναι η συνηθισμένη μορφή λιπάνσεως, όταν η χάρη είναι πολύ περιορισμένη, μπορεί εύκολα να μεταπέσει στην καταστρεπτική ξηρή τριβή.
- β) Ελευθερία μεγαλύτερη από την κανονική έχει τις εξής συνέπειες:
  - Προκαλεί έντονους κραδασμούς.
  - Πέφτει η πίεση του λαδιού και έτσι εξασθενίζει η αντοχή στα φορτία που ασκεί στον τριβέα ο άξονας.

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 με σχολαστικότητα, γιατί έχουν ιδιαίτερη σημασία για την καλή κατάσταση και την ομαλή λειτουργία των μηχανών.

## 16.7 Παράγοντες που επιδρούν στη λίπανση.

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που επιδρούν στην λίπανση γενικά είναι:

### α) Θερμοκρασία.

Ως προς τον παράγοντα αυτόν η λίπανση είναι ιδιαίτερα ευπαθής, γιατί η θερμοκρασία επιδρά άμεσα στις ιδιότητες του λιπαντικού και κυρίως στο ιξώδες, που είναι το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό του. Με τη θέρμανση το ιξώδες ελαττώνεται και, πέρα από ένα ορισμένο δριό, η ελάττωσή του καθιστά την ύπαρξη της λιπαντικής μεμβράνης αμφιβολή. Την επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες ενός λιπαντικού καθορίζει ο λεγόμενος **δείκτης ιξώδους** (Viscosity Index), του οποίου η τιμή είναι ανάλογη προς τη σταθερότητα του ιξώδους ως προς τη θερμοκρασία. Υψηλές τιμές δείκτη ιξώδους (πάνω από 90) δείχνουν λιπαντικό που επηρεάζεται το λιγότερο δυνατό από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Τα λιπαντέλαια της κατηγορίας αυτής, γνωστά ως Viscostatic, είναι ακριβότερα. Η σημασία του δείκτη ιξώδους στηρίζεται στο ότι ένα καλό λιπαντικό δεν αρκεί να έχει το κατάλληλο ιξώδες κατά την εκκίνηση της μηχανής, πρέπει και να το διατηρεί όταν η θερμοκρασία ανέρχεται κατά τη λειτουργία της μηχανής.

### β) Λιπαρότητα (oiliness).

Είναι ιδιότητα του λιπαντικού που σχετίζεται με την τιμή του συντελεστή τριβής. Μεγάλη λιπαρότητα σημαίνει λιπαντέλαια με μικρή τιμή συντελεστή τριβής, που έχει ευνοϊκή επίδραση στη λίπανση. Μεγάλη λιπαρότητα έχουν κυρίως τα φυτικά και ζωικά λάδια, που έχουν όμως το μειονέκτημα να αλλοιώνονται σχετικά γρήγορα από την οξείδωση.

### γ) Φορτίο του άξονα.

Επιδρά άμεσα στις συνθήκες λιπάνσεως των τριβέων, στους οποίους εδράζεται ο άξονας. Υψηλά φορτία ευνοούν την οριακή λίπανση. Για να αποφευχθεί αυτή πρέπει το λιπαντικό να έχει το κατάλληλο ιξώδες, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος εκθλίψεως της λιπαντικής μεμβράνης λόγω φορτίου. Εκτός από το κατάλληλο ιξώδες, στην περίπτωση της οριακής λιπάνσεως, απαιτείται και ενίσχυση του λιπαντικού με λάδια μεγάλης λιπαρότητας (ειδικά πρόσθετα ή ζωικά ή φυτικά) ή με ειδικά πρόσθετα (παράγρ. 17.4.5).

### δ) Ταχύτητα περιστροφής.

Σε περιπτώσεις που η πίεση είναι εξαιρετικά υψηλή καμιά λιπαντική μεμβράνη δεν μπορεί να διατηρηθεί και η κατάσταση, γνωστή ως **λίπανση υψηλής πίεσεως**, αντιμετωπίζεται με ειδικά **πρόσθετα υψηλής πίεσεως**. Τα πρόσθετα αυτά, λόγω της αναπτυσσόμενης υψηλής θερμοκρασίας, επιδρούν χημικά στις μεταλλικές επιφάνειες και σχηματίζουν ενώσεις που δρουν ως στερεά λιπαντικά. Αυτά αποθέτονται προσκολλούμενα στις μεταλλικές επιφάνειες, τις οποίες προστατεύουν από παραπέρα προσβολή, και συγχρόνως, τα λιπαντικά εξασφαλίζουν τη λίπανση στο σύστημα. Αντίθετα, σε χαμηλά φορτία και υψηλές ταχύτητες έχουμε συνήθως υδροδυναμική λίπανση.

Στη λίπανση των τριβέων αξόνων, το έργο τριβής (παράγρ. 16.3) και η παραγόμενη από την τριβή θερμότητα (παράγρ. 16.4) αυξάνονται ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται το ιξώδες και έτσι

αντισταθμίζεται η αύξηση της τριβής, που προκαλεί η μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής. Αυτή η ισορροπία όμως ισχύει μόνο στην υδροδυναμική λίπανση, ενώ στην οριακή δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια ελέγχου των συνθηκών λιπάνσεως. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την ενίσχυση των λιπαντικών με ειδικά πρόσθετα λιπαρότητας.

### 16.8 Η ομαλή λειτουργία της μηχανής και το λιπαντέλαιο.

Η ορθή λίπανση της μηχανής επηρεάζει την απόδοση και γενικότερα τη συμπεριφορά της μηχανής στον ίδιο βαθμό που την επηρεάζουν η ποιότητα του καυσίμου και οι άλλοι βασικοί παράγοντες: σχεδίαση – κατασκευή – συντήρηση, όπως δείχνει η παρακάτω συμβολική εξίσωση:

$$\boxed{\text{Συμπεριφορά μηχανής}} = \boxed{\text{Σχεδίαση}} \times \boxed{\text{Κατασκευή}} \times \boxed{\text{Συντήρηση}} \times \boxed{\text{Καύσιμο}} \times \boxed{\text{Λιπαντικό}}$$

Πρέπει να τονισθεί ότι όλοι αυτοί οι παράγοντες, από τους οποίους εξαρτάται η συμπεριφορά της μηχανής, συνδέονται μεταξύ τους **με σχέση γινομένου και όχι αθροίσματος**, πράγμα που σημαίνει ότι αν ένας από τους παράγοντες αυτούς μηδενίσθει, μηδενίζεται τότε η συμπεριφορά της μηχανής, ανεξάρτητα από το πόσο καλοί είναι οι άλλοι παράγοντες. Αν π.χ. η λίπανση είναι τόσο κακή, ώστε να βαθμολογηθεί με μηδέν, μηδέν θα είναι και η συμπεριφορά της μηχανής, δηλαδή η μηχανή δεν θα παίρνει μπρος ή αν βρίσκεται σε λειτουργία, η καταστροφή της θα είναι πλήρης.

Εκτός όμως από την επίδραση του λιπαντικού στη συμπεριφορά της μηχανής, ιδιαίτερη σημασία έχει και η αντίθετη περίπτωση, δηλαδή η επίδραση της μηχανής στην ποιότητα του λιπαντικού. Μια γρήγορη αλλοίωση του λιπαντικού, όταν μάλιστα επαναλαμβάνεται συχνά, οφείλεται πολλές φορές σε ανωμαλία της μηχανής που συνήθως προέρχεται από κακή συντήρηση. Σε μια μηχανή Diesel π.χ., κακή ή μέτρια έγχυση του καυσίμου ή ατελής ψύξη, θα προκαλέσουν αραίωση του λιπαντικού με καύσιμο και γρήγορη αλλοίωσή του. Η μηχανική αυτή θα παρουσιάζει συμπτώματα κακής λειτουργίας, όπως: δημιουργία καπνού, διαφυγή καυσαεριών, απώλεια ισχύος, υψηλές θερμοκρασίες, χαμηλές πιέσεις κλπ.

Ενδείξεις κακής λειτουργίας της μηχανής που προέρχεται από το καύσιμο ή το λιπαντικό, έχομε:

- a) Για την καύση: από τις πιέσεις συμπιέσεως και τη σύσταση καυσαερίων.
- β) Για τη λίπανση: από την πίεση στο δίκτυο λιπάνσεως ή από την κατανάλωση λαδιού. Αυξημένη κατανάλωση μπορεί να οφείλεται σε φθορά χιτωνίων ή ελατηρίων, που συχνά προέρχονται από υπερβολική ψύξη ή από συχνή εκκίνηση **εν ψυχρώ**. Στις μηχανές μεγάλων ιπποδυνάμεων αυτό αντιμετωπίζεται με την κατάλληλη προθέρμανση ή προλίπανση της μηχανής. Για το σκοπό αυτό οι σύγχρονες πρωστήριες εγκαταστάσεις των πλοίων διαθέτουν ιδιαίτερες διατάξεις. Οι υπεύθυνοι χειριστές πρέπει να θεωρούν τη χρησιμοποίησή τους ως πρωταρχικής σημασίας.

Πρέπει να τονισθεί ότι παρόλο που, τόσο οι μηχανές όσο και τα λιπαντέλαια, έχουν φθάσει σήμερα σε υψηλό βαθμό εξελίξεως, ώστε να παρέχουν εμπιστοσύνη, οι ανωμαλίες εξακολουθούν. Οι ανωμαλίες αυτές μπορούν να οφείλονται σε ένα ή

περισσότερους από τους παρακάτω λόγους:

- Αρχική κατασκευή.
- Συνθήκες λειτουργίας.
- Χειριστής.
- Συντήρηση.
- Επιθεώρηση και επισκευή.
- Καύσιμο.
- Λίπανση.

Η πρώτη αιτία (κατασκευή) αντιμετωπίζεται με συνεχή έρευνα των κατασκευαστών ναυτικών μηχανών. Ανάγκες μετατροπών, που ανακύπτουν εκ των υστέρων, πρέπει να πραγματοποιούνται το ταχύτερο δυνατό.

Η σχολαστική τίτρηση των οδηγιών του κατασκευαστή σε ό,τι αφορά την τίτρηση των ενδείξεων λειτουργίας στα καθορισμένα όρια, την προληπτική συντήρηση, τις ορθές ρυθμίσεις των ελευθεριών, την ποιότητα των καυσίμων και των λιπαντικών, αποτελούν βασικούς παράγοντες για τον περιορισμό των ανωμαλιών.

Στη λίπανση, ειδικότερα, δεν δίνεται η πρέπουσα προσοχή, εφόσον η μηχανή λειτουργεί ικανοποιητικά, ενώ πολλές βλάβες αποδίδονται στην ποιότητα του λιπαντικού, πράγμα που δεν είναι πάντοτε σωστό. Βέβαια, αν η ποιότητα του λιπαντικού δεν είναι αυτή που πρέπει, αυτό μπορεί να αποτελεί το αίτιο της ανωμαλίας. Το σημερινό δμως επίπεδο εξελίξεως, τόσο των μηχανών όσο και των λιπαντελαίων, σχεδόν αποκλείει το ενδεχόμενο να είναι το λιπαντικό η αιτία της ανωμαλίας. Στην πραγματικότητα, η κακή κατάσταση του λιπαντικού, ιδίως όταν επαναλαμβάνεται συχνά, οφείλεται σε αμέλειες χειρισμού ή σε παραλείψεις κατά τη συντήρηση.

Σαν συμπέρασμα μπορεί να τονισθεί ότι: Το λιπαντέλαιο, όχι μόνο αποτελεί σπουδαίο παράγοντα για την ομαλή λειτουργία της μηχανής, αλλά είναι και δείκτης της καταστάσεώς της.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΕΙΔΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

#### 17.1 Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός λιπαντικού.

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

**α) Να έχει κατάλληλο ιξώδες,** αλλά και να το διατηρεί κατά το δυνατό ανεπηρεάστο στις μεταβολές της θερμοκρασίας, που το λιπαντικό θα συναντήσει στις διάφορες φάσεις λειτουργίας της μηχανής. Δεν αρκεί να έχομε στη μηχανή μας λιπαντικό με κατάλληλο ιξώδες κατά την εκκίνηση. 'Όταν η μηχανή ζεσταθεί, ύστερα από ορισμένο χρόνο λειτουργίας, πρέπει το ιξώδες του λιπαντικού να παραμένει αρκετά υψηλό, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος εκθλίψεως της λιπαντικής μεμβράνης. 'Όταν το ιξώδες είναι μεγαλύτερο από το κανονικό δυσχεραίνει την εκκίνηση της μηχανής και προκαλεί απώλεια ισχύος και μείωση του βαθμού αποδόσεως. Αντίθετα, χαμηλό ιξώδες δεν εξασφαλίζει πάντοτε τη λιπαντική μεμβράνη που απαιτείται ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες. Την απαίτηση για τη μέγιστη δυνατή σταθερότητα του ιξώδους στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εξασφαλίζει η άλλη ιδιότητα του λιπαντικού, που εκφράζεται με το **δείκτη ιξώδους** (V.I.) (παράγρ. 16.7 και 18.4).

**β) Να μην έχει διαβρωτική επίδραση** στις μεταλλικές επιφάνειες τις οποίες λιπάνει. Αποστολή των λιπαντικών είναι και η προστασία των μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση. Κατά κανόνα τα ορυκτέλαια ικανοποιούν τέλεια αυτή τη βασική απαίτηση.

**γ) Να έχει ικανοποιητική πρόσφυση** στις μεταλλικές επιφάνειες τις οποίες λιπάνει, ώστε η προστασία τους από τη διαβρωση να συνεχίζεται και όταν η μηχανή δε λειτουργεί.

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

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

Τις παραπάνω απαιτήσεις εξασφαλίζομε με τους εξής κυρίως τρόπους:

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

## 17.2 Κατάταξη των λιπαντικών.

Τα λιπαντικά κατατάσσονται κατά διάφορους τρόπους, από τους οποίους σπουδαιότεροι είναι:

### 1) Ως προς την κατάσταση.

- α) **Υγρά Λιπαντικά** (ορυκτέλαια, φυτικά λάδια, ζωικά λάδια): Τα ζωικά και φυτικά λίπη μπορούν να καταταγούν στην κατηγορία αυτή, γιατί τη στιγμή της λιπάνσεως μετρέπονται σε υγρή κατάσταση.
- β) **Στερεά Λιπαντικά** (ταλκ, γραφίτης).
- γ) **Ημίρρευστα ή συνεκτικά λάδια** (γράσσα).

### 2) Ως προς την προέλευση.

- α) **Ορυκτέλαια**, που προέρχονται από την επεξεργασία του φυσικού πετρελαίου και καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό των λιπαντικών ουσιών. Υπερέχουν κυρίως κατά τη χημική σταθερότητα, που οφείλεται στη μοριακή τους δομή, δηλαδή στους υδρογονάνθρακες που είναι τα κύρια συστατικά τους και από τη φύση τους έχουν πολύ μεγάλη χημική σταθερότητα.

### β) Φυτικά λάδια.

#### γ) Ζωικά λάδια.

Και οι δύο αυτές κατηγορίες λιπαντικών έχουν περιορισμένη εφαρμογή γιατί χαρακτηρίζονται από έλλειψη χημικής σταθερότητας. Προσθέτονται όμως σε μικρές αναλογίες στα ορυκτέλαια, όταν επιδιώκεται καλύτερη πρόσφυση. Αυτό συμβαίνει με τα λιπαντικά ορισμένων παλινδρομικών μηχανών, όπου η πρόσφυση αποτελεί πρόβλημα και στη λύση του συμβάλλουν με την παρουσία τους τα ζωικά και φυτικά λάδια.

- δ) **Συνθετικά λάδια.** Παράγονται συνθετικά. Υπερέχουν ποιοτικά από όλες τις άλλες κατηγορίες, όταν υπάρχει η δυνατότητα κατά την παραγωγή τους να εξασφαλισθούν οι επιθυμητές ιδιότητες. Η χρήση τους ολοένα επεκτείνεται παρά το υψηλό κόστος τους.

**3) Ως προς τον προορισμό διακρίνομε:**

- α) Λιπαντέλαια ΜΕΚ.
- β) Λιπαντέλαια ατμοστροβίλων (τουρμπινέλαια).
- γ) Λιπαντέλαια ατμομηχανών.
- δ) Λιπαντέλαια διαφόρων χρήσεων, όπως: υδραυλικά λάδια, μονωτικά, λάδια για ψυκτικές μηχανές, λάδια αεροσυμπιεστών κλπ.

**4) Ως προς το ιξώδες.**

Τόσο μεγάλη είναι η σημασία του ιξώδους ενός λιπαντικού (παράγρ. 17.1 και 16.7), ώστε να αποτελεί βασικό γνώρισμα κατατάξεως σε κατηγορίες, ανάλογα με την τιμή του. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται μια αιθαίρετη κλίμακα, γνωστή ως κλίμακα SAE. Την κλίμακα αυτή υπέδειξε η αμερικανική εταιρία μηχανικών αυτοκινήτου (SAE = Society of Automobile Engineers) και μετά τις ΗΠΑ την υιοθέτησαν όλες σχέδιον οι χώρες του κόσμου. Η κλίμακα SAE, αρχίζει από το 5, που αντιστοιχεί σε ένα πολύ λεπτόρρευστο λάδι, κατάλληλο ίσως για λεπτούς ωρολογιακούς μηχανισμούς και καταλήγει στο 250, που είναι ένα βαρύ παχύρρευστο λιπαντικό κατάλληλο για λίπανση οδοντωτών τροχών (γρανάζια). Η κλίμακα περιέχει μόνο ακέραια πολλαπλάσια του 10, εκτός από την τιμή SAE 5.

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

- α) Με την επιλογή καταλλήλων πρώτων υλών.
- β) Ειδική επεξεργασία εξευγενισμού (παράγρ. 17.4).
- γ) Ανάμιξη με ειδικά χημικά πρόσθετα, που διατηρούν την τιμή του ιξώδους σχετικά σταθερή σε σχέση με τη θερμοκρασία. Αυτά είναι γνωστά ως **βελτιωτικά Δείκτη Ιξώδους** (V.I. Improvers) και διευρύνουν σημαντικά το φάσμα τιμής ιξώδους που ένα λιπαντικό μπορεί να καλύπτει.

Έτσι παράγονται τα λεγόμενα **λιπαντικά πολλαπλού ιξώδους ή πολύτυπα λάδια** (Viscostatic ή Multigrade), που καλύπτουν τιμές ιξώδους από SAE 10W μέχρι SAE 50 και για τα οποία γίνεται λόγος στην παράγραφο 17.4.5.

Η αντιστοιχία των αριθμών της κλίμακας SAE προς τις τιμές ιξώδους φαίνεται στον πίνακα 17.2.1.

Λιπαντέλαια με SAE 10W μέχρι SAE 20 είναι γενικά λεπτόρρευστα, κατάλληλα για χαμηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται ακόμα για τον καθαρισμό των δικτύων λιπάνσεως, όταν αντικαθιστούμε το λιπαντικό. Η περιοχή SAE 30 μέχρι SAE 50 αντιστοιχεί σε λιπαντέλαια με μέσο και υψηλό ιξώδες κατάλληλα για τις ΜΕΚ. Ενώ η περιοχή SAE 70W μέχρι SAE 250 αντιστοιχεί σε λάδια που προορίζονται για τη λίπανση κιβωτίων ταχυτήτων και του διαφορικού (βαλβολίνες).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 17.2.1**  
**Σχέσεις αριθμών SAE και τιμής ιξώδους**

Αριθμός SAE	Τιμή ιξώδους				Παρατηρήσεις
	CP (max)	Θερμοκρασία (°C)	cSt	Θερμοκρασία (°C)	
0 W	3250	-30	3,8 (min)	100	
5 W	3500	-25	3,8 (min)	100	
10 W	3500	-25	4,1 (min)	100	
15 W	3500	-15	5,6 (min)	100	
20 W	4500	-10	5,6 (min)	100	
25 W	6000	-5	9,3 (min)	100	
20	-		5,6-9,3	100	
30	-		9,3-12,5	100	
40	-		12,5-16,3	100	
50	-		16,3-21,9	100	
70 W	-		4,1 (min)	100	
75 W	-		4,1 (min)	100	
80 W	-		7 (min)	100	
85 W	-		11 (min)	100	
90	-		13,5-24	100	
140	-		24-41	100	
250	-		41 (min)	100	

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

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

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

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ταξινόμηση ISO είναι:

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

Στον πίνακα 17.2.2 παρέχεται η αντιστοιχία των κλάσεων ISO με τις τιμές ιξώδες cSt σε 40°C.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 17.2.2  
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ISO**

Κλάση	Ιξώδες cSt σε 40°C (μέση τιμή)	'Ορια τιμής Ιξώδες (cSt σε 40°C)	
		Ελάχιστα	Μέγιστα
ISO 2	2,2	1,98	2,42
ISO 3	3,2	2,88	3,52
ISO 5	4,6	4,4	5,06
ISO 7	6,8	6,12	7,48
ISO 10	10	9	11
ISO 15	15	13,5	16,5
ISO 22	22	19,8	24,2
ISO 32	32	28,8	35,2
ISO 46	46	41,4	50,6
ISO 68	68	61,2	74,8
ISO 100	100	90	110
ISO 150	150	135	165
ISO 220	220	198	242
ISO 320	320	288	352
ISO 460	460	414	506
ISO 680	680	612	748
ISO 1000	1000	900	1100
ISO 1500	1500	1350	1650

### 17.3 Ορυκτέλαια.

Είναι η σπουδαιότερη κατηγορία λιπαντικών, που καλύπτει σήμερα περίπου το 90% των εφαρμογών λιπάνσεως. Αυτό οφείλεται στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες λιπαντικών. Τα σπουδαιότερα από τα πλεονεκτήματά τους είναι:

- α) Εξαίρετη χημική σταθερότητα.
- β) Αρκετά καλή πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες.
- γ) Καλύπτουν μεγάλη περιοχή Ιξώδους.
- δ) Έχουν σχετικά μικρό κόστος παραγωγής.

Τα ορυκτέλαια προέρχονται από το υπόλειμμα αποστάξεως του φυσικού πετρελαίου, που απομένει στον αποστακτήρα μετά την απόληψη των συστατικών που έχουν αποστάξει ως τους 360°C. Το υπόλειμμα της αποστάξεως είτε χρησιμοποιείται ως καύσιμο (μαζούτ), είτε υποβάλλεται σε παραπέρα επεξεργασία από την οποία παράγονται τα ορυκτέλαια.

### 17.4 Παραγωγή και επεξεργασία ορυκτελαίων.

Οι κυριότερες φάσεις για την παραγωγή και επεξεργασία των ορυκτελαίων είναι οι παρακάτω:

#### 17.4.1 Απόσταξη σε κενό.

Το μαζούτ αποστάζεται σε ειδικές εγκαταστάσεις που λειτουργούν σε κενό (στην πραγματικότητα σε χαμηλή πίεση), ώστε η θερμοκρασία αποστάξεως να μην

υπερβαίνει τους 360°C και να μην υπάρχει έτσι κίνδυνος καταστροφής των υδρογονανθράκων από πυρόλιση. Το προϊόν της αποστάξεως αυτής λέγεται vacuum gas oil (λάδι που παράγεται σε κενό), ενώ το υπόλειμμα της αποστάξεως κατεργάζεται συνήθως για την παραγωγή ασφάλτου. Το vacuum oil περιέχει τους υδρογονάνθρακες που είναι τα κύρια συστατικά των ορυκτελαίων. Με παραπέρα κλασματική απόσταξη τα ορυκτέλαια χωρίζονται σε ομάδες, ανάλογα με τη θερμοκρασία αποστάξεως, που συμβαδίζει με το μοριακό βάρος, το ιξώδες και το ειδικό βάρος των παραγομένων προϊόντων.

Διακρίνονται τέσσερις ομάδες προϊόντων (κλασμάτων).

- Τα πολύ ελαφρά προϊόντα: είναι τα πρώτα αποστάγματα και μόνο ως καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Λεπτόρρευστα λιπαντέλαια, με ιξώδες αντίστοιχο των SAE 5W και SAE 10W, γνωστά ως ατρακτέλαια (spindle oils).
- Κανονικά ορυκτέλαια με μέση τιμή ιξώδους (20-50): είναι η σπουδαιότερη κατηγορία αποσταγμάτων και αποτελούν τη βάση παραγωγής των περισσότερων λιπαντικών MEK και ατμοστροβίλων.
- Βαριά αποστάγματα ή υπολείμματα αποστάξεως με υψηλό ιξώδες, από τα οποία παράγονται κυλινδρέλαια για τις ατμομηχανές και λιπαντικά για οδοντωτούς τροχούς (βαλβολίνες).

Διευκρινίζεται ότι τα υπολείμματα αποστάξεως, τα οποία προέρχονται από φυσικό πετρέλαιο με παραφινική βάση, που δεν περιέχει άσφαλτο, χρησιμοποιούνται αυτούσια ως **μελανά κυλινδρέλαια** και οφείλουν το όνομά τους στην παρουσία ασφαλτενίων με έντονο μελανό χρώμα. Ύστερα από διήθηση με αποχρωστικές γιαίς λαμβάνονται τα **διηθημένα κυλινδρέλαια**, που έχουν ανοικτό χρώμα, είναι όμως αδιαφανή, από την παραφίνη που περιέχουν. Τα **διαφανή κυλινδρέλαια** παράγονται ύστερα από αποπαραφίνωση των διηθημένων κυλινδρελαίων (παράγρ. 17.4.2).

Τα υπολείμματα αποστάξεως που προέρχονται από φυσικό πετρέλαιο με ασφαλτούχα βάση υποβάλλονται σε **απασφάλτωση**, δηλαδή απομάκρυνση των ασφαλτικών συστατικών που περιέχουν. Η απασφάλτωση γίνεται συνήθως με εκχύλιση, με υγρό προπάνιο.

#### **17.4.2 Αποκήρωση.**

Η **αποκήρωση** ή **αποπαραφίνωση** (dewaxing) είναι η επεξεργασία με την οποία απομακρύνονται από τα ορυκτέλαια τα παραφινούχα συστατικά με μεγάλο μοριακό βάρος, που είναι στερεά στις συνηθισμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Τα συστατικά αυτά αποτελούν την παραφίνη και η παρουσία τους στα ορυκτέλαια είναι ανεπιθύμητη, γιατί ανεβάζει το σημείο πήξεως, με αποτέλεσμα να αποβάλλεται παραφίνη ή να γίνονται παχύρρευστα ή ακόμα και να στερεοποιούνται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Για την αποκήρωση, το λάδι υποβάλλεται σε επεξεργασία με μίγμα ακετόνης-βενζολίου, που έχει την ιδιότητα να διαλύει τελείως το λάδι, ενώ οι παραφίνες έχουν μέτρια διαλυτότητα, που γίνεται ακόμα μικρότερη σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σε θερμοκρασία -10°C ως -15°C η διαλυτότητα σχεδόν μηδενίζεται και όλα τα παραφινικά συστατικά, αφού κρυσταλλωθούν, αποβάλλονται εντελώς από την

υγρή μάζα, από την οποία και αποχωρίζονται με περιστρεφόμενα φίλτρα. Ο διαλύτης ανακτάται με απόσταξη, αφού έχατμίζεται σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από το λάδι (γύρω στους 70°C), ενώ το λάδι που απομένει έχει απαλλαγεί σχεδόν πλήρως από την παραφίνη, που συλλέγεται από τα φίλτρα και αποτελεί αξιόλογο υποπροϊόν της βιομηχανίας των ορυκτελαίων (χρησιμεύει ως πρώτη ύλη για σειρά στιλβωτικών προϊόντων, όπως παρκετίνες, στιλβωτικά δερμάτων κλπ., καθώς και για την κατασκευή κεριών κλπ.).

#### **17.4.3 Κατεργασία με διαλύτες.**

Ανάλογα με την πετρελαιοπηγή από την οποία προέρχεται, το φυσικό πετρέλαιο περιέχει διάφορα είδη υδρογονανθράκων (παραφινικοί, αρωματικοί, ναφθενικοί κλπ.) (παράγρ. 3.5.2) ορισμένοι από τους οποίους δεν είναι κατάλληλοι ως συστατικά των λιπαντελαίων και πρέπει να απομακρύνονται. Η απομάκρυνση των ανεπιθυμήτων αυτών συστατικών, που είναι κυρίως οι **ασφαλτικοί** και οι **αρωματικοί** υδρογονανθρακες, γίνεται με **εκχύλιση** με διαλύτες που εκλεκτικά τους διαλύουν, αφήνοντας τα εκλεκτής ποιότητας **ναφθενικά** και **παραφινικά** συστατικά ανέπαφα. Το εξεγενισμένο προϊόν, που έχει ως βάση ναφθενικούς και παραφινικούς υδρογονανθρακες, διακρίνεται για την αντοχή του σε οξείδωση και την υψηλή τιμή του δείκτη ιξώδους. Αποτελεί τη βάση για την παραγωγή των υψηλής ποιότητας λιπαντελαίων, που διατίθενται στο εμπόριο ως λιπαντικά για βαριές απαιτήσεις (Heavy Duty), αφού ενισχυθεί με κατάλληλα πρόσθετα (παράγρ. 17.4.5).

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

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

#### **17.4.4 Αποχρωματισμός.**

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

ρόφηση, απαλλάσσεται απ' αυτή με διήθηση σε φιλτροπρέσες. Για τον αποχρωματισμό εφαρμόζονται σήμερα και άλλες διαδικασίες, όπως είναι η κατεργασία με υδρογόνο.

#### **17.4.5 Χημικά πρόσθετα (additives).**

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

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

Τα σπουδαιότερα είδη χημικών προσθέτων είναι:

- α) Βελτιωτικά δείκτη ιξώδους** (V.I. improvers). Αν προστεθούν σε αναλογία 2-10% περιορίζουν τη μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία. Λιπαντέλαια με υψηλή τιμή δείκτη ιξώδους (V.I.) είναι γνωστά ως Viscostatic ή multigrade (πολλαπλού ιξώδους) (παράγρ. 17.2.4).
- β) Ταπεινωτές σημείου ροής** (Pour point depressants): κατεβάζουν το σημείο ροής, δηλαδή την κατώτερη θερμοκρασία στην οποία το λάδι μπορεί να ρέει. Συνεπώς, τα πρόσθετα αυτά έχουν αποφασιστική σημασία για την άνετη κυκλοφορία του λαδιού στο δίκτυο λιπάνσεως της μηχανής. Η αναλογία με την οποία τα προσθέτομε στο λάδι είναι από 0,1-1%.
- γ) Αντρρυπαντικά πρόσθετα** (detergents). Τα προσθέτομε κυρίως στα λάδια των MEK και έχουν σκοπό να εμποδίσουν τη ρύπανση των κυλίνδρων από τα σχηματιζόμενα εξανθρακώματα. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα των ουσιών αυτών να περιβάλλουν τα εξανθρακώματα με μια λεπτή μεμβράνη, εμποδίζοντας έτσι την επικάθησή τους στα εσωτερικά τοιχώματα των κυλίνδρων.
- δ) Αντοδειξωτικά πρόσθετα** (antioxidants). Επιβραδύνουν ή ακόμα και εμποδίζουν τελείως την οξείδωση του λαδιού, που θα κατέστρεφε τις λιπαντικές του ικανότητες, ή ακόμα θα μπορούσε, με τα οξέα που παράγονται κατά την οξείδωση, να δράσει διαβρωτικά στις μεταλλικές επιφάνειες. Η αναλογία τους κυμαίνεται από 0,5-2%.
- ε) Χαλινωτές ή εμποδιστές διαβρώσεως** (corrosion inhibitors). Εμποδίζουν τη διάβρωση των μετάλλων, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν το νερό ή τα προϊόντα οξειδώσεως του λαδιού. Αυτό οφείλεται στην υψηλή πολική έλξη

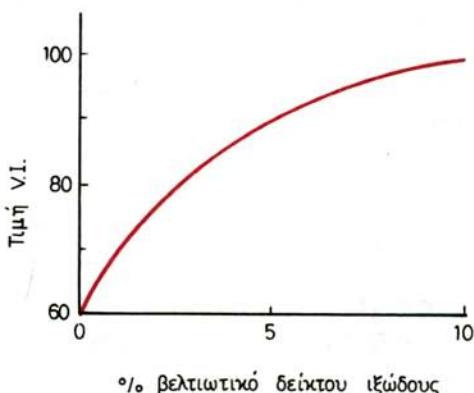
που τα πρόσθετα αυτά διαθέτουν προς τις μεταλλικές επιφάνειες. Σχηματίζεται έτσι στις μεταλλικές επιφάνειες ένα συνεχές συνεκτικό στρώμα, που εμποδίζει την άμεση επαφή δύο των παραπάνω διαβρωτικών παραγόντων με τα μέταλλα.

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

- 1) Βελτιωτικά λιπαρότητας (oiliness agents). Πρόκειται για ουσίες που μειώνουν το συντελεστή τριβής.
- 2) Προληπτικά φθοράς για συνηθισμένη καταπόνηση.
- 3) Προληπτικά φθοράς για πολύ υψηλές πιέσεις (extreme pressure additives). Λιπαντέλαια ενισχυμένα με τέτοια πρόσθετα φέρουν την ένδειξη E.P. (extreme pressure) και έχουν ιδιαίτερη σημασία για λίπανση των μειωτήρων στροφών των ατμοστροβίλων, όπου πράγματι αναπτύσσονται πολύ μεγάλες πιέσεις. Τα λιπαντέλαια αυτά είναι γνωστά ως TEP (Turbine extreme pressure).

Η βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων των ορυκτελαίων με χημικά πρόσθετα δεν είναι ανάλογη με την ποσότητα του χημικού προσθέτου. Ενώ στην αρχή υπάρχει θεαματική βελτίωση, από ορισμένο ποσοστό αναλογίας και πέρα η βελτίωση είναι ασήμαντη και το όφελος αμφίβολο. Η βάση δηλαδή της αξίας ενός λιπαντικού είναι η ποιότητα της πρώτης ύλης από την οποία προέρχεται και η επεξέργασία που έχει προηγηθεί. Στο διάγραμμα του σχήματος 17.4.5 φαίνεται ότι για ένα βασικό λάδι με δείκτη ιξώδους 60, προσθέτοντας ένα βελτιωτικό δείκτη ιξώδους μέχρι 5% ανεβάζουμε τον V.I. στα όρια του 90. Για 10% προσθέτομε μόνο 10 μονάδες V.I. ακόμα, ενώ πέρα από το 10% η βελτίωση του δείκτη ιξώδους είναι σχεδόν αμελητέα.

Τα περισσότερα χημικά πρόσθετα μετά από ορισμένες ώρες λειτουργίας της μηχανής εξαντλούνται ή καταστρέφονται. Η ανανέωσή τους μπορεί να γίνει, μόνο κατά την αναζωογόνηση του λιπαντικού, πράγμα που απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις. Μερική ενίσχυση του λιπαντικού γίνεται κατά τις τμηματικές συμπληρώσεις των ελαιοδεξαμενών με καινούργιο λάδι. Η ποσότητα του λαδιού, όμως, που προσθέτομε πρέπει να είναι μικρή (λιγότερο από 10% της ποσότητας που η μηχανή περιέχει) και το λάδι στη δεξαμενή υποδοχής να είναι θερμό.



Σχ. 17.4.

## 17.5 Συνθετικά λιπαντικά.

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

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

Από τα σπουδαιότερα είδη συνθετικών λιπαντικών είναι:

### 17.5.1 Εστέρες διβασικών οξέων.

Πρόκειται για αλειφατικούς διεστέρες του γενικού τύπου:

$\text{ROOC}-(\text{CH}_2)_n-\text{COOR}$ , από τους οποίους γνωστότερος είναι ο διισοοκτυλικός εστέρας του σεβακικού οξέος. Σπουδαιότερο προσόν τους είναι η εξαιρετική σταθερότητα του ιξώδους απέναντι στις μεταβολές της θερμοκρασίας, δηλαδή η πολύ μεγάλη τιμή του δείκτη ιξώδους. Έχουν επίσης ικανοποιητική χημική σταθερότητα, μικρή πτητικότητα και με τα πρόσθετα που περιέχουν δεν προκαλούν διαβρώσεις στα μέταλλα. Το μειονέκτημά τους είναι ότι προσβάλλουν χρώματα και πλαστικά ή εξαρτήματα από λάστιχο, με τα οποία έρχονται σε επαφή. Χρησιμοποιούνται σε μηχανές αεριωθουμένων αεροπλάνων, καθώς και για τη λίπανση ορισμένων οργάνων.

### 17.5.2 Οργανοφωσφορικοί εστέρες.

Έχουν εξαιρετική λιπαρότητα και ικανοποιητικές τιμές δείκτη ιξώδους. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η ευπάθειά τους ως προς την υδρόλυση, από την οποία παράγεται το εξαιρετικά διαβρωτικό φωσφορικό οξύ. Έχουν καλή θερμική σταθερότητα ως τους  $150^{\circ}\text{C}$ . Χρησιμοποιούνται ως υδραυλικά λάδια.

### 17.5.3 Εστέρες του πυριτικού οξεούς.

Έχουν την καλύτερη τιμή δείκτη ιξώδους, δηλαδή τη μικρότερη μεταβολή ιξώδους με τη θερμοκρασία, από όλα τα συνθετικά λάδια. Υστερούν και αυτά ως προς την ευπάθεια στην υδρόλυση, από την οποία παράγεται πυριτικό οξύ ( $\text{SiO}_2$ ) που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές φθορές στους τριβείς τους οποίους λιπαίνουν. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή λιπαντικών λιπών (γράσσα) με μικρή πτητικότητα.

### 17.5.4 Σιλικόνες.

Είναι ένα από τα πιο γνωστά είδη συνθετικών λιπαντικών. Έχουν ως βάση προϊόντα πολυμερισμού των **σιλοξανών**, δηλαδή οργανοπυριτικών ενώσεων, από τις οποίες γνωστότερες είναι η διμεθυλοσιλαξόνη  $\text{CH}_3\text{SiO CH}_3$  και η μεθυλοφαινυλοσιλαξάνη  $\text{CH}_3\text{ SiO C}_6\text{H}_5$ .

Διακρίνονται για τα εξής χαρακτηριστικά:

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

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

Στον πίνακα 17.5.1 αναγράφονται τα κυριότερα γνωρίσματα και οι σπουδαιότερες εφαρμογές των συνθετικών λιπαντικών.

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

**ΠΙΝΑΚΑΣ 17.5.1**  
**Κύρια χαρακτηριστικά των συνθετικών λιπαντικών**

α/α	Είδος συνθετικού λιπαντικού	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						Εφαρμογές
		Σχέση ιξώδους και θερμοκρασίας	Αντοχή στην οξείδωση	Λιπαντικότητα	Θερμική σταθερότητα	Αντοχή στην υδρόλυση	Πτητικότητα	
1	Εστέρες διβασικών οξέων	ΠΚ	Κ	Κ	Κ	Μ	χαμηλή	Λίπανση μηχανών αεριωθουμένων αεροπλάνων. Υδραυλικά υγρά. Λίπανση συσκευών και οργάνων. Γράσσο χαμηλής πτητικότητας.
2	Εστέρες του φωσφορικού οξέος	Κ	ΠΚ	ΠΚ	Μ	Μ	πολύ χαμηλή	Παρασκευή γράσσων με χαμηλή πτητικότητα και μεγάλη λιπαντική ικανότητα.
3	Εστέρες του πυριτικού οξέος	Ε	Μ	Μ	Ε	Μ	χαμηλή	Υγρά μεταφοράς θερμότητας. Υδραυλικά υγρά για υψηλές θερμοκρασίες.  Λίπανση συσκευών, που απαιτούν ελάχιστη μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία.
4	Σιλικόνες	Ε	Ε	Μ	Κ	Ε	πολύ χαμηλή	Παρασκευή γράσσων μεγάλης αντοχής σε υψηλά φορτία.

(Ε = εξαίρετη ΠΚ = πολύ καλή Κ = καλή Μ = μέτρια)

## 17.8 Στερεά λιπαντικά.

Στην κατηγορία αυτή των λιπαντικών κατατάσσονται ορισμένες ουσίες, στερεές στη συνηθισμένη θερμοκρασία, που πρέπει να συγκεντρώνουν τις εξής βασικές ιδιότητες:

- α) Πρόσφυση στα μέταλλα.
- β) Ελαστικότητα-ευκαμψία.
- γ) Σταθερότητα στις υψηλές θερμοκρασίες.
- δ) Να μην προσβάλλουν τις μεταλλικές επιφάνειες.

Σε σχέση με τα συνηθισμένα λιπαντικά πλεονεκτούν κατά το ότι αντέχουν σε θερμοκρασίες κατά πολύ υψηλότερες.

Συνηθέστερα είδη στερεών λιπαντικών είναι:

- α) Ο γραφίτης.
- β) Το διθειούχο μολυβδαίνιο.
- γ) Ο τάλκης.
- δ) Η μίκα.

Συνήθως έχουν στρωματική υφή, που επιτρέπει τη λίπανση. Περισσότερο χρησιμοποιούνται ο γραφίτης και το διθειούχο μολυβδαίνιο, που αντέχουν μέχρι τους 400°C. Η άριστη πρόσφυση που έχει το διθειούχο μολυβδαίνιο στις μεταλλικές επιφάνειες μεταδίδεται και στα ορυκτέλαια, στα οποία το προσθέτομε, για να αυξήσουν την αντοχή τους σε πολύ μεγάλες πιέσεις. Τα λάδια αυτά μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν **ψιστής πιέσεως** (extreme pressure) γιατί είναι κατάλληλα για τη λίπανσή τριβέων που δέχονται εξαιρετικά μεγάλες πιέσεις [παράγρ. 17.4.5(στ)].

Ως στερεά λιπαντικά, για συρματόσχοινα ή άλλες παρόμοιες εξωτερικές χρήσεις, χρησιμοποιούνται και ορισμένες οργανικές ενώσεις όπως: λίπη, σαπούνια, κεριά κλπ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

#### 18.1 Σκοπός και σημασία του ποιοτικού ελέγχου.

Ο ποιοτικός έλεγχος των λιπαντικών γίνεται σε δύο κυρίως περιπτώσεις:

α) Κατά την αρχική παραλαβή ορισμένης ποσότητας λιπαντικού από τις εταιρίες, με σκοπό να εξακριβωθεί κατά πόσο το λιπαντικό αυτό ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του τύπου στον οποίο ανήκει. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται πλήρης χημική ανάλυση, που μόνο στα χημικά εργαστήρια μπορεί να γίνει, οπότε και εκδίδεται **δελτίο αναλύσεως**, που συνοδεύει την ποσότητα του λιπαντικού απ' το οποίο προέρχονται τα δείγματα και παραδίδεται στον αρχιμηχανικό της εταιρίας που θα το χρησιμοποιήσει. Το δελτίο αναλύσεως έχει αξία κυρίως γιατί οι τιμές των φυσιοχημικών χαρακτηριστικών, που αναγράφονται στο δελτίο, αποτελούν μέτρο συγκρίσεως για τις αντίστοιχες τιμές που θα προκύπτουν κατά τις περιοδικές εξετάσεις του ίδιου λιπαντικού, δύσος καιρό χρησιμοποιείται από το πλοίο στο οποίο έχει χορηγηθεί.

Αν παρατηρηθεί σημαντική απόκλιση από τις αρχικές τιμές ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών του λιπαντικού, αυτό μπορεί να βοηθήσει στην επισήμανση κάποιας ανωμαλίας της μηχανής, στην οποία το λιπαντικό αυτό χρησιμοποιείται, και να οδηγήσει στην έγκαιρη αντιμετώπισή της. Ασυνήθιστη π.χ. μείωση του ιεύδους, που συνοδεύεται και από μείωση του σημείου αναφλέξεως ενός λιπαντελαίου, φανερώνει διαρροή καυσίμου. Στην περίπτωση αυτή το αίτιο πρέπει να αναζητηθεί στους καυστήρες, που συχνά παρουσιάζουν διαρροή πετρελαίου, την οποία πρέπει έγκαιρα να εντοπίζομε τη βλάβη.

β) Η χρήση ενός λιπαντικού για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια μηχανή μπορεί να αλλιώσει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του σε βαθμό που η εκπλήρωση της αποστολής του, δηλαδή η ορθή λίπανση, να είναι προβληματική. Για το ενδεχόμενο αυτό επιβάλλεται ο περιοδικός έλεγχος του λιπαντικού, που ονομάζεται **επιτήρηση της ποιότητας** (Quality surveillance). Ο έλεγχος πραγματοποιείται σε ορισμένα χρονικά διαστήματα ή μετά από ορισμένες ώρες λειτουργίας της μηχανής, που ο αρχιμηχανικός της εταιρίας έχει καθορίσει. Τα δείγματα αυτά στέλνονται στα ειδικά εργαστήρια, συνήθως της εταιρίας από την οποία προέρχεται το λιπαντικό, τα οποία εκδίδουν επίσης ένα δελτίο αναλύσεως με παρατηρήσεις ή υποδείξεις ανάλογα με τα αποτελέσματα της εξετάσεως. Παράδειγμα τέτοιου Δελτίου Αναλύσεως (Technical report) παρέχεται στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

Η σημασία του ποιοτικού ελέγχου των λιπαντικών για το μηχανικό περιορίζεται σε δύο **κυρίως** σημεία:

α) Να μπορεί ο μηχανικός να εκτελεί μόνος του ορισμένες από τις δοκιμές και

μετρήσεις με τα πρόχειρα εργαστηριακά μέσα που ενδεχομένως διαθέτει το πλοίο του (παράγρ. 18.16).

Βέβαια η ακρίβεια των μετρήσεων στην περίπτωση αυτή είναι μικρή, δίνουν όμως στο μηχανικό μια ένδειξη για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το λιπαντικό. Όταν υπάρχει και η παραμικρή αμφιβολία για τα αποτελέσματα μιας τέτοιας πρόχειρης εξετάσεως, τότε τα δείγματα στέλνονται στα χημικά εργαστήρια της εταιρίας από την οποία προέρχεται το λιπαντικό για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

**β)** Να μπορεί να ερμηνεύει σωστά τα αποτελέσματα των εξετάσεων που περιέχονται στα δελτία αναλύσεως που παίρνει από τα εργαστήρια των εταιριών και σύμφωνα μ' αυτά να προβαίνει στις ενέργειες που απαιτούνται για τον εντοπισμό ή την αποκατάσταση μιας ανωμαλίας, την οποία η ανάλυση μπορεί να επισημάνει.

Πρέπει να τονισθεί ότι όλες σχεδόν οι εταιρίες πετρελαιοειδών, από τις οποίες τα πλοία του εμπορικού ναυτικού προμηθεύονται τα λιπαντικά, αναλαμβάνουν την παρακολούθηση της ποιότητας των λιπαντικών με ένα άρτιο και καλά οργανωμένο δίκτυο εργαστηρίων που είναι διασπαρμένα σε όλα τα μέρη της υδρογείου. Ο μηχανικός του πλοίου στην περίπτωση αυτή φροντίζει για την έγκαιρη αποστολή των δειγμάτων στο πλησιέστερο εργαστήριο της εταιρίας, απ' την οποία προέρχονται τα λιπαντικά και με την οποία υπάρχει ειδική σύμβαση.

Από τα παραπάνω προκύπτει μια βασική διαφορά ανάμεσα στον ποιοτικό έλεγχο των καυσίμων και τον ποιοτικό έλεγχο των λιπαντικών:

Ο έλεγχος των καυσίμων γίνεται **μια φορά μόνο**, κατά την αρχική παραλαβή. Αλλοίωση των χαρακτηριστικών του κατά την παραμονή του στις δεξαμενές ή κατά τη χρήση του είναι απίθανη, εκτός από την περίπτωση ανωμαλίας (π.χ. ανάμιξη με νερό από διαρροή στο δίκτυο του καυσίμου κλπ).

Ο έλεγχος των λιπαντικών πρέπει να είναι συνεχής, πράγμα που εξασφαλίζεται με την **επιτήρηση της ποιότητας**.

Εκτός από τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας των λιπαντικών, οι εταιρίες ενημερώνουν συνεχώς τους πελάτες τους, για τις νεότερες εξελίξεις στον τομέα χρήσεως των καταλλήλων λιπαντικών. Για το σκοπό αυτό στέλνουν πίνακες των λιπαντικών, που θεωρούνται κατάλληλα για κάθε περίπτωση λιπάνσεως του πλοίου. Στο παράρτημα Β' υπάρχει παράδειγμα πίνακα λιπαντικών που αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο πλοίο. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει όλα τα μηχανήματα του πλοίου που χρειάζονται λίπανση και υποδεικνύει για το καθένα από αυτά το κατάλληλο λιπαντικό.

Στο Παράρτημα Γ' αναγράφονται οι εμπορικές ονομασίες των σπουδαιοτέρων τύπων λιπαντικών μερικών από τις γνωστότερες εταιρίες πετρελαιοειδών.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι κυριότερες εξετάσεις και δοκιμές που αφορούν τα υγρά λιπαντικά. Οι εξετάσεις των λιπαντικών λιπών (γράσσων) περιγράφονται στο κεφάλαιο 23.

## 18.2 Δειγματοληψία.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μιας χημικής αναλύσεως εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον τρόπο με το οποίο γίνεται η λήψη του δείγματος.

Οι βασικοί κανόνες για τη σωστή δειγματοληψία μπορούν να συνοψισθούν στα

εξής:

### **1) Αντιπροσωπευτικότητα.**

Το δείγμα που θα σταλεί για εξέταση πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό όλης της ποσότητας του λιπαντικού από την οποία προέρχεται. Για το σκοπό αυτό πρέπει το δείγμα να παίρνεται ζεστό και όσο η μηχανή βρίσκεται ακόμα σε λειτουργία. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, πρέπει η δειγματοληψία να γίνεται αμέσως μετά το κράτημα της μηχανής, ώστε το λάδι να είναι ακόμα ζεστό.

Το δείγμα παίρνεται συνήθως από ειδικό κρουνό, που βρίσκεται πριν από το φυγοκεντρικό καθαριστήρα, αφού προηγουμένως αφεθεί να τρέξει αρκετή ποσότητα λαδιού.

Ο πιο κατάλληλος χρόνος για τη δειγματοληψία είναι κατά τη διάρκεια της τελευταίας φυλακής (βάρδιας), πριν από τον κατάπλου του πλοίου στο λιμάνι.

### **2) Καθαρότητα.**

Τα δοχεία στα οποία συλλέγεται το δείγμα πρέπει να είναι **καθαρά** και **στεγνά**. Ο καθαρισμός πρέπει να γίνεται πρώτα με ένα οργανικό διαλύτη (π.χ. βενζίνη) και ύστερα με νερό. Τα ξεπλυμένα δοχεία στεγνώνονται σε κλιβάνους σε θερμοκρασία 100-105°C, ώστε να εξατμισθεί και η τελευταία σταγόνα νερού.

### **3) Συχνότητα.**

Εφόσον δεν υπάρχει ειδικός λόγος (π.χ. μια ανωμαλία της μηχανής), η δειγματοληψία του λιπαντικού για τον ποιοτικό έλεγχο πρέπει να γίνεται κάθε 3 ή 4 μήνες για τα λιπαντικά MEK και κάθε 6 μήνες για τα τουρμπινέλαια. Προτιμότερο είναι η δειγματοληψία να γίνεται όταν το λιπαντικό συμπληρώσει ορισμένες ώρες λειτουργίας (200-600) και να τηρείται ειδικό μητρώο για κάθε μηχάνημα στο οποίο καταχωρούνται τα αποτελέσματα κάθε αναλύσεως. Έτσι έχουμε μια εικόνα της καταστάσεως του λιπαντικού όσο διάστημα χρησιμοποιείται στη μηχανή, που συχνά φανερώνει και την κατάσταση της μηχανής.

Στα δοχεία που περιέχουν τα δείγματα, πριν σταλούν στο εργαστήριο για έλεγχο, τοποθετείται πινακίδα στην οποία αναγράφονται τα εξής στοιχεία:

- Όνομα πλοίου.
- Ημερομηνία δειγματοληψίας.
- Ήρες λειτουργίας.
- Τύπος λιπαντικού.
- Λιπαινόμενο μηχάνημα.
- Ποσότητα που αντιπροσωπεύει το δείγμα.

### **18.3 Μακροσκοπική εξέταση.**

Γίνεται σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του λιπαντικού με απλή παρατήρηση σε γυάλινο σωλήνα ή σε άλλο κατάλληλο σκεύος.

Κατά τη μακροσκοπική εξέταση ελέγχονται τα εξής κυρίως σημεία:

**a) Εμφάνιση.** Το καινούργιο λάδι πρέπει να είναι τελείως διαυγές. Στο μεταχειρισμένο λάδι, στο μεν τουρμπινέλαιο είναι ανεκτή μια μικρή θολερότητα, που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία νερού, αλλά το λάδι από MEK είναι συνήθως μαύρο και αδιαφανές.

**β) Ξένες ύλες.** Ελέγχεται προσεκτικά η παρουσία ξένων υλών, που μπορεί να αιωρούνται στο λάδι ή να κατακαθίζουν στον πυθμένα του γυάλινου δοκιμαστικού σωλήνα. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην τυχόν παρουσία μεταλλικών τεμαχίων, δηλαδή ρινισμάτων ή ξεσμάτων, που είναι πολύ επικίνδυνα για τη μηχανή και ιδιαίτερα για τα ευπαθή αντιτριβικά κράματα των εδράνων. Αν διαπιστωθεί η παρουσία τέτοιων μεταλλικών ρινισμάτων, πρέπει το δείγμα να διηθείται με χαρτί ή βαμβάκι, που συγκρατεί τις ξένες ύλες, ώστε να εξετάζονται κατόπιν προσεκτικότερα. Έτσι τα συμπεράσματα από τη μακροσκοπική εξέταση θα είναι θετικότερα.

**γ) Χρώμα.** Το χρώμα ενός λιπαντικού μόνο ενδείξεις μπορεί να παρέχει για την ποιότητα ή για την κατάστασή του. Τα καινούργια λιπαντικά είναι γενικά ανοικτόχρωμα, ενώ με τη χρήση τους το χρώμα σκουραίνει. Αυτή η μεταβολή του χρώματος σε σκουρότερες αποχρώσεις είναι πιο αισθητή στα λιπαντέλαια των ΜΕΚ, που περιέχουν διασκορπιστικά πρόσθετα τα οποία συγκρατούν τα εξανθρακώματα σε αιώρηση. Στην περίπτωση αυτή ο βαθύς χρωματισμός που το λάδι αποκτά λίγες ώρες μετά την έναρξη της λειτουργίας του, σημαίνει ότι το λάδι αυτό εκπληρώνει μια βασική αποστολή του: να διατηρεί τις λιπαντόμενες επιφάνειες καθαρές.

#### 18.4 Ιξώδες.

Το **ιξώδες** είναι το αντίθετο της **ρευστότητας** και είναι το σπουδαιότερο από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ενός λιπαντικού, η δε τιμή του αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα για τις συνθήκες λιπάνσεως σε ένα τριβέα. Όταν η τιμή του ιξώδους είναι υψηλή, θα έχομε και σχετικά μεγάλο συντελεστή τριβής, άρα και μεγαλύτερη απώλεια έργου λόγω τριβής, όπως φαίνεται από την σχέση (5) της παραγράφου 16.3. Αντίθετα, πολύ μικρό ιξώδες καθιστά αμφίβολη τη διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης, που μπορεί εύκολα να εκθλίβεται από τις πιέσεις που ασκούν τα **φορτία** π.χ. σε ένα τριβέα, πράγμα που μπορεί να προκαλέσει τη γρήγορη φθορά του. Η υγρή λίπανση μπορεί να μεταπέσει σε συνθήκες οριακής λιπάνσεως, που δεν μπορούν πια να τεθούν υπό έλεγχο, από το ιξώδες του ελαίου.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η μέτρηση του ιξώδους για τα μεταχειρισμένα λάδια κατά τις διάφορες περιοδικές εξετάσεις, στις οποίες υποβάλλονται κάθε ορισμένες ώρες λειτουργίας. Στην περίπτωση αυτή δεν επιτρέπεται μεταβολή του ιξώδους μεγαλύτερη από 10% της αρχικής τιμής, γιατί:

**α) Αύξηση** του ιξώδους μεγαλύτερη από 10% σημαίνει προχωρημένη αλλοίωση του λαδιού, από την οποία σχηματίζονται ασφαλτούχα ή ρητινικά προϊόντα, που συντελούν στην αύξηση του ιξώδους. Η αύξηση του ιξώδους συμβαδίζει συνήθως με την αύξηση του αριθμού εξουδετερώσεως (οξύτητα) και αργά ή γρήγορα το λάδι πρέπει να αντικατασταθεί.

**β) Μείωση** του ιξώδους κάτω από 10% της αρχικής τιμής οφείλεται συνήθως σε διαρροή καυσίμου στο λιπαντέλαιο, πράγμα που συνοδεύεται και από σημαντική μείωση του σημείου αναφλέξεως. Στην περίπτωση αυτή το λάδι πρέπει να αντικατασταθεί, γιατί:

- Υπάρχει κίνδυνος εκρήξεως στο στροφαλοθάλαμο.
- Μειώνεται η συνοχή της λιπαντικής μεμβράνης σε βαθμό που συχνά εκ-

Θλίβεται, αφήνοντας τη λιπαινόμενη επιφάνεια ακάλυπτη.

Αποφασιστική σημασία για το ιξώδες έχει η τιμή του παράγοντα  $ZN/P$ , που συνδέεται με το συντελεστή τριβής με την παρακάτω σχέση:

$$\mu = \kappa \frac{ZN}{P}$$

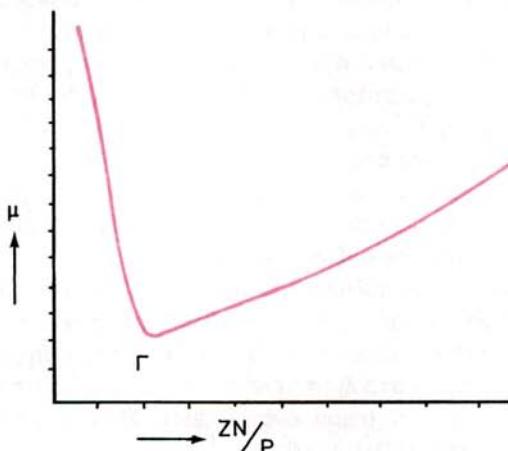
Αυτό σημαίνει ότι η τιμή του συντελεστή τριβής, που αναπτύσσεται στη λιπαντική μεμβράνη (εσωτερική τριβή) των μορίων του λιπαντικού που παρεμβάλλονται σε ένα τριβέα, εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από την τιμή του ιξώδους  $Z$ , προς την οποία είναι ανάλογη.
- Από την ταχύτητα περιστροφής  $N$  του άξονα που λιπαίνεται με το εξεταζόμενο λιπαντικό σε ένα συγκεκριμένο τριβέα, προς την οποία είναι επίσης ανάλογη.
- Από το φορτίο  $P$ , προς το οποίο ο συντελεστής τριβής  $\mu$  είναι αντιστρόφως ανάλογος.
- Από το συντελεστή  $\kappa$ , που εξαρτάται από τις άλλες συνθήκες που επικρατούν κατά τη λίπανση ή από τα ειδικά χαρακτηριστικά του τριβέα.

Τη σχέση μεταξύ του συντελεστή τριβής  $\mu$  και της ομάδας  $ZN/P$

$$\left( \frac{\text{Ιξώδες} \times \text{Στροφές}}{\text{Φορτίο}} \right)$$

απεικονίζει η καμπύλη του σχήματος 18.4. Στο αριστερό τμήμα της καμπύλης, όπου επικρατεί η **οριακή λίπανση**, όταν μειώνεται η τιμή της ομάδας  $ZN/P$ , έχομε απότομες μεταβολές της τριβής, όπως φαίνεται από τις μεταβολές του συντελεστή  $\mu$ , που δύσκολα αντισταθμίζονται. Έτσι με οριακή λίπανση, μια μικρή αύξηση π.χ. της ταχύτητας περιστροφής προκαλεί σημαντική ελάττωση της τριβής, ενώ με λιγότερες στροφές η τριβή αυξάνει απότομα. Γενικά οι συνθήκες της οριακής λιπάν-



Σχ. 18.4.

σεως δύσκολα ελέγχονται, γιατί δεν επηρεάζονται ουσιαστικά από το ιξώδες, ενώ αντίθετα στην υδροδυναμική λίπανση, την οποία απεικονίζει το δεξιό τμήμα της καμπύλης του σχήματος 18.4, η μεταβολή της τριβής, όταν μεταβάλλεται ένας από τους παράγοντες της ομάδας ZN/P, είναι ομαλότερη. Η μεταβολή μιας από τις μεταβλητές Z, N ή P είναι εύκολο να αντισταθμισθεί από αντίστοιχη μεταβολή μιας άλλης.

Αν π.χ. στην περιοχή της υδροδυναμικής λιπάνσεως μειωθούν οι στροφές N, μειώνεται η τιμή της ομάδας ZN/P, που μετακινείται προς τα αριστερά, όπου βρίσκεται το γόνατο της καμπύλης Γ, μετά το οποίο μεταπίπτουμε στην οριακή λίπανση. Αυτό άμας στην πράξη σπάνια συμβαίνει, εκτός αν η πτώση των στροφών είναι πολύ απότομη. Διαφορετικά αντισταθμίζεται από την αύξηση του ιξώδους Z, που οφείλεται στη μείωση της θερμοκρασίας του λαδιού, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 16.4. Έτσι η τιμή ZN/P μένει σχεδόν σταθερή, πράγμα που εξασφαλίζει και αντίστοιχη σταθερότητα στην τιμή του συντελεστή τριβής μ και γενικά στις συνθήκες λιπάνσεως, στο μέτρο που αυτές εξαρτώνται από το συντελεστή μ.

Αντίθετα, στην περιοχή της οριακής λιπάνσεως, την οποία αντιπροσωπεύει το αριστερό σκέλος της καμπύλης στο διάγραμμα του σχήματος 18.4, οι συνθήκες λιπάνσεως είναι γενικά ασταθείς. Οι μεταβολές στην ομάδα ZN/P, που καθορίζουν την τιμή του συντελεστή τριβής μ, δεν αντισταθμίζονται όπως στην υδροδυναμική λίπανση. Αν π.χ. αυξηθεί το φορτίο P, η τιμή ZN/P ελαπτώνεται, πράγμα που ανεβάζει το συντελεστή τριβής μ σε πολύ υψηλά επίπεδα, όπως δείχνει η απότομη κλίση του αριστερού σκέλους του διαγράμματος, που αντιστοιχεί στην οριακή λίπανση. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση ειδικών λιπαντικών που να έχουν τη λεγόμενη **λιπαρότητη** (oiliness). Τα λιπαντικά αυτά είναι ενισχυμένα με ειδικά χημικά πρόσθετα (oiliness additives) που εξουδετερώνουν τα δυσμενή αποτελέσματα της οριακής λιπάνσεως. Η λείανση των κομβίων του άξονα στην περίπτωση αυτή πρέπει επίσης να είναι τέλεια, ώστε και πάλι να απομακρύνεται το ενδεχόμενο οριακής λιπάνσεως, που μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες βλάβες στον τριβέα.

Η **μέτρηση** του ιξώδους ενός λιπαντικού βασίζεται, όπως και για τα καύσιμα και για όλα γενικά τα υγρά σώματα, στο χρόνο που απαιτείται για τη ροή ορισμένης ποσότητας δείγματος κάτω από αυστηρά καθορισμένες συνθήκες. Η ροή γίνεται από ειδικό ακροφύσιο και σε θερμοκρασία που, με τη βοήθεια μεγάλης ακρίβειας θερμοστατικών διατάξεων, διατηρείται σταθερή.

Οι συσκευές μετρήσεως του ιξώδους λέγονται **ιξωδόμετρα** και περιγράφονται αναλυτικά στο αντίστοιχο περί καυσίμων κεφάλαιο (παράγρ. 15.4). Ο χρόνος μετράται πάντοτε σε δευτερόλεπτα και η τιμή του συνοδεύεται πάντοτε από τη συσκευή με την οποία γίνεται η μέτρηση και από τη θερμοκρασία στην οποία η μέτρηση αναφέρεται. Π.χ. Ιξώδες 250 SSU/130°F σημαίνει ότι ο χρόνος εκροής ορισμένης ποσότητας δείγματος (στην προκειμένη περίπτωση 60 cc) από το ακροφύσιο Universal της συσκευής Saybolt σε 130°F είναι 250 δευτερόλεπτα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των διαφόρων κλιμάκων μετρήσεως ιξώδους και οι μεταξύ τους σχέσεις φαίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 15.4.1.

## 18.5 Φαινόμενο ή φαινομενικό ιξώδες.

Η τιμή του ιξώδους, που προκύπτει από τον τύπο (1) της παραγράφου 15.4

προϋποθέτει μια γραμμική σχέση μεταξύ της τάσεως διατμήσεως (shear stress) F/A και της παραμορφώσεως την οποία η τάση διατμήσεως προκαλεί στο ρευστό στο οποίο εφαρμόζεται. Η παραμόρφωση στην περίπτωση αυτή εκφράζεται με το πηλικό V/H, δηλαδή τη μεταβολή της ταχύτητας V προς τη μεταβολή της αποστάσεως H και αναφέρεται ως **ταχύτητα αποσχίσεως** (rate of shear). Η γραμμική αυτή συνάρτηση ισχύει μόνο για τα λεγόμενα **νευτώνεια** υγρά (νερό, αλκοόλες, πετρέλαιο κλπ.). Πολλά όμως από τα λιπαντικά και κυρίως τα λιπαντικά λίπη ή τα πολύτυπα έλαια δεν ακολουθούν το νόμο αυτό (νόμος του Νεύτωνα). Η παραμόρφωση λόγω διατμήσεως με την ίδια τάση διατμήσεως είναι μεγαλύτερη από εκείνη που αντιστοιχεί στα Νευτώνεια υγρά. Τα υλικά αυτά λέγονται **μη νευτώνεια** και για το ίχωδες τους χρησιμοποιείται ο όρος **φαινόμενο ή φαινομενικό ίχωδες**. Αυτό ορίζεται ως **η σχέση της τάσεως διατμήσεως προς την ταχύτητα αποσχίσεως ή γενικότερα προς την παραμόρφωση, την οποία η τάση αυτή προκαλεί.**

Η τιμή φαινόμενου ίχωδους δίνεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$n = \frac{F}{S}$$

όπου: n είναι η τιμή του φαινόμενου ίχωδους, F η τάση διατμήσεως και S η παραμόρφωση του ρευστού λόγω διατμήσεως.

Η μέτρηση του φαινόμενου ίχωδους περιγράφεται στη μέθοδο D 2602 του ASTM.

## 18.6 Δείκτης ίχωδους.

Ιδιαίτερη σημασία για ένα λιπαντικό δεν έχει μόνο η τιμή του ίχωδους του, αλλά και η σχέση ίχωδους-θερμοκρασίας, δηλαδή σε ποιο βαθμό η τιμή του ίχωδους επηρεάζεται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας που το λιπαντικό αντιμετωπίζει μέσα στο δίκτυο λιπάνσεως της μηχανής. Τη σχέση ίχωδους-θερμοκρασίας εκφράζει η τιμή του λεγόμενου **δείκτη ίχωδους** που συμβολίζεται με Δ.I. ή με V.I. (Viscosity Index). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του V.I. ενός λιπαντικού, τόσο λιγότερο μεταβάλλεται το ίχωδες του από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Λιπαντικά με υψηλό V.I. έχουν αξιοσημείωτη σταθερότητα του ίχωδους απέναντι στις θερμοκρασιακές μεταβολές, πράγμα που αποτελεί ιδιότητα με μεγάλη σημασία. Τα λιπαντικά αυτά είναι γνωστά ως Polyturpia ή Viscostatic ή Multigrade και με την ονομασία αυτή κυκλοφορούν στο εμπόριο. Παράγονται ύστερα από προσεκτική επιλογή των πρώτων υλών, κατάλληλη επεξεργασία και ανάμιξη με χημικά πρόσθετα που είναι βελτιωτικά του Δ.I. (V.I. improvers). Ο μηχανισμός δράσεως των προσθέτων αυτών μπορεί να εξηγηθεί αν δεχθούμε ότι τα μόριά τους έχουν σπειροειδή μορφή, που όταν θερμανθούν μετατρέπονται σε επιμήκη μόρια. Σ' αυτή την επιμήκη μορφή δυσχεραίνουν την κίνηση των μορίων του λιπαντικού, αυξάνουν τις τριβές των μορίων και επομένως δεν επιτρέπουν τη μείωση του ίχωδους (σχ. 18.6a).

Αντίθετα, όταν ελαττώθει η θερμοκρασία, ανακτούν τη σπειροειδή μορφή, που δεν εμποδίζει την κίνηση των μορίων του λιπαντικού και έτσι η τιμή του ίχωδους ελάχιστα μεταβάλλεται.

Όλες αυτές οι διαδικασίες για την παραγωγή λιπαντικού με υψηλό δείκτη ίχω-

δους επιβαρύνουν σημαντικά το κόστος του, πράγμα που, όπως τονίσαμε παραπάνω, αντισταθμίζεται από το κέρδος που προκύπτει στη συντήρηση της μηχανής και από άλλα πλεονεκτήματα.

Το ρόλο και τη σημασία του δείκτη ιξώδους αντιλαμβάνεται κανένας εύκολα αν λάβει υπόψη του τη μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας ενός λιπαντικού κατά την εκκίνηση της μηχανής, ως τη στιγμή που αυτό θα αποκτήσει τη μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής. Η διακύμανση αυτή της θερμοκρασίας μπορεί να φθάσει τους  $100^{\circ}\text{C}$  και έτσι να μεταβάλει αισθητά το ιξώδες του λιπαντικού, σε βαθμό που η διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης, από την οποία εξαρτάται η ορθή λίπανση, να είναι αμφίβολη. Αυτό ακριβώς το ενδεχόμενο περιορίζεται τόσο περισσότερο, όσο ο δείκτης ιξώδους είναι μεγαλύτερος.

Για τη μέτρηση του δείκτη ιξώδους (μέθοδος ASTM D567) χρησιμοποιείται μια αυθαίρετη κλίμακα, στην οποία το μηδέν κατέχει ορυκτέλαιο ναφθενικής βάσεως εξαιρετικά ευπαθές στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Το 100 της κλίμακας κατέχει ορυκτέλαιο παραφινικής βάσεως πολύ λίγο ευαίσθητο στις αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας. Τέτοια πρότυπα λιπαντέλαια είναι διεθνώς καθιερωμένα και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του δείκτη ιξώδους οποιουδήποτε άλλου λιπαντικού.

Ο τρόπος υπολογισμού του V.I. φαίνεται στο παράδειγμα του σχήματος 18.6β.

Εκλέγονται δυο πρότυπα λιπαντέλαια με V.I. 0 και 100 αντίστοιχα, που να έχουν σε  $210^{\circ}\text{F}$  ( $100^{\circ}\text{C}$ ) το ίδιο ιξώδες με το άγνωστο λιπαντικό (που είναι 50 SSU στο παράδειγμα του σχήματος 18.6β). Μετά μετράται το ιξώδες και των τριών δειγμάτων στους  $100^{\circ}\text{F}$  ( $40^{\circ}\text{C}$ ), οπότε έχομε τις εξής τιμές:

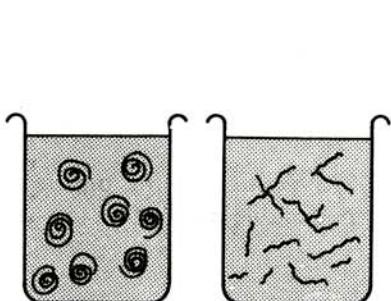
$V_1$  το ιξώδες σε  $40^{\circ}\text{C}$  του λιπαντικού με V.I. = 0

$V_2$  το ιξώδες σε  $40^{\circ}\text{C}$  του λιπαντικού με V.I. = 100

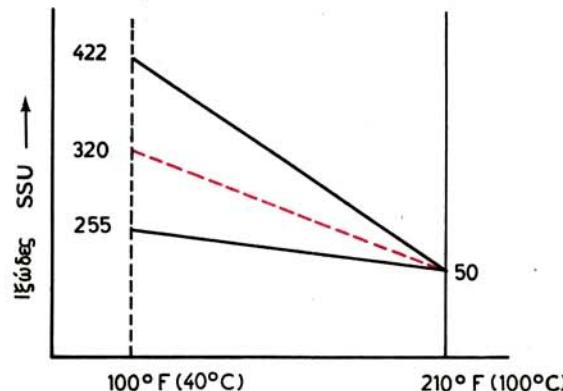
$V_3$  το ιξώδες σε  $40^{\circ}\text{C}$  του άγνωστου λιπαντικού.

Η τιμή V.I. του άγνωστου λιπαντικού προκύπτει εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\text{V.I.} = \frac{V_1 - V_3}{V_1 - V_2} \times 100$$



Σχ. 18.5α.



Σχ. 18.5β.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση στο παράδειγμα του σχήματος 18.6β, θα έχουμε:

$$V.I. = \frac{422 - 320}{422 - 255} \times 100 = 61$$

**Σημείωση:** Για τιμές V.I. μεγαλύτερες από 100 εφαρμόζεται άλλος ειδικός τύπος.

Οι τιμές  $V_1$  και  $V_2$  είναι συγκεκριμένες σε συνάρτηση με το  $V_3$  και υπάρχουν πίνακες που δίνουν τη διαφορά  $V_1 - V_2 = \Delta$  σε συνάρτηση με το  $V_3$  και επομένως δεν έχουμε ανάγκη κάθε φορά να κάνουμε και τη μέτρηση των προτύπων λαδιών, αλλά μόνο του λαδιού του οποίου ζητούμε το  $V_1$ .

**Συμπερασματικά τονίζεται ότι υψηλές τιμές δείκτη ιξώδους περιορίζουν τις ακραίες τιμές ιξώδους που αντιστοιχούν σε ορισμένη διακύμανση της θερμοκρασίας ενός λιπαντικού.**

**AUTÓ ΕΥΕΙ ΉΝ ΣΤΥΓΕΙΑ:**

- a) Σε χαμηλές θερμοκρασίες να μην αυξάνεται το ιξώδες σε βαθμό που να δυσχεραίνει την εκκίνηση της μηχανής.  
β) Σε υψηλές θερμοκρασίες το ιξώδες δεν ελαπτώνεται κάτω από τα όρια εκείνα που εξασφαλίζουν τη διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης στους τριβείς ή τη στεγανότητα των ελατηρίων στα έμβολα.

#### **18.7 Σημείο ροής, σημείο νεφώσεως.**

Κατά τη διάρκεια της ψύξεως ενός λιπαντελαίου συναντάμε διαδοχικά τρεις θερμοκρασίες, σε κάθε μια από τις οποίες επέρχονται ορισμένες εμφανείς διαφορές στις ιδιότητές του:

- a) Το σημείο νεφώσεως ή σημείο θολώσεως** (Cloud point)  $T_v$  είναι η θερμοκρασία στην οποία το δείγμα του λιπαντικού ψυχόμενο εμφανίζει θολερότητα. Αυτή οφείλεται στην αποβολή από τη μάζα του λαδιού των παραφινικών συστατικών, που στη θερμοκρασία  $T_v$  είναι αδιάλυτα.

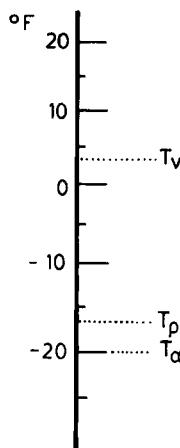
**b) Σημείο ακινησίας**  $T_a$  είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία το λάδι έχει πια ακινητοποιηθεί κατά την ψύξη του. Στην πράξη, μετά τον προσδιορισμό του σημείου νεφώσεως, μετράται το σημείο ακινησίας με διαδοχικές ψύξεις κατά  $3^{\circ}\text{C}$ , ώστου το δείγμα του λαδιού, όταν έλθει σε οριζόντια θέση σε πρότυπο γυάλινο σωλήνα, να μην παρουσιάζει στην ελεύθερη επιφάνειά του κύρτωση, αν παραμείνει στη θέση αυτή για 5 δευτερόλεπτα (παράγρ. 15.9).

**γ) Το σημείο ροής**  $T_p$  συμβατικά καθορίζεται  $3^{\circ}\text{C}$  πάνω από το σημείο ακινησίας και είναι ουσιαστικά η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να ρέει ένα λάδι.

Στο παράδειγμα του σχήματος 18.7 έχομε:

- α) Σημείο νεφώσεως  $T_V$  .....  $4^{\circ}\text{C}$   
 β) Σημείο ακινησίας  $T_a$  .....  $-20^{\circ}\text{C}$   
 γ) Σημείο ροής  $T_p = T_a + 3 = -20 + 3 = -17^{\circ}\text{C}$ .

Η σημασία του σημείου νεφώσεως περιορίζεται στις περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες τα λάδια πρέπει να διατποέτη τη διάυγειά του σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ο-



Σχ. 18.7.

που η θολερότητα μπορεί να δυσχεραίνει τη χρήση του.

Πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει το **σημείο ροής** γιατί από αυτό εξαρτάται η αντλητικότητα του λαδιού στο δίκτυο λιπάνσεως σε χαμηλές θερμοκρασίες, που μπορεί να αντιμετωπισθούν στην πράξη. Η τιμή του σημείου ροής εξαρτάται κυρίως από το είδος των υδρογονανθράκων από τους οποίους αποτελείται το λιπαντικό. Οι υδρογονάνθρακες με ευθεία άλυσο (παραφινικοί) έχουν γενικά υψηλό σημείο ροής, που μπορεί να μειωθεί με την κατεργασία της αποκηρώσεως ή αποπαραφινώσεως (παράγρ. 17.4.2), δηλαδή με την απομάκρυνση των παραφινικών συστατικών, στα οποία ακριβώς οφείλεται η υψηλή τιμή του σημείου ροής. Μετά είναι δυνατό να προστεθούν ειδικά πρόσθετα, γνωστά ως **ταπεινωτικά σημείου ροής** (pour point depressants) για τα οποία γίνεται λόγος στην παράγραφο 17.4.5.

Επομένως τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με συνδυασμό αποκηρώσεως και χημικών προσθέτων, των οποίων η αναλογία δεν υπερβαίνει το 1%.

Τα πρόσθετα για την ταπείνωση του σημείου ροής ενεργούν στην επιφάνεια των παραφινικών κρυστάλλων, όπου και σχηματίζουν ένα είδος περιβλήματος που εμποδίζει τη συνένωσή τους και συνεπώς την αποβολή κατά τη ψύξη. Οι κρύσταλλοι της παραφίνης παραμένουν στο λάδι σε λεπτή διασπορά μέχρι θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από εκείνες που αντιστοιχούν σε λάδι χωρίς πρόσθετα.

## 18.8 Αντοχή στην οξείδωση.

Παρά την αξιόλογη χημική σταθερότητα, την οποία τα ορυκτέλαια οφείλουν στη μοριακή τους δομή, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες χρησιμοποιούνται ευνοούν μια προσδευτική οξείδωση, που προκαλεί αλλοίωση των μορίων τους. Από την αλλοίωση αυτή παράγονται προϊόντα ανεπιθύμητα (οργανικά οξέα, εστέρες κλπ.), των οποίων η παρουσία στο λάδι μπορεί να έχει τα εξής δυσάρεστα για τη μηχανή επακόλουθα:

- α) Διαβρωτικές διεργασίες, λόγω της οξύτητας που συνήθως εμφανίζουν.
- β) Σχηματισμός ιλύος (λάσπης), λόγω πολυμερισμού των οξυγονούχων ενώ-

σεων με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους, η οποία δυσχεραίνει έτσι τη λίπανση.

Η αντοχή στην οξείδωση ελέγχεται εργαστηριακά, υποβάλλοντας δείγμα του λιπαντικού σε καταπόνηση, κάτω από συνθήκες όμοιες μ' αυτές που συναντά στην πράξη κατά τη χρησιμοποίησή του. Οι βασικοί παράγοντες στους οποίους οφείλεται η οξείδωση των ορυκτελαίων κατά τη χρησιμοποίησή τους είναι:

- Η θερμοκρασία και μάλιστα οι συνεχείς διακυμάνσεις της.
- Το οξυγόνο του αέρα.
- Συστατικά των καυσαερίων (οξείδια του θείου).
- Επαφή με μέταλλα, που δρουν καταλυτικά στην οξείδωση.

Η δοκιμή αντοχής στην οξείδωση γίνεται ακριβώς κάτω από την επίδραση των παραπάνω παραγόντων με συνθήκες που με αυστηρότητα καθορίζονται από τη μέθοδο που εφαρμόζεται για την εκτέλεση της δοκιμής.

Σε γενικές γραμμές η δοκιμή αντοχής στην οξείδωση γίνεται ως εξής:

Το δείγμα του λαδιού παραμένει σε επαφή με οξυγόνο σε σταθερή θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο. Στο δοχείο που περιέχει το δείγμα τοποθετούνται μεταλλικά σύρματα, συνήθως από χαλκό και σίδηρο, που ενεργούν σαν καταλύτες, με τρόπο ανάλογο μ' αυτόν που προκαλείται από τη δράση των μετάλλων της μηχανής. Μετά από τον προκαθορισμένο χρόνο που διαρκεί η δοκιμή, ο έλεγχος του βαθμού οξειδώσεως γίνεται με συνδυασμό δοκιμών όπως:

- 1) Του αριθμού εξουδετερώσεως.
  - 2) Του σχηματισμού ιλύος (λάσπης).
  - 3) Του ιξώδους και
  - 4) του ανθρακούχου υπολείμματος.
- a) Η αύξηση της οξύτητας του λιπαντικού, που μετράται με τον **αριθμό εξουδετερώσεως** (παράγρ. 18.9), για μια δοκιμή 1000 ωρών δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2mg KOH ανά γραμμάριο δείγματος και
  - b) ο σχηματισμός της λάσπης που οφείλεται στα προϊόντα οξειδώσεως, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 5 mg ανά 10 g δείγματος, για δοκιμή διάρκειας  $2\frac{1}{2}$  ωρών.

## 18.9 Αριθμός εξουδετερώσεως.

Ο αριθμός εξουδετερώσεως αντιστοιχεί προς τα χιλιοστόγραμμα (mg) καυστικού καλίου KOH, που απαιτούνται για την εξουδετέρωση των ελευθέρων οξέων που περιέχονται σε 1 g δείγματος του ορυκτελαίου. Επομένως ο αριθμός εξουδετερώσεως χαρακτηρίζει την **οξύτητα** του λιπαντικού, που οφείλεται στην παρουσία ή στον προοδευτικό σχηματισμό οξέων. Γ' αυτό, ο αριθμός εξουδετερώσεως έχει σημασία στις εξής κυρίως περιπτώσεις:

- a) Στα καινούργια λάδια, που δεν περιέχουν χημικά πρόσθετα. Σ' αυτά η τιμή του αριθμού εξουδετερώσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,1.
- b) Στα μεταχειρισμένα λάδια. Η παρακολούθηση της τιμής του κατά τις περιοδικές αναλύσεις, μπορεί να αποκαλύψει τυχόν αλλοιώσεις που τα λάδια αυτά παθαίνουν κατά τη χρήση τους. Από ένα δριο και πάνω τα λάδια πρέπει να αντικαθίστανται.
- γ) Σε ορισμένα λάδια ο έλεγχος της αντοχής του λιπαντικού στην οξείδωση γί-

νεται με βάση την αύξηση του αριθμού εξουδετερώσεως μετά από 1000 ώρες επαφής με οξυγόνο κάτω από ειδικές συνθήκες (παράγρ. 18.8). Στη διάρκεια των 1000 ωρών ο αριθμός εξουδετερώσεως δεν πρέπει να παρουσιάζει αύξηση μεγαλύτερη από 2 mg KOH.

Σήμερα τα περισσότερα λιπαντικά ενισχύονται με αλκαλικά πρόσθετα, που ως κύριο σκοπό έχουν την εξουδετέρωση των δξινων συστατικών των καυσαερίων ( $\text{SO}_2$ , οξείδια του αζώτου κλπ.), που θα μπορούσαν να προκαλέσουν επικίνδυνη διάβρωση στα μεταλλικά μέρη της μηχανής με τα οποία έρχονται σ' επαφή. Έτσι, τα περισσότερα λιπαντικά όχι μόνο δεν έχουν οξύτητα, αλλά έχουν μεγάλη αλκαλικότητα, που είναι γνωστή ως **αριθμός TBN** (Total base number), δηλαδή Ολικός Αριθμός Αλκαλικότητας. Ο **Ολικός Αριθμός Αλκαλικότητας (TBN)** δείχνει την ποσότητα οξέων, εκφρασμένη σε ισοδύναμη ποσότητα (mg)KOH, που απαιτούνται για να εξουδετερώσουν τα αλκαλικά συστατικά που περιέχονται σε 1 g δείγματος του λιπαντικού.

Τα χημικά πρόσθετα, στα οποία οφείλεται η υψηλή αλκαλικότητα των λιπαντικών, είναι σύμπλοκες χημικές ενώσεις που έχουν και αντιρρυπαντικές ιδιότητες. Τα πρόσθετα αυτά περιέχουν υψηλή αναλογία αλάτων ασθενών οξέων με ισχυρές βάσεις, όπως π.χ. το ανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3$ . Τα άλατα αυτά αντιδρούν με τα δξινα συστατικά των καυσαερίων, τα οποία εξουδετερώνουν σχηματίζοντας ακίνδυνα άλατα, όπως π.χ. θειικό ασβέστιο  $\text{CaSO}_4$ . Τα παραπάνω άλατα, επειδή είναι συνήθως οδιάλυτα στα ορυκτέλαια, συνδυάζονται με συστατικά των προσθέτων, που αποτελούνται από φαινολικά ή σουλφονικά άλατα ή αλκυλοφαινολοσουλφίδια, που είναι διαλυτά στα έλαια και στα οποία περιέχονται σε μορφή λεπτών κολλοειδών αιωρημάτων.

## 18.10 Εξανθράκωμα.

Όπως και στα καύσιμα (παράγρ. 15.11) ο προσδιορισμός του εξανθρακώματος γίνεται καίγοντας ορισμένη ποσότητα δείγματος κάτω από ορισμένες συνθήκες, που τις χαρακτηρίζει απουσία πολλού αέρα. Η τιμή του εξανθρακώματος ανάγεται επί % του αρχικού δείγματος και φανερώνει την τάση του λιπαντικού να σχηματίζει ανθρακούχα κατάλοιπα, όταν βρεθεί κάτω από παρόμοιες συνθήκες μέσα στη μηχανή.

Οι μέθοδοι μετρήσεως του εξανθρακώματος κατά Conradson και κατά Ramsbottom, περιγράφονται στην παράγραφο 15.11.

Η τιμή του εξανθρακώματος στα περισσότερα λιπαντέλαια MEK δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,3%, ενώ για τα κυλινδρέλαια μπορεί να φθάσει το 3%.

Η τιμή του εξανθρακώματος ενός λιπαντικού εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από το τρόπο επεξεργασίας: η εκχύλιση με διαλύτη, που γίνεται κατά τον εξευγενισμό των λιπαντελαίων (παράγρ. 17.4.3) δίνει προϊόντα με χαμηλό εξανθράκωμα.
- Από το Ιξώδες: Λιπαντέλαια με μικρό Ιξώδες έχουν και χαμηλή τιμή εξανθρακώματος.
- Λάδια ναφθενικής βάσεως έχουν λιγότερο εξανθράκωμα από λάδια παραφινικής βάσεως.

Το εξανθράκωμα που ένα λιπαντικό μπορεί να αποβάλει στη μηχανή κατά τη λειτουργία, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως:

- α) Η ποιότητα του καυσίμου.
- β) Η αναλογία καυσίμου/αέρα.
- γ) Η παρουσία ξένων προσμίξεων κλπ.

Η τιμή του εξανθρακώματος ενός λιπαντικού παρέχει επίσης ενδείξεις και για το βαθμό ρυπάνσεως ή αλλοιώσεως που μπορεί να έχει υποστεί κατά την αποθήκευση ή τη χρησιμοποίησή του. Μια ασυνήθιστη αύξηση του εξανθρακώματος, που αποκαλύπτεται κατά τον περιοδικό έλεγχο, μπορεί να οφείλεται σε ρύπανση, σε προϊόντα οξειδώσεως ή σε εξωτερικούς παράγοντες (σκόνες, ρινίσματα κλπ.).

### 18.11 Συντελεστής αντοχής (Work factor).

Η δοκιμή αυτή παρέχει ενδείξεις για την ικανότητα ενός λιπαντικού να αντέχει στην αλλοίωση, όταν καταπονείται κάτω από ορισμένες συνθήκες. Η δοκιμή γίνεται στον τριβέα μιας πρότυπης μηχανής, της οποίας οι συνθήκες λειτουργίας καθορίζονται με ακρίβεια από την αντίστοιχη προδιαγραφή, και διαρκεί 100 ώρες.

Μέτρο της αντοχής του λιπαντικού αποτελεί η αλλοίωση που έχει υποστεί, συγκρίνοντας τις τιμές ορισμένων χαρακτηριστικών πριν και μετά τη δοκιμή και κυρίως το ίχωδες, το εξανθράκωμα και τον αριθμό εξουδετερώσεως.

Από τη διαφορά των τιμών των χαρακτηριστικών αυτών, πριν και μετά τη δοκιμή, υπολογίζεται ο συντελεστής αντοχής από ειδικούς πίνακες. Η τιμή του συντελεστή είναι 1, όταν η διαφορά αυτή είναι μηδέν, που σημαίνει ότι το λιπαντικό δεν έπαθε καμιά αλλοίωση κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Όσο μικρότερη από τη μονάδα είναι η τιμή του συντελεστή αντοχής, τόσο μικρότερη σταθερότητα θα έχει το λιπαντικό κατά τη χρήση του.

### 18.12 Πτητικότητα.

Η πτητικότητα ενός λιπαντικού εκφράζει την τάση που έχει να σχηματίζει ατμούς σε ορισμένες θερμοκρασίες, τις οποίες συναντά μέσα στη μηχανή. Μέτρο της πτητικότητας είναι το λεγόμενο **σημείο αναφλέξεως** (Flash point), δηλαδή η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία το θερμαινόμενο δείγμα του λαδιού σχηματίζει αρκετούς ατμούς, ώστε να αναφλέγεται στιγμιαία κατά την προσέγγιση μικρής φλόγας κάτω από ορισμένες συνθήκες. Ανάλογη σημασία έχει και το **σημείο καύσεως**, δηλαδή η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία οι παραγόμενοι ατμοί στην επιφάνεια του θερμαινόμενου δείγματος είναι αρκετοί, ώστε μετά την ανάφλεξη, η καύση να συνεχίζεται επί 5 δευτερόλεπτα τουλάχιστον. Η μέτρηση του σημείου αναφλέξεως γίνεται με τρόπο ανάλογο μ' αυτό που ισχύει για τα καύσιμα, όπως περιγράφεται στην παραγραφή 15.6. Έχομε και εδώ σημείο αναφλέξεως ανοικτού δοχείου (Σ.Α.Α.Δ.) και σημείο αναφλέξεως κλειστού δοχείου (Σ.Α.Κ.Δ.). Τα αποτελέσματα σε ανοιχτό δοχείο είναι συνήθως κατά 20-40°C υψηλότερα από αυτά που προκύπτουν με τη συσκευή Pensky-Martens σε κλειστό δοχείο.

Ο προσδιορισμός των σημείων αναφλέξεως και καύσεως για καινούργιο λάδι δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Αποτελεί ένδειξη της προελεύσεως του ή του τύπου των υδρογονανθράκων που το αποτελούν. Κατά κανόνα ορυκτέλαια ναφθενικής

βάσεως έχουν χαμηλότερα σημεία αναφλέξεως και καύσεως, σε σύγκριση με ορυκτέλαια με ίδιο ιξώδες αλλά παραφινικής βάσεως. Στην περίπτωση αυτή το σημείο αναφλέξεως χρησιμεύει ως **στοιχείο ταυτότητας** του λιπαντικού (πίνακας 18.12.1).

Ιδιαίτερη σημασία έχει η μέτρηση του σημείου αναφλέξεως για τα μεταχειρισμένα λιπαντικά κατά τον περιοδικό έλεγχο, στον οποίο υποβάλλονται μετά από ορισμένες ώρες λειτουργίας. Η μέτρηση αυτή γίνεται πάντοτε σε συσχετισμό με το αμεταχειριστο λιπαντικό, από το οποίο προέρχεται το εξεταζόμενο δείγμα. Μείωση της τιμής του σημείου αναφλέξεως κάτω από ορισμένα όρια, μαρτυρεί την παρουσία καυσίμου στο λάδι, που συνήθως οφείλεται σε διαρροή.

Μια τέτοια ένδειξη επιβεβαιώνεται με άμεση μέτρηση του καυσίμου, που περιέχει το λιπαντικό και που δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%. Αν αυτό συμβαίνει τότε υπάρχει σοβαρός κίνδυνος εκρήξεως στο στροφαλοθάλαμο, όταν δημιουργηθούν και οι άλλες προϋποθέσεις για ένα τέτοιο ενδεχόμενο: υψηλή θερμοκρασία, σπινθήρας, ανάλογη ποσότητα αέρα κλπ.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 18.12.1**

a/a	Είδος λιπαντικού	Σημείο αναφλέξεως σε °C	
		SAE 10 W	SAE 50
1	Ναφθενικής βάσεως	160-205	200-230
2	Παραφινικής βάσεως	190-230	230-265

### 18.13 Βαθμός καθαρότητας.

Οι ξένες προσμίξεις που μπορεί να περιέχει το λιπαντικό έχουν άμεση επίδραση στην εκπλήρωση της αποστολής του.

Οι ουσίες αυτές είναι:

Νερό, ανόργανα συστατικά, ασφαλτικά κατάλοιπα κλπ.

Ο βαθμός καθαρότητας ενός λιπαντικού μπορεί να ελεγχθεί με τους εξής τρόπους:

#### **α) Μακροσκοπικά.**

Δείγμα του λιπαντικού σε γυάλινο κυλινδρικό δοχείο εξετάζεται στο διερχόμενο φως. Έτσι μπορεί να αποκαλυφθεί η παρουσία ξένων συστατικών που αιωρούνται στο λάδι.

#### **β) Με φυγοκέντριση.**

Δείγμα 10 ml του λιπαντικού αραιώνεται με κατάλληλο διαλύτη και φυγοκεντρείται επί 10 min με ταχύτητα περιστροφής 1750 rpm. Οι ξένες ύλες που περιέχει, συγκεντρώνονται λόγω διαφοράς ειδικού βάρους στον πυθμένα των σωλήνων φυγοκεντρήσεως, που είναι κατάλληλα βαθμολογημένοι.

Έτσι, με απλή ανάγνωση βρίσκεται η περιεκτικότητα των ξένων συστατικών, που περιέχει το δείγμα, σε μονάδες όγκου. Ο όγκος αυτός των ακαθαρσιών και προσμίξεων εκφράζεται % κατ' όγκο του λιπαντικού και αναφέρεται ως **αριθμός**

**κατακρημνίσεως** (precipitation number). Η τιμή του στα καινούργια λάδια πρέπει να είναι μηδέν, ενώ στα μεταχειρισμένα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,1.

### γ) Προσδιορισμός του νερού.

Το νερό που περιέχει ένα λιπαντικό προσδιορίζεται συνήθως με απόσταξη, στην οποία υποβάλλεται, αφού προηγουμένως αραιωθεί με κατάλληλο διαλύτη. Τα καινούργια λιπαντέλαια δεν πρέπει να περιέχουν καθόλου νερό, ενώ στα μεταχειρισμένα επιτρέπεται κάποια μικρή περιεκτικότητα. Το νερό που απομονώνεται από το λιπαντικό, υποβάλλεται σε παραπέρα εργαστηριακό έλεγχο για να διαπιστωθεί αν περιέχει άλλα συστατικά και κυρίως χλωριούχο νάτριο NaCl. Η παρουσία χλωριούχου νατρίου στο νερό που περιέχει ένα λιπαντικό, δείχνει ότι αυτό είναι θαλασσινό και προέρχεται από το δίκτυο ψύξεως. Έτσι επισημαίνεται πιθανή διαρροή στο σύστημα αυτό. Το χλωριούχο νάτριο είναι διαβρωτικό για τα έδρανα. NaCl μπορεί να περιέχει ένα λιπαντικό MEK και χωρίς να περιέχει καθόλου νερό, γιατί το νερό της διαρροής μπορεί να έχει εξατμισθεί στις συνθήκες λειτουργίας του λαδιού.

### δ) Τέφρα.

Ο βαθμός καθαρότητας ενός λιπαντικού ελέγχεται προσδιορίζοντας την τέφρα που αφήνει μετά από την τέλεια καύση ορισμένης ποσότητας δείγματος. Ασυνήθιστη αύξηση της τιμής της τέφρας ενός λιπαντικού, παρέχει ένδειξη μολύνσεως με ανόργανα συστατικά (ρινίσματα, σκόνη, άμμος κλπ.), των οποίων η πηγή πρέπει να εντοπίζεται και να εξουδετερώνεται από το προσωπικό της μηχανής.

## 18.14 Δοκιμή απογαλακτώσεως.

Με τη δοκιμή αυτή ελέγχεται η ταχύτητα με την οποία ένα λιπαντέλαιο αποχωρίζεται από το νερό με το οποίο προηγουμένως είχε αναμιχθεί σχηματίζοντας γαλάκτωμα. Η δοκιμή αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τα τουρμπινέλαια, τα οποία συχνά σχηματίζουν γαλάκτωμα με τον ατμό ή το συμπύκνωμα με το οποίο έρχονται σε επαφή. Στην περίπτωση αυτή ενδιαφέρει η ταχύτητα με την οποία μπορεί να γίνει ο αποχωρισμός του νερού.

Η δοκιμή απογαλακτώσεως περιλαμβάνει δύο στάδια:

### α) Σχηματισμός γαλακτώματος.

Το δείγμα του λαδιού αναδεύεται επί 10 min σε 130°F σε γυάλινο κύλινδρο, με ίσο όγκο νερού, οπότε σχηματίζεται γαλάκτωμα.

### β) Διαχωρισμός του γαλακτώματος.

Το γαλάκτωμα που έχει σχηματισθεί αφίνεται σε ηρεμία ώσπου να διαχωρίσθούν οι δύο στιβάδες: του νερού και του λαδιού. Ο διαχωρισμός αυτός, που οφείλεται στη διάσπαση του γαλακτώματος, λέγεται **απογαλάκτωση**. Ο χρόνος για την πλήρη απογαλάκτωση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 min.

## 18.15 Μηχανικές δοκιμασίες.

Τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών που εξετάζονται στις προηγούμενες παραγράφους, δίνουν πλήρη εικόνα για την ποιότητα του λιπαντικού ως προς:

- α) Την πρώτη ύλη που έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τους.
- β) Την επεξεργασία που έχει υποστεί.
- γ) Τα πρόσθετα που έχουν χρησιμοποιηθεί.
- δ) Την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το λιπαντικό, όταν πρόκειται για μεταχειρισμένο.

Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών εξασφαλίζουν την ποιότητα του λιπαντικού **μόνο κατά τη σπιγμή της αρχικής του χρησιμοποίησεως**. Δεν δίνουν καμιά πληροφορία για τη συμπεριφορά του στην πράξη, πέρα από λίγες ώρες μετά την έναρξη της χρησιμοποίησεώς του για μια συγκεκριμένη περίπτωση λιπάνσεως.

Το κενό αυτό στον ποιοτικό έλεγχο των λιπαντικών καλύπτουν οι λεγόμενες **μηχανικές δοκιμασίες**, στις οποίες τα λιπαντικά υποβάλλονται παράλληλα προς τις άλλες δοκιμές. Οι μηχανικές δοκιμασίες στηρίζονται στη χρησιμοποίηση του λαδιού σε πρότυπη μηχανή για ορισμένο χρόνο και με αυστηρά προκαθορισμένες συνθήκες.

Στο τέλος της δοκιμής ελέγχονται προσεκτικά τα μέρη της μηχανής που θα μπορούσαν να έχουν υποστεί καταστρεπτική επίδραση από ακατάλληλο λιπαντικό. Τα μέρη αυτά είναι: Ελατήρια, έδρανα αξόνων, χιτώνια, βαλβίδες, έμβολα κλπ.

Μετά τη δοκιμή συγκρίνεται το βάρος και η εμφάνισή τους γενικά μ' αυτήν που είχαν πριν από τη δοκιμή. Από τα αποτελέσματα συγκρίσεως βαθμολογείται η ποιότητα του λιπαντικού, πράγμα για το οποίο χρειάζεται αρκετή πείρα.

Από τα συνηθέστερα είδη μηχανών που χρησιμοποιούνται για τις μηχανικές δοκιμασίες, αναφέρονται δύο, που προβλέπονται από την προδιαγραφή MIL-L-9000 και αφορούν λιπαντέλαια μηχανών Diesel.

#### **α) Μηχανή Caterpillar (1-G).**

Λειτουργεί με πετρέλαιο που περιέχει θείο 1%. Η δοκιμή διαρκεί 480 ώρες και αποβλέπει στην εξακρίβωση της ικανότητας του λιπαντικού να προλαβαίνει:

- Τη διάβρωση.
- Τις μηχανικές φθορές.
- Τη συσσώρευση καταλοίπων.

Η θερμοκρασία του λαδιού κατά τη διάρκεια της δοκιμής διατηρείται στους 145°F (63°C).

#### **β) Μηχανή General Motors.**

Η δοκιμή που γίνεται με τη μηχανή GM-71 διαρκεί 300 ώρες και αποβλέπει στην εκτίμηση της συμπεριφοράς λιπαντικού που ρυπαίνεται κατά τη χρήση του με θαλασσινό νερό. Κατά τη δοκιμή η θερμοκρασία του λαδιού διατηρείται σε σχετικά υψηλά επίπεδα (250°F, 121°C), που ευνοούν την επιτάχυνση της οξειδώσεως. Η μηχανή τροφοδοτείται με πετρέλαιο που περιέχει θείο μέχρι 1%.

### **18.16 Δοκιμές που μπορούν να γίνουν στο πλοίο.**

Οι δοκιμές των λιπαντικών που περιγράφονται στις προηγούμενες παραγράφους γίνονται συνήθως σε ειδικά εργαστήρια, που διαθέτουν τον απαιτούμενο εργαστηριακό εξοπλισμό και προσωπικό ειδικευμένο. Αρκετά πλοία όμως, είναι εφοδιασμένα με στοιχειώδη εργαστηριακά μέσα, με τα οποία ο μηχανικός πρέπει να

είναι σε θέση να εκτελεί ορισμένες βασικές μετρήσεις και δοκιμές.

Ειδικότερα οι δοκιμές στο πλοίο γίνονται όταν:

- Υπάρχει άμεση ανάγκη για πρόχειρη, έστω, ανάλυση, που προκύπτει ύστερα από κάποια ανωμαλία της μηχανής, όπως είναι π.χ. διαρροή καυσίμου ή νερού.
- Μετά από τη συμπλήρωση του καθορισμένου χρόνου για ανάλυση, δεν προβλέπεται πρόσεγγιση σε λιμάνι με εργαστηριακές ευκολίες για την κανονική ανάλυση του λιπαντικού.

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός, που απαιτείται για τις δοκιμές της κατηγορίας αυτής, είναι απλός και συχνά φέρεται σε μεταλλικά κιβώτια μικρών διαστάσεων, που αποτελούν το **πρόχειρο φορητό εργαστήριο** του πλοίου, τα λεγόμενα **KIT**.

Οι σπουδαιότερες από τις εξετάσεις που μπορεί ο μηχανικός να εκτελέσει με το πρόχειρο φορητό εργαστήριο είναι:

#### **α) Μακροσκοπική εξέταση.**

Δείγμα του λιπαντικού φέρεται σε γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα και εξετάζεται προσεκτικά σε διερχόμενο φως. Με τον τρόπο αυτό αναζητείται η παρουσία ξένων επιβλαβών προσμίξεων, όπως: νερό, σκόνες ή μεταλλικά ρινίσματα, κατάλοιπα κλπ.

#### **β) Οξύτητα.**

Μικρή ποσότητα του λιπαντικού φέρεται σε δοκιμαστικό σωλήνα και αναμιγνύεται με διπλάσια ποσότητα νερού που περιέχει δύο σταγόνες δείκτη **ηλιανθίνης**, που έχει την ιδιότητα να δίνει κόκκινο χρώμα όταν στο λιπαντικό υπάρχουν οξέα. Ο σωλήνας θερμαίνεται ελαφρά και αναταράσσεται το περιεχόμενό του, οπότε τα οξέα που τυχόν περιέχονται στο λιπαντικό, εκχυλίζονται και μεταφέρονται στην υδάτινη στιβάδα. Αν η στιβάδα αυτή χρωματίσθει κόκκινη, το λιπαντικό είναι οξεό και πρέπει αμέσως να αντικατασταθεί. Αν το λιπαντικό είναι ουδέτερο ή αλκαλικό, από τα πρόσθετα που περιέχει, η υδάτινη στιβάδα παίρνει χρώμα κίτρινο.

#### **γ) Νερό.**

Η παρουσία του ανιχνεύεται με πολλούς τρόπους, από τους οποίους αναφέρονται οι εξής:

- Με ειδικές χάρτινες λωρίδες που έχουν εμποτισθεί με κατάλληλο δείκτη, δηλαδή με ουσία που αλλάζει χρώμα όταν έλθει σε επαφή με νερό.
- Αν δείγμα του λιπαντικού, που περιέχει νερό, θερμανθεί σε δοκιμαστικό σωλήνα, το νερό αποχωρίζεται και κατακάθεται στον πυθμένα, όταν βέβαια η ποσότητά του είναι αρκετή.
- Στο δείγμα του λιπαντικού εμβαπτίζεται μια λωρίδα απορροφητικού χάρτη, η οποία μετά καίγεται. Αν υπάρχει νερό η καύση γίνεται με μικρούς κρότους (τσιτσιρίσματα). Η μέθοδος αυτή όμως δεν είναι πολύ αξιόπιστη.
- Δείγμα του λιπαντικού φέρεται σε δοκιμαστικό σωλήνα μέσα στον οποίο ρίχνομε ένα μικρό κομμάτι ανθρακασβέστιο. Αν υπάρχει νερό παράγεται ασετυλίνη, που αναγνωρίζεται από τη χαρακτηριστική οσμή της. Διευκρινίζεται πάντως ότι η οσμή αυτή δεν προέρχεται από την ασετυλίνη, που

είναι ένα άσυμο αέριο, αλλά από τις προσμίξεις που το ανθρακασβέστιο περιέχει.

#### **δ) Ιξώδες.**

Για τη μέτρησή του χρησιμοποιούνται απλά ιξωδόμετρα, γνωστά με το όνομα Vissgage. Είναι γυάλινοι σωλήνες, στους οποίους τοποθετείται το εξεταζόμενο δείγμα, μέσα στο οποίο ρίχνεται μεταλλική σφαίρα. Ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η σφαίρα στον πυθμένα του σωλήνα αποτελεί μέτρο της τιμής ιξώδους του εξεταζόμενου δείγματος. Ο χρόνος αυτός συγκρίνεται προς τον αντίστοιχο χρόνο λιπαντικών με γνωστό ιξώδες.

#### **ε) Καύσιμο.**

Η παρουσία καυσίμου στα λιπαντέλαια έχει σαν άμεση συνέπεια την ελάττωση της τιμής του ιξώδους του. Επομένως η ανίχνευση του καυσίμου και η κατά προσέγγιση ποσοτική εκτίμησή του, γίνεται συγκρίνοντας το ιξώδες του δείγματος που δοκιμάζεται προς το ιξώδες δείγματος από το ίδιο λιπαντικό, που περιέχει γνωστή αναλογία καυσίμου.

Η σύγκριση γίνεται ως εξής: Με μια ποσότητα αμεταχείριστου λιπαντικού, από το οποίο προέρχεται το εξεταζόμενο δείγμα, σχηματίζονται μια σειρά από 5 μίγματα με πετρέλαιο περιεκτικότητας 2-4-6-8 και 10%. Μαζί με δείγμα χωρίς καύσιμο έχουμε μια σειρά 6 δειγμάτων, που φέρουν τις ενδείξεις 0-2-4-6-8 και 10, που αντιστοιχούν στην περιεκτικότητα καυσίμου εν διαλύσει. Σε μια καθαρή γυάλινη πλάκα, που στηρίζεται με κλίση  $45^\circ$  περίπου, στάζομε στην ίδια γραμμή από μια σταγόνα από το εξεταζόμενο δείγμα και από τα 6 μίγματα, που περιέχουν τις γνωστές αναλογίες καυσίμου. Μετά ορισμένο χρόνο συγκρίνονται οι αποστάσεις που διανύουν στη γυάλινη πλάκα οι σταγόνες των δειγμάτων. Η περιεκτικότητα σε καύσιμο του εξεταζόμενου δείγματος θα είναι αυτή που αντιστοιχεί στο πρότυπο δείγμα, που διάνυσε στον ίδιο χρόνο την ίδια απόσταση με το υπό δοκιμή λιπαντέλαιο.

Σαν μέτρο συγκρίσεως του ιξώδους, και απ' αυτό της περιεκτικότητας σε καύσιμο, μπορεί επίσης να ληφθεί ο χρόνος ροής από την οπή μεταλλικού δοχείου χωρητικότητας 25ml σχήματος δακτυλίθρας, η οποία αποτελεί ένα υποτυπώδες ιξωδόμετρο.

## ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΕΤΑΙΡΙΑΣ . . . . .

**ΔΕΛΤΙΟ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ**

ΠΛΟΙΟ .....	X
ΠΛΟΙΟΚΤΗΤΗΣ .....	Z
ΤΥΠΟΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ .....	Y
ΜΗΝΑΣ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ .....	Durban
ΠΡΟΕΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ .....	Κύρια Μηχανή (Diesel)
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ .....	8-9-69

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ**

Ιξώδες κατά Redwood I σε 140° F (Secs) .....	179
Νερό, % κατ' δύκο .....	0,30
Άλας, % κατά βάρος .....	0,11
Αδιάλυτα σε κανονικό εππάνιο (% κατά βάρος) .....	1,04
Αριθμός ολικών οξέων (mg KOH/gm γραμ. ελαίου) .....	0,85
Αριθμός ισχυρών οξέων (mg KOH/gm γραμ. ελαίου) .....	< 0,01
Σημείο αναφλέξεως (κλειστού δοχείου) °F .....	440

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Συνιστάται πλύση του ελαίου με θερμό νερό για τη μείωση της υψηλής περιεκτικότητας σε άλας με την οποία αναμένεται και βελτίωση του αριθμού ισχυρών οξέων. Αναμένομε αποστολή νέου δείγματος για εξέταση.

Για την εταιρία .....  
(Υπογραφή)

## . . . . . MARINE LUBRICATION SERVICE

**TECHNICAL REPORT**

VESSEL .....	X
OWNERS .....	Z
GRADE .....	Y
PORT HANDLED IN .....	DURBAN
DATE .....	8.9.69
POSITION FROM WHICH SAMPLE(S) DRAWN .....	MAIN ENGINE

**ANALYSIS RESULTS**

Viscosity RED 1 at 140° F (Secs) .....	179
Water (% Vol) .....	0,30
Salt (% Wt) .....	0,11
Sediment Insol. in n-Heptane (% Wt) .....	1,04
Total acid number (mg KOH/gm oil) (T.A.N.) .....	0,85
Strong acid number (mg KOH/gm oil) (S.A.N.) .....	below 0,01
Flash point (Closed) °F .....	440

**COMMENTS**

Charge to be hot fresh water washed to reduce the high salt level. This will also improve the T.A.N. (Total acid number) value. Further sample after treatment.

For .....  
MARINE SALES SUPERINTENDENT



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

### Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΕΩΣ

#### 19.1 Συστήματα λιπάνσεως.

Η χρήση των λιπαντικών στις διάφορες μηχανές γίνεται με πολλούς τρόπους, που μπορούν να καταταγούν σε τέσσερα κύρια συστήματα:

##### 1) Ανεξάρτητη λίπανση.

Είναι η λίπανση κατά την οποία κάθε λιπανόμενο τμήμα της μηχανής έχει ανεξάρτητη ιδιαίτερη συσκευή ή διάταξη. Το είδος αυτό λιπάνσεως έχει το πλεονέκτημα ότι μια βλάβη ή ανωμαλία στο τοπικό σύστημα λιπάνσεως αφήνει εντελώς ανεπηρέαστη τη λίπανση των υπολοίπων μερών της μηχανής. Έτσι εξασφαλίζεται πλήρης ανεξαρτησία σε καθένα από τα λιπανόμενα μέρη της μηχανής. Είναι, πάντως, σύστημα δαπανηρό, που μόνο σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμόζεται, όπως π.χ. σε ορισμένα τμήματα των παλινδρομικών μηχανών.

##### 2) Κεντρική λίπανση.

Στον τρόπο αυτό της λιπάνσεως από ένα κεντρικό χώρο, όπως π.χ. είναι το ελαιοδοχείο (κάρτερ) της μηχανής ή μια ιδιαίτερη ελαιοδεξαμενή, το λιπαντικό κατανέμεται με ένα σύστημα αγωγών και σωληνώσεων στα διάφορα μέρη που πρέπει να λιπανθούν.

##### 3) Λίπανση με εμβάπτιση.

Τα τμήματα της μηχανής, που πρέπει να λιπανθούν εμβαπτίζονται κατά την περιστροφική τους κίνηση στο λιπαντικό, που είναι τοποθετημένο σε κατάλληλη λεκάνη. Σε κάθε περιστροφή παρασύρεται μια ποσότητα λαδιού, που διασκορπίζεται στα προς λίπανση μέρη της μηχανής. Τελικά το λάδι επανασυλλέγεται στη λεκάνη με τη βαρύτητα.

##### 4) Λίπανση με αναγκαστική κυκλοφορία ή κυκλοφοριακή λίπανση (με πίεση).

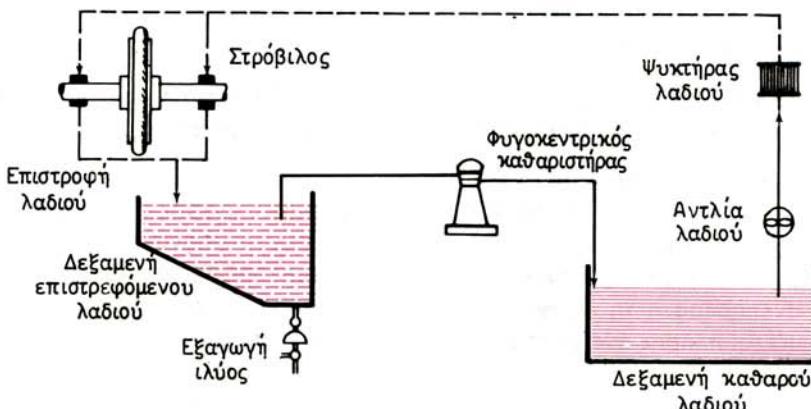
Αποτελεί την πιο σύγχρονη, αλλά και την πιο συνηθισμένη μέθοδο κεντρικής λιπάνσεως στις περισσότερες μηχανές και σχεδόν κατά κανόνα στις ΜΕΚ και στους ατμοστροβίλους. Το κύριο δίκτυο λιπάνσεως βασίζεται σε μια αντλία λαδιού, που αναρροφάει το λάδι από το ελαιοδοχείο της μηχανής και το καταθλίβει μέσω του δικτύου λιπάνσεως στα μέρη που πρέπει να λιπανθούν, από τα οποία επιστρέφει στην ελαιολεκάνη. Πρόκειται επομένως για ένα κλειστό κύκλωμα που περιλαμβάνει:

###### α) Σειρά καταλλήλων φίλτρων.

β) Ψυγείο, που ψύχει το λάδι με νερό ή αέρα. Στο ψυγείο λάδι κυκλοφορεί συνεχώς υπό πίεση.

Η τιμή της πιέσεως του λαδιού στο δίκτυο λιπάνσεως τηρείται σταθερά.

ρια, και παρακολουθείται συνεχώς, συνήθως με αυτόματες διατάξεις. Ενδεικτικές λυχνίες επισημαίνουν κάθε απότομη πτώση της πιέσεως του δικτύου λιπάνσεως, που μπορεί να οφείλεται σε απώλεια του λιπαντικού από διαρροή ή σε ανωμαλία της αντλίας. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να λαμβάνονται αμέσως τα κατάλληλα μέτρα για την αποκατάσταση της ανωμαλίας. Δίκτυο λιπάνσεως αυτού του είδους σε ένα ατμοστρόβιλο εικονίζεται στο σχήμα 19.1.



Σχ. 19.1.

## 19.2 Λιπαντήριες διατάξεις.

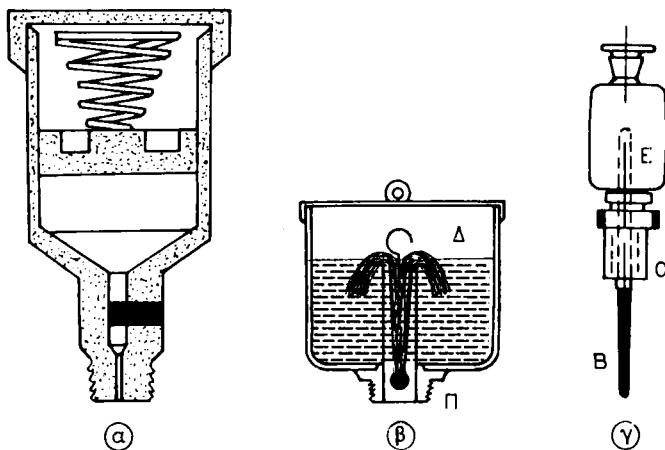
Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση σε όλα τα συστήματα που περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία. Μερικές απ' αυτές ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω:

### 1) Λιπαντήρια Λίπος (γρασσαδόροι).

Η κατασκευή τους είναι απλούστατη. Αποτελούνται από ένα κοίλο αγωγό (κυάθιο), μέσα στον οποίο τοποθετείται το γράσσο. Σ' αυτό βιδώνεται ένα απλό πώμα, το οποίο περιστρεφόμενο πιέζει το λίπος και το σπρώχνει προς τον αγωγό λιπάνσεως. Το βίδωμα του πώματος και η προώθηση του γράσσου με αυτό, μπορεί να γίνει με το χέρι ή με ελατήρια. Στη δεύτερη περίπτωση έχομε τους γρασσαδόρους με ελατήριο [σχ. 19.2(α)].

### 2) Λιπαντήρια με Θρυαλίδα (γρασσαδόροι με φυτίλι).

Χρησιμοποιούνται σε τοπική ανεξάρτητη λίπανση με λάδι. Η κατασκευή τους είναι επίσης απλή, όπως και η προηγούμενη διάταξη. Το λάδι τοποθετείται στο δοχείο Δ, που στο κάτω μέρος έχει ένα διάτρητο πώμα [σχ. 19.2(β)]. Μέσα από το πώμα Π περνάει ένας σωληνίσκος, που από το κάτω μέρος συγκοινωνεί με τον αγωγό λιπάνσεως, ενώ από το μέσα μέρος βυθίζεται στο λιπαντικό που περιέχεται μέσα στο δοχείο Δ. Μέσα στο σωληνίσκο βρίσκεται το φυτίλι που, χάρη στην απορροφητικότητά του, μεταφέρει συνεχώς το λάδι προς τον αγωγό λι-



Σχ. 19.2.

πάνσεως, ενώ συγχρόνως το φιλτράρει. Είναι φανερό ότι η λειτουργία των γρασσαδόρων αυτού του είδους είναι εντελώς ανεξάρτητη από τη λειτουργία της μηχανής.

### 3) Λιπαντήριο με βελόνα.

Το κύριο μέρος του [σχ. 19.2(γ)] είναι ένα ελαιοδοχείο Ε με κυλινδρικό σχήμα; που στο κάτω μέρος καταλήγει σε στενή τρύπα Ο. Η τρύπα κλείνει με μια βελόνα Β, που περνάει απ' αυτήν κατακόρυφα. Το κάτω άκρο της βελόνας αγγίζει την επιφάνεια του λιπανόδεμένου άξονα, από τον οποίο, όσο δεν περιστρέφεται, το λιπαντικό δεν μπορεί να χυθεί. Όταν ο άξονας περιστρέφεται οι παραμικροί κραδασμοί προκαλούν αναταράξεις της βελόνας, που αφήνει σιγά-σιγά το λάδι να τρέξει προς τον άξονα που θέλομε να λιπάνουμε.

### 4) Λίπανση με δακτυλίους.

Εφαρμόζεται κυρίως σε άξονες, που περιβάλλονται με μεταλλικούς δακτυλίους, των οποίων το κάτω μέρος βυθίζεται στην ελαιολεκάνη. Κατά την περιστροφή του άξονα οι δακτύλιοι παρασύρουν μικρές ποσότητες λαδιού, που, κατά την επαφή τους με τον άξονα, μεταφέρονται σ' αυτόν, εξασφαλίζοντας έτσι μια στοιχειώδη λίπανση.

### 5) Λίπανση με εμβάπτιση.

Έχει ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο σαν ένα από τα κύρια συστήματα λιπάνσεως. Δεν απαιτεί ιδιαίτερη διάταξη, παρά μονάχα τη λεκάνη με το λιπαντικό, στην οποία βυθίζονται κατά την περιστροφή τους ορισμένα μέρη του περιστρεφόμενου τμήματος της μηχανής. Το λάδι παρασύρεται με τον τρόπο αυτό και αποτίθεται στα προς λίπανση μέρη, επιστρέφοντας τελικά στην ελαιολεκάνη. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τη λίπανση των ωστικών εδράνων των αξόνων.

### 19.3 Λίπανση των εδράνων.

Τα **έδρανα** (κουζινέτα) είναι, όπως γνωρίζομε, τα μέρη της μηχανής, στα οποία αναπτύσσεται περισσότερο η τριβή και έτσι έχουν μεγαλύτερη ανάγκη για λίπανση. Τα έδρανα είναι συστήματα υποστηρίξεως των διαφόρων περιστρεφομένων μερών της μηχανής. Στην απλούστερη μορφή τους αποτελούνται από δυο κυλινδρικές επιφάνειες που περιβάλλουν και συγκρατούν το κινούμενο τμήμα της μηχανής, π.χ. έναν άξονα. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούνται συνήθως από ένα μαντεμένιο περίβλημα, μέσα στο οποίο προσαρμόζεται κατάλληλο αντιτριβικό κράμα, που έρχεται σε άμεση επαφή με το κομβίο του άξονα.

Το λιπαντικό συνήθως παρεμβάλλεται ανάμεσα στην εσωτερική επιφάνεια του εδράνου και του κομβίου του άξονα, όπου και σχηματίζεται λιπαντική μεμβράνη (παράγρ. 16.5). Σε αρκετές περιπτώσεις, για τη διευκόλυνση της λιπάνσεως του εδράνου, αυτό φέρει αυλάκια, με τα οποία το λιπαντικό φθάνει ευκολότερα σ' ολόκληρη την τριβόμενη επιφάνεια.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η λίπανση των απλών εδράνων **εξαρτάται** από διάφορους παράγοντες, όπως:

- Είδος της μηχανής στην οποία ανήκει το έδρανο.
- Μέγεθος του φορτίου.
- Ταχύτητα περιστροφής.

Οι ίδιοι παράγοντες καθορίζουν και το είδος του λιπαντικού για κάθε περίπτωση, πράγμα που εξετάζεται αναλυτικότερα για κάθε είδος **μηχανής**.

Στους ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) ο συντελεστής τριβής είναι τόσο μικρός, ώστε τουλάχιστον για μικρά φορτία η λίπανση είναι περιπτή. Περιορίζεται στο γέμισμα της φωλιάς του ρουλεμάν με γράσσο, του οποίου κύρια αποστολή είναι η προστασία του τριβέα από την οξείδωση, την είσοδο σκόνης, τους καπνούς, την υγρασία κλπ. Σε ρουλεμάν με μεγαλύτερα φορτία οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται συχνά, αποκλείουν τη χρησιμοποίηση γράσσου. Στην περίπτωση αυτή η λίπανση γίνεται με λάδι συνήθως με ανεξάρτητα τοπικά συστήματα π.χ. με θρυαλίδα (φυτίλι) ή με τη σταγονομετρική λίπανση (παράγρ. 19.2). Μπορεί, πάντως, να εφαρμοσθεί και λίπανση με κυκλοφοριακό σύστημα, όπου το λάδι στέλλεται στον τριβέα με παλινδρομική αντλία που παίρνει κίνηση από τον άξονα.

Το είδος λιπαντικού που χρησιμοποιείται για τη λίπανση των ένσφαιρων τριβέων **εξαρτάται** κυρίως από τη θερμοκρασία και την ταχύτητα περιστροφής τους.

Ο πίνακας 19.3.1 παρουσιάζει μερικές περιπτώσεις επιλογής λιπαντικών για ένσφαιρους τριβείς.

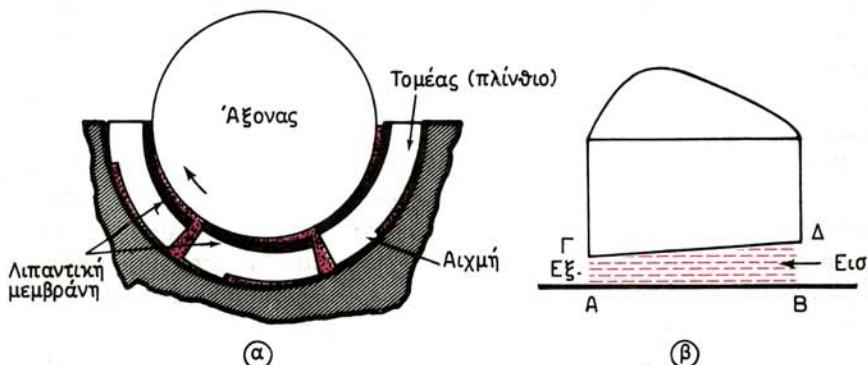
**ΠΙΝΑΚΑΣ 19.3.1**  
**Λιπαντέλαια ένσφαιρων τριβέων**

Περιοχή διακυμάνσεως θερμοκρασίας, °C	Τύπος λιπαντικών	
	rpm <1000	rpm >1000
– 40 ως + 40 Ο ως 75 Ο ως 100 15 ως 150	SAE 10W SAE 20 SAE 40 SAE 50	SAE 10W SAE 20 SAE 30 SAE 50

## 19.4 Ωστικοί τριβείς.

**Ωστικοί τριβείς** είναι, όπως είναι γνωστό, εκείνοι που προορίζονται για να στηρίζουν αξονικά φορτία, δημοσίες π.χ. στους ελικοφόρους άξονες των πλοίων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον με πολλές εφαρμογές παρουσιάζουν οι τριβείς τύπου Mitchell και Kingsbury. Οι τριβείς αυτοί έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό το ότι μπορούν να δεχθούν πολύ μεγαλύτερες πίεσεις από τους κοινούς τριβείς, χωρίς αυτό να προκαλεί διακοπή της λιπαντικής μεμβράνης.

Η κατασκευή των τριβέων Mitchell, όπως φαίνεται και στο σχήμα 19.4(a) είναι τέτοια, ώστε η λιπαντική μεμβράνη να παίρνει σχήμα σφηνοειδές, με την αιχμή προς το αντίθετο μέρος της κινήσεως, άρα και του φορτίου. Με τον τρόπο αυτό το λιπαντικό οδηγείται προς το μέρος των μεγάλων πιέσεων, από όπου διαφεύγει για να μπει νέα ποσότητα κ.ο.κ. Αυτό εξασφαλίζεται με κυκλικούς μεταλλικούς **τομείς**, με ακτίνα ίση προς το μέσο μήκος, που παρεμβάλλονται μεταξύ του κινητού και του ακίνητου περιλαιμίου της ωθήσεως.



Σχ. 19.4.

Θεωρητικά η λειτουργία των τριβέων Mitchell βασίζεται στην εξής αρχή: Αν έχουμε δυο επίπεδες επιφάνειες, την ΑΒ, που είναι ακίνητη, και την ΓΔ που κινείται κατά τη διεύθυνση του βέλους [σχ. 19.4(β)] με σταθερή ταχύτητα, τότε το στρώμα του λιπαντικού που βρίσκεται μεταξύ των δυο αυτών επιφανειών εκθλίβεται με την παραμικρή πίεση που ασκεί στην κινητή επιφάνεια ένα φορτίο, όταν οι επιφάνειες είναι παράλληλες.

Αν όμως η επιφάνεια ΓΔ έχει μια μικρή κλίση σε σχέση με την ΑΒ, τότε το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης είναι μεγαλύτερο κατά την είσοδο του λαδιού (σημείο Εισ.) και μικρότερο κατά την έξοδό του (Εξ.). Έτσι δημιουργείται η σφήνα του λιπαντικού, που μπορεί να δεχθεί πολύ μεγαλύτερες πιέσεις χωρίς να εκθλίβεται. Η κλίση, όμως, της επιφάνειας ΓΔ δεν μπορεί να είναι συνεχής σε όλη την περιμέτρο του τριβέα. Γι' αυτό το λόγο ο τριβέας χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα, καθένα από τα οποία μπορεί να στραφεί γύρω από ένα πόλο, που βρίσκεται στο πίσω μέρος του και λέγεται **επιθήλιο**, έτσι ώστε να παίρνει την κατάλληλη κλίση ανάλογα με την τιμή της πιέσεως που ασκείται.

Αν, λοιπόν, η επιφάνεια ΓΔ αντιστοιχεί σ' ένα στρεφόμενο δακτύλιο, που δέχεται την ώθηση ενδός άξονα, η ώθηση αυτή επενεργεί στα πλινθία-τομείς, που παίρνουν την ανάλογη κλίση, σχηματίζοντας σφηνοειδή λιπαντικά διάκενα. Τα διάκενα αυτά γεμίζουν με το λιπαντικό, που μεταδίδει την ώθηση στο σταθερό δακτύλιο, τον οποίο περιβάλλουν τα πλίνθια. Έτσι η επιφάνεια που φέρει το φορτίο, συνήθως το κομβίο του άξονα, δεν έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια εδράσεως, αλλά ασκείται πίεση στο δακτύλιο μέσω των κινητών πλινθίων.

Με τα έδρανα τύπου Mitchell ή Kingsbury μπορούμε να φθάσουμε σε πιέσεις πάνω από 100 ατμόσφαιρες.

Η λίπανση των ωστικών τριβέων γίνεται συνήθως με τη μέθοδο της εμβαπτίσεως σε λουτρό λαδιού, που σχηματίζεται στο κάτω μέρος του σώματος του τριβέα και τροφοδοτείται από ιδιαίτερη ελαιολεκάνη [παράγρ. 19.1(3)]. Η στάθμη του λαδιού διατηρείται σε τέτοιο ύψος, ώστε το περιστρεφόμενο περιαυχένιο του άξονα (κολλάρο) να βυθίζεται μεν, αλλά να μην υπάρχει διαρροή από τους ακραίους τριβείς, όταν ο άξονας δεν περιστρέφεται. Το λάδι παραλαμβάνεται από το λουτρό με την εξωτερική επιφάνεια του περιστρεφόμενου κολλάρου. Η ποσότητα λαδιού που πλεονάζει, αφαιρείται από ειδικούς αποξεστήρες μόλις ο άξονας εκτελέσει μισή περίπου στροφή και οδηγείται στους σφηνοειδείς χώρους μεταξύ των επιφανειών των πλινθίων και του περιαυχενίου του άξονα (αυτολιπανόμενοι ωστικοί τριβείς).

Η θερμοκρασία του λαδιού στους ωστικούς τριβείς διατηρείται μεταξύ 40 και 50°C με κατάλληλη ψύξη, που συνήθως εξασφαλίζεται με σερπαντίνα νερού, τοποθετημένη μέσα στην ελαιολεκάνη του τριβέα. Μεγάλη προσοχή απαιτείται για το ενδεχόμενο διαρροής νερού ψύξεως στο λάδι, που θα μπορούσε να έχει ολέθριες συνέπειες για τον τριβέα και το έδρανο. Γ' αυτό απαιτείται ο τακτικός καθαρισμός, η συχνή επιθεώρηση και η υδραυλική δοκιμή του δικτύου ψύξεως του λαδιού. Είναι επίσης δυνατόν το λάδι των ωστικών τριβέων να συνδέεται με το δίκτυο λιπάνσεως των τριβέων της μηχανής, οπότε εξασφαλίζεται συνεχής ροή λαδιού διά μέσου του ωστικού τριβέα σ' όλο το δίκτυο λιπάνσεως, με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία. Εκτός από την εξασφάλιση ικανοποιητικής ψύξεως, οι ωστικοί τριβείς χρειάζονται συχνή ρύθμιση των διακένων τους, όπως συνιστά ο κατασκευαστής, ώστε η σφηνοειδής μορφή των διακένων να διατηρείται στα κανονικά όρια. Έτσι επιτρέπεται στο λάδι να περνάει και να λιπαίνει τον άξονα, εμποδίζοντας την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, που θα μπορούσαν να είναι δυσμενείς τόσο για τους τριβείς όσο και για τους άξονες τους οποίους εδράζουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

### ΛΙΠΑΝΣΗ ΜΕΚ

#### 20.1 Γενικά για τη λίπανση ΜΕΚ.

Η λίπανση των μηχανών εσωτερικής καύσεως (πετρελαιομηχανές, βενζινομηχανές) γίνεται συνήθως με αναγκαστική κυκλοφορία, την οποία εξασφαλίζει η αντλία του λαδιού. Η αντλία αυτή μόνο στις μηχανές μικρής ιπποδυνάμεως μπορεί να βρίσκεται μέσα στο στροφαλοθάλαμο. Στις περισσότερες περιπτώσεις βρίσκεται χωριστά, κοντά στην ελαιοδεξαμενή, από την οποία αντλεί το λάδι και το διανέμει διά μέσου του δικτύου λιπάνσεως στα λιπανόμενα μέρη της μηχανής, που είναι:

- Τα έδρανα βάσεως.
- Οι τριβείς διωστήρων.
- Οι πείροι εμβόλων.
- Τα τοιχώματα του κυλίνδρου και τα έμβολα.
- Οι μειωτήρες.

Τα ορυκτέλαια που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των ΜΕΚ, εκτός από τα συνηθισμένα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά (ιξώδες, σημείο αναφλέξεως, σημείο ροής, σταθερότητα στην οξείδωση, σταθερότητα ιξώδους-θερμοκρασίας κλπ, των οποίων οι τιμές αναγράφονται στον πίνακα προδιαγραφών) πρέπει να έχουν και έντονες απορρυπαντικές ιδιότητες. Να μπορούν δηλαδή να απομακρύνουν από τις λιπανόμενες επιφάνειες τα εξανθρακώματα που σχηματίζονται και επικάθονται σ' αυτές. Τα εξανθρακώματα αυτά σχηματίζονται συνήθως από την υπερθέρμανση του εμβόλου και έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών σ' αυτά, που οφείλονται στην κακή και ανομοιόμορφη μετάδοση της θερμότητας, την οποία προκαλούν τα εξανθρακώματα. Για την αύξηση της απορρυπαντικότητας των λιπαντελαίων ΜΕΚ χρησιμοποιούνται κατάλληλα αντιρρυπαντικά πρόσθετα (detergents), που συμβάλλουν στη διατήρηση των επιφανειών των χιτωνίων και των εμβόλων καθαρών. Η υπερθέρμανση των εμβόλων εξάλλου, εκτός από τις ρωγμές μπορεί να προκαλέσει και έκρηξη στο στροφαλοθάλαμο, ιδίως όταν το λάδι περιέχει διαλυμένο καύσιμο από κακή λειτουργία των καυστήρων. Η έκρηξη στο στροφαλοθάλαμο αποφεύγεται με την καλή συντήρηση της μηχανής ώστε οι καυστήρες να λειτουργούν ικανοποιητικά. Αποφεύγεται επίσης και με τη χρήση λιπαντικού καλής ποιότητας, δηλαδή ενισχυμένου με τα κατάλληλα αντιρρυπαντικά πρόσθετα, ώστε η μηχανή να διατηρείται καθαρή και να αποτρέπεται έτσι η υπερθέρμανση από τα εξανθρακώματα.

Εκτός από τα αντιρρυπαντικά πρόσθετα, τα λιπαντέλαια των ΜΕΚ ενισχύονται με:

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

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες λιπαντελαίων ΜΕΚ.

**α) Κοινά λάδια (regular).** Χρησιμοποιούνται σε ολιγόστροφες μηχανές με μικρά φορτία και γενικά όπου δεν προβλέπονται δυσμενείς συνθήκες λιπάνσεως. Τα λάδια αυτά δεν περιέχουν πρόσθετα.

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

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

Ειδικότερα για τις πετρελαιομηχανές, ανάλογα με το τμήμα της πετρελαιομηχανής που πρόκειται να λιπάνουν, διακρίνονται σε:

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

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

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

Η σύγκριση των ιδιοτήτων για τα λάδια κάρτερ σε σχέση με τα κυλινδρέλαια φαίνεται **ενδεικτικά** στον πίνακα 20.1.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 20.1.1**  
**Σύγκριση βασικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων μηχανών Diesel**

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

## 20.2 Λίπανση βενζινομηχανών.

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

### 20.2.1 Δίχρονες βενζινομηχανές.

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

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

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

Παρόλο που τις ιδιότητες αυτές συγκεντρώνουν κυρίως τα ναφθενικής βάσεως ορυκτέλαια (παράγρ. 3.6), δύμας χρησιμοποιούνται τα ορυκτέλαια με υψηλό δείκτη ιξώδους, που αποτελούν τη βάση παραγωγής λιπαντικών για δίχρονες βενζινομηχανές. Παρά τα παραπάνω, η ατελής καύση και οι συνέπειές της στην ταχύτερη ρύπανση των κυλίνδρων στις δίχρονες βενζινομηχανές, που οφείλονται στον τρόπο λιπάνσεως, αποτελούν ένα γνωστό μειονέκτημα σε σύγκριση με τις τετράχρονες βενζινομηχανές. Αυτό αντισταθμίζεται από άλλα γνωστά πλεονεκτήματα που οι δίχρονες βενζινομηχανές παρουσιάζουν και κυρίως τη μεγαλύτερη ισχύ στον ίδιο όγκο. Σε πολλές περιπτώσεις τα λιπαντικά περιέχουν πρόσθετα που διατηρούν καθαρούς τους σπινθηριστές.

### **20.2.2 Τετράχρονες βενζινομηχανές.**

Στις τετράχρονες βενζινομηχανές η λίπανση γίνεται με αμιγές ορυκτέλαιο, του οποίου οι ιδιότητες καθορίζονται από τις σχετικές προδιαγραφές ανάλογα με την ποιότητά του. Σημαντικότερες είναι οι αμερικανικές προδιαγραφές MIL-L-2104 και MIL-L-46152, με διεθνή αναγνώριση και εφαρμογή. Τα κύρια χαρακτηριστικά που οι προδιαγραφές αυτές καθορίζουν, αναγράφονται στους πίνακες 20.2.1 και 20.2.2. Οι ίδιες προδιαγραφές ισχύουν και για τη λίπανση μηχανών Diesel.

Η λίπανση των βενζινομηχανών διακρίνεται σε:

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

που εξετάζονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

#### **— Λίπανση εδράνων.**

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

- α) Υπό πίεση με διόδους μέσω του κύριου άξονα.
- β) Με εμβάπτιση μέσα στο λάδι της ελαιολεκάνης (κάρτερ) και από την εκτίναξη του λαδιού, που προκαλείται κατά την περιστροφή.

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

#### **— Λίπανση κυλίνδρων.**

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

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

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

**ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.1**  
**Προδιαγραφή Λιπαντελαίων MEK**  
**MIL-L-2104 C**

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

**Παρατηρήσεις.**

- 1) Εκτός από τα παραπάνω αναγράφονται οι τιμές των παρακάτω χαρακτηριστικών, για τα οποία η προδιαγραφή δεν καθορίζει όρια.
  - Εξανθράκωμα (μέθοδος Ramsbottom, ASTM D524).
  - Ειδικό βάρος, API (μέθοδος ASTM D287).
  - Περιεκτικότητα σε φωσφόρο (μέθοδος ASTM D1091).
  - Περιεκτικότητα σε χλώριο (μέθοδος ASTM D808).
  - Περιεκτικότητα σε θείο (μέθοδος ASTM D1552).
  - Θειική τέφρα (μέθοδος ASTM D874).
  - Οργανομεταλλικές ενώσεις (μέθοδος ASTM D811).
- 2) Από την προδιαγραφή επίσης προβλέπονται δοκιμές αναφερόμενες σε:
  - Αφρισμό.
  - Σταθερότητα.
  - Αναμηνότητα με λιπαντέλαια, που έχουν παρόμοιες προδιαγραφές (MIL-L-46152, MIL-L-21260 κλπ.).
  - Μηχανικές δοκιμές που να εξασφαλίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην πράξη (παράγρ. 18.15).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.2**  
**Προδιαγραφή λιπαντέλαιων ΜΕΚ**  
**MIL-L-46152 B**

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μέθοδος ASTM	SAE				
		10 W	30	5 W – 20	10 W – 30	15 W – 40
1) Κινηματικό ιξώδες, σε 100°C (cSt) α) Ελάχιστη τιμή β) Μέγιστη τιμή	D 445	5,6 7,4	9,3 12,5	5,6 9,3	9,3 12,5	12,5 16,3
2) Φαινόμενο ιξώδες, (cp) α) Ελάχιστη τιμή  β) Μέγιστη τιμή	D 2602	3500 (σε – 25°C)	—	3250 (σε – 30°C)	3500 (σε – 25°C)	3500 (σε – 20°C)
3) Όρια αντλητικότητας °C (max)	D 3829	— 25	—	— 30	— 25	— 20
4) Δείκτης ιξώδους (min)	D 2270	αναφέρεται	75	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται
5) Σημείο ροής, °C (min)	D 97	— 32	— 18	— 40	— 32	— 23
6) Σημείο αναφλέξεως, °C (min)	D 92	205	200	205	205	215
7) Περιεκτικότητα σε φωσφόρο ‰κ.β. (max)	D 1091	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

**Παρατηρήσεις.**

- 1) Εκτός από τα παραπάνω αναγράφονται οι τιμές των παρακάτω χαρακτηριστικών, για τα οποία οι προδιαγραφές δεν καθορίζουν όρια:
  - Ειδικό βάρος, API (ASTM D287).
  - Εξανθράκωμα (ASTM D524 – μέθοδος Ramsbottom).
  - Θεία (μέθοδος ASTM D1552).
  - Θειική τέφρα (ASTM D874).
  - Μεταλλικά στοιχεία (ASTM D811).
- 2) Από την προδιαγραφή προβλέπονται επίσης δοκιμές αναφερόμενες σε:
  - Αφρισμό.
  - Σταθερότητα.
  - Αναμιξιμότητα με άλλα παρομοίων προδιαγραφών λιπαντέλαια (MIL-L-2104, MIL-L-21260, MIL-L-46167 κλπ.).
  - Μηχανικές δοκιμές, που να εξασφαλίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην πράξη (παράγρ. 18.15).

Οι οδοντωτοί τροχοί, οι βαλβίδες κλπ. λιπαίνονται με λάδι που καταθλίβεται από το επάνω μέρος της μηχανής και κατά την επιστροφή του στο κάρτερ με τη βαρύτητα. Έτσι λιπαίνονται τα διάφορα σημεία που συναντά κατά την κάθοδό του.

Το λιπαντικό και των δυο προηγουμένων περιπτώσεων (έδρανα - κύλινδροι) είναι κοινό και καλύπτεται από τις προδιαγραφές που αναφέρονται στον πίνακα 20.2.2. Τα λιπαντικά αυτά είναι ενισχυμένα με αντιρρυπαντικά πρόσθετα (detergents) που απομακρύνουν τα εξανθρακώματα διατηρώντας καθαρά τα κρίσιμα μέ-

ρη της μηχανής με τα οποία το λιπαντικό έρχεται σε επαφή.

Εκτός από τα αντιρρυπαντικά, τα λιπαντικά των βενζινομηχανών ενισχύονται:

- **Με αντιοξειδωτικά πρόσθετα που παρατείνουν την ζωή τους και**
- **με βελτιωτικά δείκτη ιξώδους (V.I. Improvers) που διευρύνουν τα όρια θερμοκρασιών, στις οποίες τα λιπαντικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιούνται (παράγρ. 17.2).** Τα λάδια αυτά είναι γνωστά ως multigrade ή Viscostatic και φυσικά είναι ακριβότερα. Έτσι, το λάδι SAE 20 δεν εξασφαλίζει εύκολη εκκίνηση της μηχανής στις θερμοκρασίες κάτω από  $-10^{\circ}\text{C}$ , επειδή αυξάνεται πολύ το ιξώδες. Το αντίστοιχο λάδι με βελτιωτικό δείκτη ιξώδους, με ένδειξη SAE 20 W στη συνθησιμένη θερμοκρασία συμπεριφέρεται σαν SAE 20, σε χαμηλές όμως θερμοκρασίες δεν αυξάνει το ιξώδες του παρά πολύ, επιτρέποντας εύκολα την εκκίνηση της μηχανής ως τους  $-20^{\circ}\text{C}$ .

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

Τα συστήματα λιπάνσεως της κυρίως μηχανής (έδρανα - κύλινδροι) μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες:

**α) Σύστημα υγρής ελαιολεκάνης.** Εξασφαλίζει τη λίπανση με συνδυασμό πιέσεως και εκτινάξεως. Έχει το πλεονέκτημα ότι είναι οικονομικό και ότι οι κίνδυνοι εμφράξεως των σωληνώσεων κλπ. είναι λιγότεροι. Βασικό μειονέκτημά του είναι ότι η στάθμη του λαδιού στο κάρτερ αυξομειώνεται κατά τις εκτινάξεις και προκαλεί αντίστοιχες διακυμάνσεις κατά τη λίπανση.

**β) Σύστημα ξηρής ελαιολεκάνης** (πιέσεως). Εξασφαλίζει τη λίπανση μόνο με πίεση, που γι' αυτό το λόγο είναι πλήρης και σταθερή. Το σύστημα όμως είναι δαπανηρότερο και παρουσιάζει τον κίνδυνο εμφράξεως των σωληνώσεων από τις αποθέσεις, που προκαλεί η φυγόκεντρη δύναμη. Το μειονέκτημα αυτό, όμως, αντιμετωπίσθηκε με ενισχυμένα φίλτρα και με διατάξεις ασφάλειας με ενδεικτικές λυχνίες που ενεργοποιούνται όταν η πίεση του δικτύου πέσει κάτω από τα όρια ασφάλειας.

#### — **Λίπανση λοιπών μερών.**

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον προυσιάζει το σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως που μπορεί να θεωρηθεί ως τμήμα ή συμπλήρωμα της κυρίως μηχανής.

Το σύστημα αυτό αποτελείται κυρίως από τα εξής κύρια μέρη:

**α) Το κιβώτιο ταχυτήτων,** που είναι ένα έιδος μειωτήρων και ρυθμίζει τη σχέση μεταδόσεως της κινήσεως μεταξύ του κινητήρα και του άξονα.

**β) Το συμπλέκτη,** που συνδέει ή αποδεσμεύει τον κινητήρα από το κιβώτιο ταχυτήτων, άρα και από τον άξονα.

**γ) Το διαφορικό,** που ενδιαφέρει κυρίως τα αυτοκίνητα και επιτρέπει στους τροχούς να στρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες, όταν το αυτοκίνητο κινείται σε κυκλικές τροχιές.

Για τους συμπλέκτες χρησιμοποιούνται κατάλληλα υδραυλικά λάδια που πρέπει απαραίτητα να συγκεντρώνουν τις εξής βασικές ιδιότητες:

- Αντοχή σε οξειδώση.
- Υψηλή τιμή ειδικού βάρους, γιατί η μετάδοση της ισχύος εξαρτάται από την κινητική ενέργεια του ρευστού, που είναι ανάλογη προς το ειδικό βάρος.

- Κατάλληλο ιξώδες, που να επιτρέπει την άνετη κυκλοφορία ρευστού.
- Αντιδιαβρωτική προστασία.

Για το διαφορικό και για το κιβώτιο ταχυτήτων συνήθως χρησιμοποιείται ενιαίος τύπος λιπαντικού με βάση τα ορυκτέλαια, που κυκλοφορούν στο εμπόριο με το κοινό όνομα **βαλβολίνες**. Μερικές βαλβολίνες έχουν υψηλό ιξώδες και είναι ενισχυμένες με χημικά πρόσθετα, τα οποία αυξάνουν την αντοχή στις πολύ υψηλές πιέσεις που αναπτύσσονται στα γρανάζια και των δυο αυτών μηχανισμών (παράγρ. 17.4.5). Μια από τις γνωστότερες προδιαγραφές για βαλβολίνες είναι και η MIL-L-2105C, που τα κυριότερα χαρακτηριστικά της περιέχονται στον πίνακα 20.2.3.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 20.2.3**  
**Προδιαγραφή βαλβολίνης MIL-L-2105 C**

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μέθοδος ASTM	SAE		
		75 W	80 W – 90	85 W – 140
1) Κινηματικό ιξώδες σε 100°C (cSt) a) Ελάχιστη τιμή b) Μέγιστη τιμή	D 445	4,1 —	13,5 24	24 41
2) Θερμοκρασία στην οποία το φαινόμενο ιξώδες αποκτά τιμή 150000 cp (max)	D 2983	– 40°C	– 26°C	– 12°C
3) Σημείο αναφλέξεως, °C (min)	D 92	150	165	180
4) Δείκτης ιξώδους	D 2270	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται
5) Αδιάλυτα σε πεντάνιο	D 893	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται
6) Ειδικό βάρος, API	D 287	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται

**Παρατηρήσεις.**

Για τις τιμές των χαρακτηριστικών 4.5 και 6 δεν προδιαγράφονται όρια. Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών απλώς αναφέρονται, καθώς επίσης και των παρακάτω.

- Σημείο ροής (ASTM D97).
- Θερίο (ASTM D1552).
- Φωσφόρος (ASTM D1091).
- Χλώριο (ASTM D808).
- Άζωτο (ASTM D3228).
- Οργανομεταλλικές ενώσεις (ASTM D811).

## 20.3 Λίπανση μηχανών Diesel.

### 20.3.1 Γενικά για τη λίπανση των μηχανών Diesel.

Στις μηχανές Diesel (πετρελαιομηχανές) ισχύουν οι ίδιες βασικές αρχές λιπάνσεως, όπως και στις βενζινομηχανές, αφού και τα δυο είδη μηχανών ανήκουν στην κατηγορία MEK. Επομένως έχουν κοινά χαρακτηριστικά σε πολλούς τομείς, και μεταξύ αυτών και στη λίπανση.

Σε όλους τους τύπους μηχανών Diesel εφαρμόζονται κυκλοφοριακά συστήματα με πίεση του τύπου υγρής ή ξηρής ελαιολεκάνης (παράγρ. 20.2.2).

Η λίπανση των πετρελαιομηχανών, σε σύγκριση με τις βενζινομηχανές, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη προσοχή και παρουσιάζει περισσότερα προβλήματα, γιατί:

- Τα συνολικά φορτία είναι πολύ μεγαλύτερα, επομένως ασκούνται πολύ μεγάλες πιέσεις.
- Οι θερμοκρασίες είναι συνήθως πολύ υψηλότερες, και μάλιστα κυμαινόμενες συχνά σε πλατιά ώρια.
- Χρησιμοποιούνται καύσιμα με ολοένα πιο χαμηλή ποιότητα που επιδρούν δυσμενώς στο λιπαντικό.

Για να αντιμετωπισθούν όλες αυτές οι συνθήκες λειτουργίας των πετρελαιομηχανών η τεχνολογία των λιπαντικών έχει φθάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα τελειότητας. Τόσο η παραγωγή των λαδιών όσο και οι αντίστοιχες προδιαγραφές εξασφαλίζουν την ποιότητα εκείνη που χρειάζεται, ώστε η λίπανση να επιτελεί με απόλυτη επιτυχία την τόσο ζωτική σημασίας αποστολή της, τη διατήρηση δηλαδή της μηχανής σε καλή κατάσταση και την εν γένει αποδοτική λειτουργία της. Εκτός όμως από τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις ποιότητας που οι αγοραστές των λιπαντικών καθορίζουν, ο ανταγωνισμός μεταξύ των εταιριών παραγωγής και διαθέσεως των λιπαντικών έχει βελτιώσει πολύ την ποιότητά τους.

Η λίπανση των πετρελαιομηχανών διακρίνεται:

- Στη λίπανση των κυλίνδρων.
- Στη λίπανση των τριβέων.

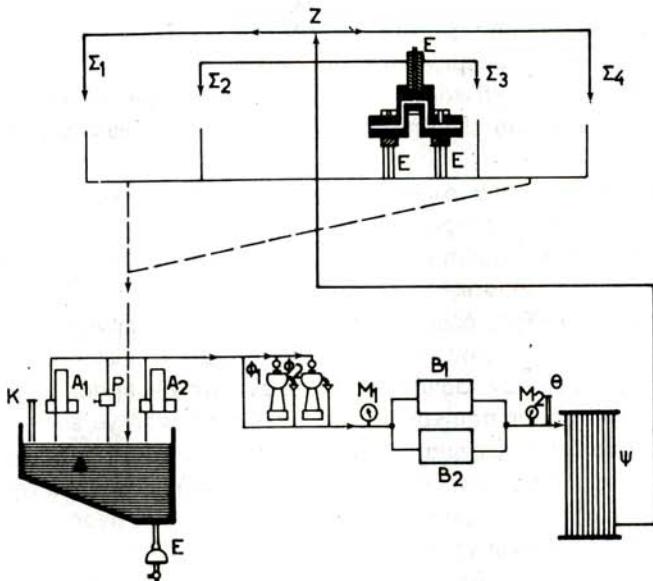
Τα δυο δίκτυα λιπάνσεως, δηλαδή των κυλίνδρων και των τριβέων, άλλοτε μεν τροφοδοτούνται από κοινή δεξαμενή με τα ίδια λιπαντέλαια και άλλοτε είναι τελείως ανεξάρτητα μεταξύ τους, με χωριστές δεξαμενές, και φυσικά με διαφορετικό είδος λαδιού, ανάλογα με το είδος της μηχανής. Κοινό δίκτυο λιπάνσεως με ενιαίο τύπο λιπαντικού έχουν οι μηχανές χωρίς ζύγωμα (Trunk piston engines), πράγμα που ισχύει για ταχύτροφες κατ' εξοχή πετρελαιομηχανές μικρής ισχύος. Αντίθετα, στις βαριές αργότροφες μηχανές Diesel του εμπορικού ναυτικού που έχουν ζύγωμα (crosshead engines), έχομε δυο δίκτυα λιπάνσεως με διαφορετικό λιπαντικό: ένα για τους κυλίνδρους και ένα για τους τριβείς (παράγρ. 20.1).

Ο τρόπος λιπάνσεως και ειδικότερα η διάταξη των δικτύων ή το είδος των χρησιμοποιουμένων συστημάτων λιπάνσεως, ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Τα συστήματα λιπάνσεως περιγράφονται με λεπτομέρεια στο βιβλίο Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως του Ιδρύματος Ευγενίδου. Μια γενική διαγραμματική διάταξη δικτύου λιπάνσεως μηχανής Diesel δείχνει το σχήμα 20.3a.

Η αναρρόφηση του λαδιού με τις αντλίες  $A_1$  και  $A_2$  γίνεται από την ελαιοδεξαμενή  $\Delta$ . Στις μικρές μηχανές δεν υπάρχει ξεχωριστή δεξαμενή: ο πυθμένας της βάσεως της δεξαμενής διαμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να αποτελεί τον **ελαιοσυλλέκτη** ή **ελαιολεκάνη (κάρτερ)** μέσα στον οποίο βρίσκεται η αντλία λαδιού. Στις μεγάλες μηχανές το κάρτερ αποτελεί ιδιαίτερη δεξαμενή, που βρίσκεται στη βάση της μηχανής, ή και μέσα στα διπύθμενα και φέρει:

- α) Τον εξυδατωτικό κρουνό  $E$ , για την απομάκρυνση του νερού και της λάσπης.
- β) Τον καταμετρικό σωλήνα  $K$ , που χρησιμεύει και ως εξαεριστικό του δικτύου.

Μεταξύ των αντλιών  $A_1$  και  $A_2$  παρεμβάλλεται ο ρυθμιστής πιέσεως  $P$ , από



**Σχ. 20.3α.**  
Διάγραμμα δίκτυου λιπάνσεως μηχανής Diesel.

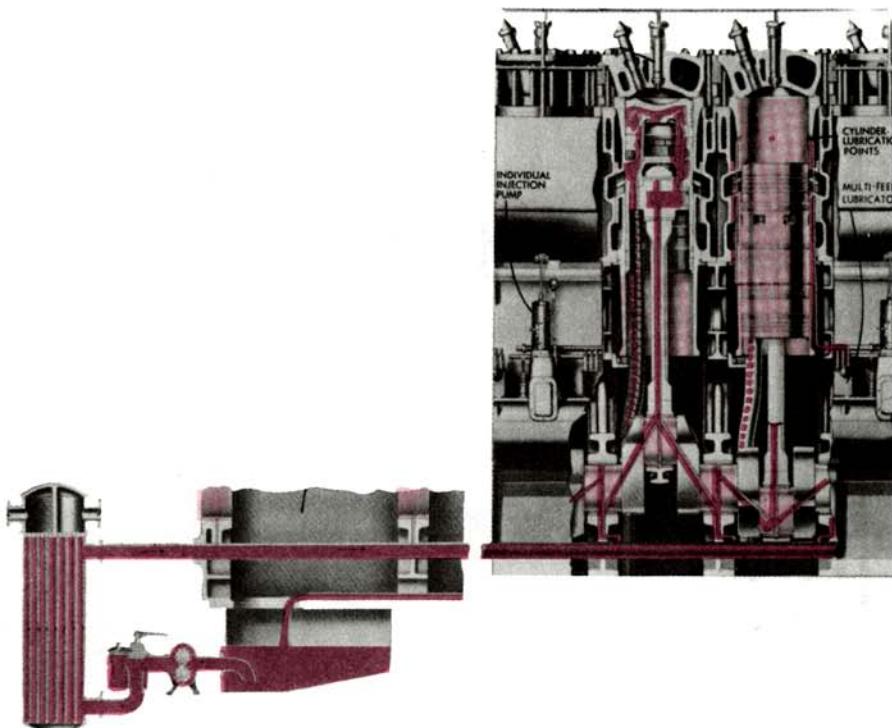
τον οποίο το λάδι επιστρέφει στη δεξαμενή όταν η πίεση καταθλίψεως υπερβαίνει την προκαθορισμένη τιμή.

Το δίκτυο συμπληρώνεται με:

- Τους φυγοκεντρικούς καθαριστήρες  $\Phi_1$  και  $\Phi_2$ .
- Τα φίλτρα  $B_1$  και  $B_2$ .
- Δυο θλιβόμετρα  $M_1$  και  $M_2$ , που δίνουν τις ενδείξεις της πιέσεως πριν και μετά τα φίλτρα.
- Θερμόμετρο  $\Theta$  για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του λαδιού.

Το λιπαντικό διά μέσου των σωληνώσεων διανομής  $Z$  διακλαδίζεται στους στροφάλους και ειδικότερα στο επάνω μέρος των εδράνων της βάσεως. Από την τρύπα που υπάρχει στο κομβίο του στροφάλου, το λάδι φθάνει στον εσωτερικό οχετό του στροφάλου και διά μέσου των διατρήτων βραχιόνων, στους τριβείς των κομβίων του στροφάλου. Από εκεί το λάδι οδηγείται προς τον πείρο ή το ζύγωμα (αν υπάρχει) είτε από την εσωτερική τρύπα του διωστήρα  $E$ , είτε από σωληνώσεις που είναι τοποθετημένες στο εξωτερικό του διωστήρα, λιπαίνοντας τους αντίστοιχους τριβείς. Το λάδι εκρέει μετά από τα έδρανα, τους τριβείς και τις ευθυντηρίες και με τη βαρύτητα συλλέγεται στην ελαιοδεξαμενή.

Παράλληλη σωλήνωση οδηγεί το λάδι και προς τους κυλίνδρους για τη λίπανση των τοιχωμάτων τους και προς τα έμβολα για την εσωτερική ψύξη τους. Απ' αυτά τελικά επιστρέφει στην ελαιοδεξαμενή για να υποστεί την ίδια διαδικασία καθαρισμού, ελέγχου και ψύξεως, όπως και το λάδι των τριβέων.



**Σχ. 20.3β.**

Λίπανση δίχρονης πετρελαιομηχανής Nordberg (Ενιαίο δίκτυο).

Μια τέτοια διάταξη με ενιαίο δίκτυο λιπάνσεως των κυλίνδρων και των τριβέων δείχνει και το σχήμα 20.3β για μια δίχρονη πετρελαιομηχανή Nordberg TS-21.

Η λίπανση των κυλίνδρων στη μηχανή αυτή γίνεται με μηχανικούς λιπαντήρες που στέλνουν το λάδι στα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Η λίπανση όμως των κυλίνδρων μπορεί να γίνει και με εκτίναξη του λαδιού, όπως φαίνεται στο σχήμα 20.3γ.

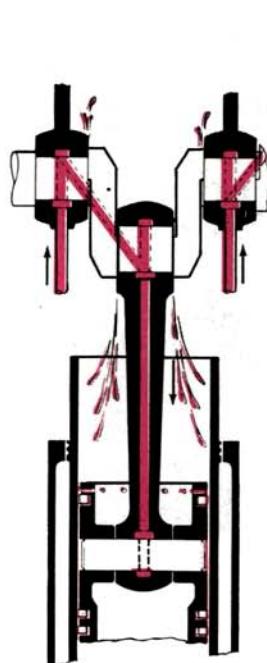
Το λάδι, καθώς ξεφεύγει από τους τριβείς του στροφαλοφόρου άξονα, εκτοξεύεται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και στα τοιχώματά του, με τη βοήθεια της φυγόκεντρης δυνάμεως που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή του στροφάλου.

### 20.3.2 Λίπανση τριβέων.

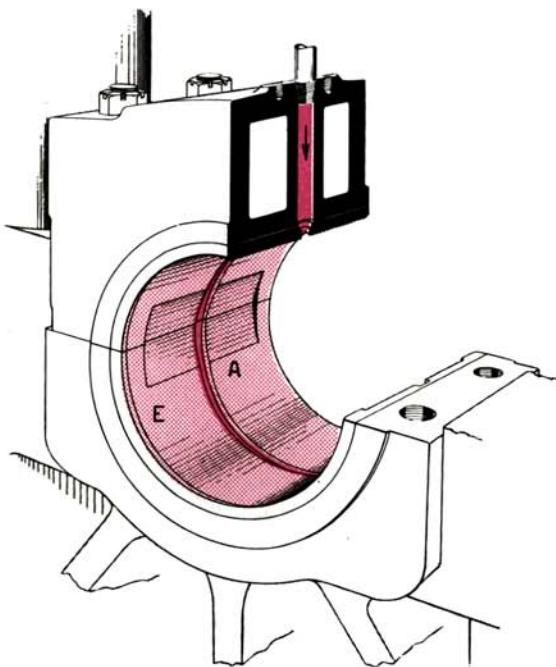
Η λίπανση των τριβέων αποβλέπει στο σχηματισμό και τη διατήρηση λιπαντικής μεμβράνης ανάμεσα στο έδρανο και τον άξονα, για τον περιορισμό των τριβών που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή.

Η λιπαντική μεμβράνη πρέπει να έχει την ικανότητα να διατηρείται, όσο μεγάλα φορτία και να αναπτύσσονται στον τριβέα (φθάνουν τα 500 bar). Αυτό εξαρτάται:

- Από την παροχή λαδιού.
- Από την ποιότητα του λαδιού.
- Από τη σχεδίαση και την κατασκευή του τριβέα.



**Σχ. 20.3γ.**  
Λίπανση κυλίνδρων με εκτίναξη.



**Σχ. 20.3δ.**  
Λίπανση τριβέων.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 20.3δ το λιπαντικό διοχετεύεται υπό πίεση στο επάνω μέρος του τριβέα και διά μέσου της κυκλικής αύλακας Α διανέμεται στην εσωτερική επιφάνεια Ε.

Ο σχηματισμός της λιπαντικής μεμβράνης κατά την περιστροφή του άξονα, φαίνεται σταδιακά στο σχήμα 20.3ε.

### ΦΑΣΗ I.

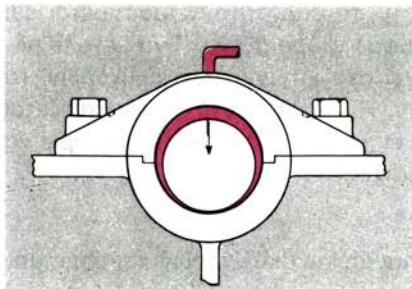
Ο άξονας είναι ακίνητος και το μεγαλύτερο μέρος του λιπαντικού είναι συγκεντρωμένο στο επάνω μέρος του τριβέα.

### ΦΑΣΗ II.

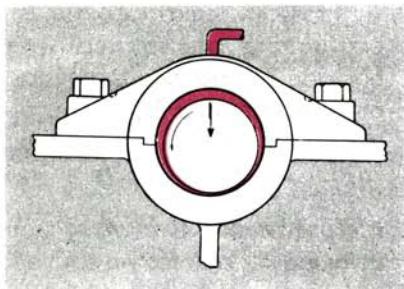
Με την έναρξη της περιστροφής ο άξονας ανυψώνεται και το λιπαντικό εισχωρεί στο κάτω μέρος, όπου έχομε συνθήκες οριακής λιπάνσεως (παράγρ. 16.5).

### ΦΑΣΗ III.

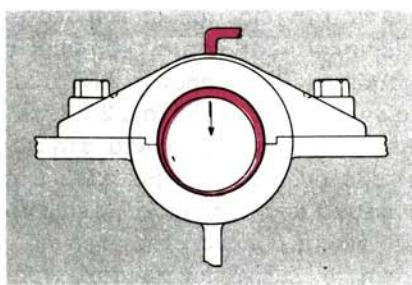
Η αντίλια λαδιού, που κινείται από τον άξονα, στέλνει αρκετό λάδι ώστε να συμπληρώσει τα κενά που δημιουργούνται κατά την περιστροφή ανάμεσα στο κομβίο και το έδρανο. Η λίπανση γίνεται τώρα υγρή (παράγρ. 16.5).



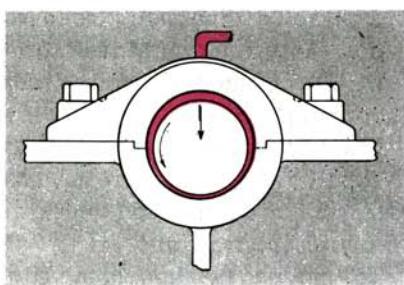
ΦΑΣΗ Ι



ΦΑΣΗ ΙΙ



ΦΑΣΗ ΙΙΙ



ΦΑΣΗ ΙV

Σχ. 20.3ε.

#### **ΦΑΣΗ ΙV.**

Ο άξονας έχει αποκτήσει τη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής, οπότε το πάχος της μεμβράνης έχει αποκτήσει τιμές που να αντέχουν στα αναπτυσσόμενα φορτία. Από τη φυγόκεντρη δύναμη που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή, η μέγιστη τιμή πιέσεως μετατοπίζεται προς το δεξιό μέρος του τριβέα (παράγρ. 16.6).

Τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λιπαντελαίου, που προορίζεται για τη λίπανση τριβέων, αναγράφονται στον πίνακα 20.1.1.

#### **20.3.3 Λίπανση κυλίνδρου.**

Η λίπανση των κυλίνδρων στις μηχανές Diesel έχει ως σκοπό:

- Την ελάττωση των τριβών μεταξύ των ελατηρίων που περιβάλλουν το έμβολο και των τοιχωμάτων του χιτωνίου. Έτσι και οι μηχανικές φθορές περιορίζονται και ο βαθμός αποδόσεως βελτιώνεται.
  - Την ψύξη.
  - Τη στεγανοποίηση των κυλίνδρων, ώστε να εμποδίζεται η διαφυγή καυσαερίων προς το στροφαλοθάλαμο.
  - Την προστασία από διάβρωση.
- Η λίπανση του κυλίνδρου γίνεται συνήθως με δυο τρόπους:

##### **a) Με εκτίναξη λαδιού.**

Εφαρμόζεται κυρίως στις ταχύστροφες μηχανές, χωρίς ζύγωμα, που έχουν κονό δίκτυο λιπάνσεως με τους τριβείς. Ένα μέρος του λαδιού, μετά τη λίπανση

των τριβέων, επιστρέφοντας στη δεξαμενή με τη βαρύτητα, παρασύρεται και εκτινάσσεται, από τον περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο άξονα. Ένα μεγάλο μέρος από το λάδι που εκτινάσσεται καταλήγει στα χιτώνια των κυλίνδρων, τα οποία και λιπαίνει διά μέσου των ελατηρίων. Η διάταξη αυτή, που εικονίζεται στο σχήμα 20.3γ, είναι απαρχαιωμένη και δεν χρησιμοποιείται πια. Μπορεί να τη συναντήσει κανείς σε παλιού τύπου μηχανές.

### **β) Με μηχανικούς λιπαντήρες (λουμπρικέτες).**

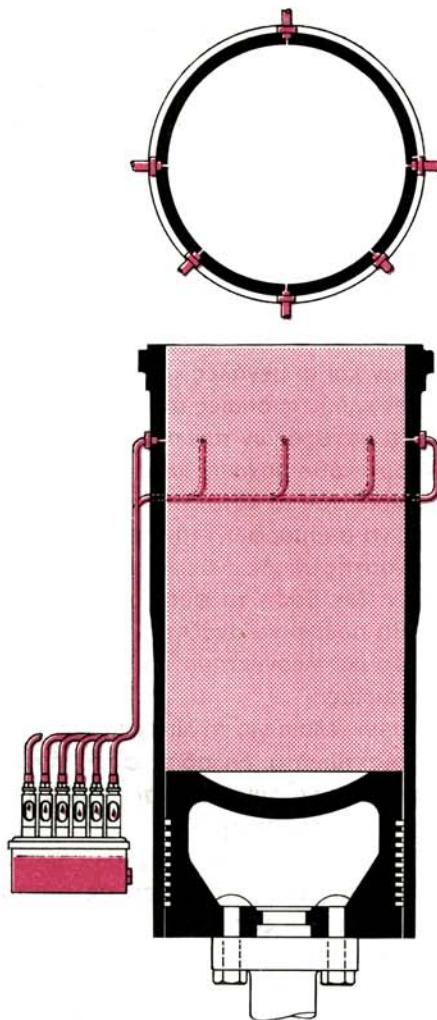
Ξίναι ειδικές αντλίες για σταγονομετρική λίπανση των κυλίνδρων και χρησιμοποιούνται σε όλες τις αργόστροφες πετρελαιομηχανές με ζύγωμα. Οι αντλίες αυτές ενεργοποιούνται από τη μηχανή με ειδικούς κνώδακες. Η εισαγωγή του λαδιού γίνεται από ειδικά διαμορφωμένες στον κύλινδρο λαδότρυπες (quills), 6 ως 8 τον αριθμό, που βρίσκονται στο ύψος μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου ελατηρίου συμπιέσεως, όταν το έμβολο βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ) της διαδρομής του. Έτσι το έμβολο καθώς ανεβαίνει προς το ΑΝΣ συμπαρασύρει το λάδι, λιπαίνοντας με τον τρόπο αυτό τον κύλινδρο (σχ. 20.3στ).

Στις δίχρονες μηχανές το λάδι καταθλίβεται σε σημεία, που βρίσκονται στη ζώνη μεταξύ των δυο κατωτέρων ελατηρίων του εμβόλου, όταν αυτό βρίσκεται στο ΑΝΣ, γιατί σε χαμηλότερα σημεία το λάδι θα διαφεύγει από τις θυρίδες με επιβλαβή αποτελέσματα, τόσο για τη λίπανση όσο και για τη ρύπανση της μηχανής.

Το λιπαντικό που χρησιμοποιείται για τη λίπανση των κυλίνδρων των ταχυστρόφων μηχανών έχει την ίδια ποιότητα και καλύπτεται από τις ίδιες προδιαγραφές, όπως και το λιπαντικό των τριβέων. Τέτοιες είναι οι προδιαγραφές MIL-L-2104 και MIL-L-46152 που περιέχονται στους πίνακες 20.2.1 και 20.2.2. Στις αργόστροφες βαριές μηχανές με ζύγωμα, όπου η λίπανση των κυλίνδρων γίνεται από χωριστό δίκτυο που τροφοδοτείται από ιδιαίτερη δεξαμενή, το λιπαντέλαιο διαφέρει από εκείνο που λιπαίνει τους τριβείς κυρίως ως προς: Το Ιξώδες (SAE 40 ή 50) και την ενίσχυση με αλκαλικά πρόσθετα που ανεβάζουν τον ολικό αριθμό βάσεως (TBN) σε πολύ υψηλές τιμές (60-70). Αυτό έχει σκοπό να εξουδετερώσει τα οξεα που παράγονται από τα καυσαέρια των μηχανών Diesel, ιδίως όταν χρησιμοποιούν βαριά καύσιμα με βάση το μαζούτ, που περιέχουν πολύ θειάφι (μέχρι 3%), πράγμα που κατ' εξοχή συμβαίνει με τις αργόστροφες ναυτικές πετρελαιομηχανές. Τα λάδια αυτά λέγονται **κυλινδρέλαια μηχανών Diesel** (Diesel cylinder oils) και δεν πρέπει να συγχέονται με τα κυλινδρέλαια των ατμομηχανών, που είναι τελείως διάφορα ως προς τη σύνθεση και τις ιδιότητες (παράγρ. 21.2).

#### **20.3.4 Λίπανση στροβιλοφυσητήρων.**

Οι στροβιλοφυσητήρες, που όπως είναι γνωστό αποτελούν βασικό τμήμα όλων σχεδόν των σύγχρονων πετρελαιομηχανών, λιπαίνονται από δίκτυο που συνδέεται με το κύριο δίκτυο λιπάνσεως των τριβέων κλπ. της μηχανής. Το λάδι των στροβιλοφυσητήρων το παίρνουμε από το σωλήνα του δικτύου λιπάνσεως των ζυγαμάτων, απ' όπου καταθλίβεται σε δεξαμενή ύψους, που βρίσκεται αρκετά μέτρα πάνω από τον άξονα του στροβίλου. Από τη δεξαμενή αυτή λιπαίνονται οι στροβιλοφυσητήρες με στατική πίεση. Η όλη διάταξη λιπάνσεως των στροβιλοφυσητήρων περιγράφεται με λεπτομέρεια στο βιβλίο του Ιδρύματος Ευγενίδου «Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως».



**Σχ. 20.3στ.**  
Μηχανική λίπανση κυλίνδρων.

#### 20.4 Προδιαγραφές λιπαντελαίων μηχανών Diesel.

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

- Στις ΗΠΑ οι στρατιωτικές προδιαγραφές.
  - MIL-L-2104
  - MIL-L-46152
  - MIL-L-45199
  - MIL-L-21260
  - MIL-L-9000

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δυο πρώτων προδιαγραφών, δηλαδή του (MIL-L-2104 και MIL-L-46152) αναγράφονται αντίστοιχα στους πίνακες 20.2.1 και 20.2.2.

Χαρακτηρίζονται συνήθως με γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου Α, Β, C, D, E κλπ. που δείχνουν την εξέλιξη της προδιαγραφής με την πάροδο του χρόνου.

β) Στη Μεγάλη Βρετανία.

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

γ) Στη Δυτική Γερμανία.

Οι προδιαγραφές DIN

Προδιαγραφές όμως εκδίδουν και οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες (Ford, General Motors, Caterpillar, Fiat κλπ.) τις οποίες συνιστούν στους πελάτες τους.

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

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

## 20.5 Νεότερες εξελίξεις στη λίπανση των πετρελαιομηχανών.

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

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

- 1) **Η περιεκτικότητα σε θείο**, που μπορεί να φθάσει μέχρι 5% (πίνακας 8.3.1).

Το παραγόμενο κατά την καύση θειικό οξύ αποτελεί σοβαρό κίνδυνο διαβρώσεων, αν δεν αντιμετωπισθεί κατάλληλα.

- 2) ***H ποιότητα καύσεως***, δηλαδή ***o αριθμός κετανίου***, που στα βαριά καύσιμα είναι γενικά πολύ χαμηλός (CN 20) και αυξάνει την καθυστέρηση αναφλέξεως. Αυτό έχει ως συνέπεια μεγαλύτερο ***κτύπημα***, που οφείλεται σε απότομη αύξηση της πιέσεως μετά την ανάφλεξη, και περισσότερη ρύπανση από τα προϊόντα ατελούς καύσεως.
- 3) ***To ειδικό βάρος***, που μπορεί να φθάσει το 1, δημιουργεί προβλήματα απομακρύνσεως του νερού κατά το φυγοκεντρικό διαχωρισμό.
- 4) ***H αστάθεια*** του καυσίμου, μπορεί να οδηγήσει σε αποχωρισμό ασφαλτικών καταλοίπων, που δημιουργούν προβλήματα κατά την καύση. Αυτή οφείλονται κυρίως στο ότι κατά τη διέλευση των ασφαλτικών καταλοίπων από τους καυστήρες μεταβάλλεται η γωνία εκτοξεύσεως του πετρελαίου από τους καυστήρες και το βάθος διεισδύσεως στο θάλαμο καύσεως, με συνέπεια να παρατηρούνται θερμοκρασίες υψηλότερες από τις κανονικές.

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

- 1) ***Me καλύτερη σχεδίαση και κατασκευή των μηχανών***, κυρίως στους παρακάτω τομείς:
  - Στο σύστημα εγχύσεως του καυσίμου.
  - Στο σχήμα και τις διαστάσεις του θαλάμου καύσεως.
  - Στη θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα, με κατάλληλη προθέρμανση.
  - Στη βελτίωση των στροβιλοφυσητήρων, ώστε να παρέχουν περισσότερο αέρα και μάλιστα με κατάλληλο στροβιλισμό, ώστε να εξασφαλίζει καλύτερη καύση.
  - Στη χρησιμοποίηση καλύτερης ποιότητας υλικών για την κατασκευή των εμβόλων, των ελατηρίων, των χιτωνίων, των βαλβίδων κλπ.
- 2) ***Me τη βελτίωση της ποιότητας των λιπαντικών***, κυρίως ως προς τις ακόλουθες ιδιότητες:
  - ***Καλύτερη και αποτελεσματικότερη αντρρυπαντικότητα***, ώστε να απομακρύνονται εύκολα όλα τα ανθρακούχα κατάλοιπα που αποβάλλονται από τα καύσιμα. Αυτό κατορθώνεται με ενίσχυση των λιπαντελαίων με περισσότερα αντιρρυπαντικά πρόσθετα (detergents) (παράγρ. 17.4.5).
  - ***Μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα***, για να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά οι αυξημένες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση των βαριών καυσίμων. Για το σκοπό αυτό τα λιπαντικά των εδράνων ενισχύονται με αντιοξειδωτικά πρόσθετα, που εμποδίζουν την αλλοίωσή τους από την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών.
  - ***Αυξημένη αλκαλικότητα***, αρκετή ώστε να εξουδετερώνεται όλο το θειικό οξύ που παράγεται από την καύση των θειούχων ενώσεων που περιέχουν τα βαριά καύσιμα. Η τιμή του TBN προκειμένου για κυλινδρέλαια κυμαίνεται σήμερα γύρω στο 70, με τάση να φθάσει το 100. Στις μηχανές με ζύγωμα, όταν έχουν κοινό δίκτυο λιπάνσεως για τους κυλίνδρους και για τα έδρανα, η ολική αλκαλικότητα του λιπαντελαίου (TBN) κυμαίνεται από 25 ως 30.

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

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

- α) Σχηματισμό γαλακτωμάτων με το νερό, που αναπόφευκτα αναμιγνύεται με το λάδι. Από τα γαλακτώματα αυτά το νερό δύσκολα αποχωρίζεται, πράγμα που είναι εντελώς ανεπιθύμητο για τη μηχανή.
- β) Δυσχέρειες στο φιλτράρισμα του λαδιού, που οφείλονται στην επίδραση των αλκαλικών προσθέτων στα προϊόντα της οξειδώσεως, στα προϊόντα της επιδράσεως του νερού και στο σχηματισμό γαλακτώματος.
- γ) Υδρόλυση των χημικών προσθέτων, από την οποία παράγονται ανόργανα συστατικά (π.χ. ασβεστίου) που στα αλκαλικά πρόσθετα υπήρχαν σε μορφή οργανομεταλλικών ενώσεων. Με την υδρόλυση επέρχεται μια πολύ γρήγορη μείωση του αριθμού βάσεως (TBN) του λιπαντικού, και έτσι η εξουδετέρωση των οξίνων συστατικών των καυσαερίων ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  κλπ.) είναι αμφίβολη.

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

- **Αντοχή στην πίεση**, που οφείλεται στα υψηλά φορτία των συγχρόνων αργοστρόφων μεγάλης ιπποδυνάμεως ναυτικών πετρελαιομηχανών. Από την ιδιότητα αυτή εξαρτάται η διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης στα λιπανόμενα μέρη της μηχανής. Και η ιδιότητα αυτή εξασφαλίζεται με την προσθήκη καταλλήλων χημικών προσθέτων.

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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### ΑΛΛΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΛΙΠΑΝΣΕΩΣ

#### 21.1 Λίπανση ατμοστροβίλων.

Τα κυριότερα μέρη ενός ατμοστροβίλου που λιπαίνονται από το σύστημα λιπάνσεως της εγκαταστάσεως είναι:

- Τα **έδρανα**, στα οποία στηρίζεται ο στρόβιλος και τα οποία φέρουν το κύριο μέρος του φορτίου.
- Οι **ωστικοί τριβείς**.
- Οι **μειωτήρες των στροφών** (όταν υπάρχουν).
- Ο **αυτόματος ρυθμιστής στροφών** (φυγοκεντρικός).

Η λίπανση γίνεται με ειδικό ορυκτέλαιο: **το λάδι ατμοστροβίλων ή τουρμπινέλαιο**, του οποίου τα κύρια χαρακτηριστικά είναι:

- a) Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, τις οποίες το τουρμπινέλαιο συναντά μέσα στο δίκτυο.
- b) Αντοχή στην οξείδωση, ώστε να αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά.
  - Η αύξηση της οξύτητας του λαδιού, άρα και της διαβρωτικότητάς του,
  - Η αύξηση του ιεζώδους από τα προϊόντα πολυμερισμού και
  - Ο σχηματισμός ιλύος (λάσπης) που θα μπορούσε να δυσχεράνει τη λειτουργία των φίλτρων.

Η αντοχή σε οξείδωση περιγράφεται στην παράγραφο 18.8.

- γ) Αντίδραση στο νερό και ειδικότερα απροθυμία σχηματισμού γαλακτώματων με το νερό. Επειδή πάντως, ο σχηματισμός γαλακτώματος των τουρμπινέλαιών με το νερό είναι αναπόφευκτος, θα πρέπει το τουρμπινέλαιο να έχει την ιδιότητα να απογαλακτώνεται γρήγορα, δηλαδή να διαχωρίζονται γρήγορα και αποτελεσματικά οι δύο φάσεις: το νερό και το λάδι. Η δοκιμή απογαλακτωματώσεως περιγράφεται στην παράγραφο 18.14.

Τις απαιτήσεις αυτές, καθώς και άλλες με μικρότερη σημασία, καλύπτουν οι προδιαγράφες των τουρμπινέλαιών. Ενδεικτικές τιμές των χαρακτηριστικών που καθορίζουν οι διάφορες προδιαγραφές, αναγράφονται στον πίνακα 21.1.1.

Το σύστημα λιπάνσεως, που συνήθως εφαρμόζεται στον ατμοστρόβιλο, είναι η βιασμένη (αναγκαστική) λίπανση, με κυκλοφορία του λαδιού με αντλία. Το δίκτυο λιπάνσεως, όπως εικονίζεται στο σχήμα 19.1 αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη:

- Δεξαμενή χρήσεως (καθαρού λαδιού).
- Αντλία.
- Ψυγείο.
- Δεξιμενή επιστρεφόμενου λαδιού.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.1.1**  
**Προδιαγραφές τουρμπτνελαίων (Ενδεικτικές τιμές)**

Κύρια χαρακτηριστικά	Όρια τιμών
Εμφάνιση	διαυγής
Αντίδραση	ουδέτερη
Αριθμός εξουδετερώσεως (max)	0,20
Διάβρωση με παρουσία θαλάσσιου νερού	αρνητική
Χρόνος για πλήρη απογαλάκτωση (max)	30 min
Συντελεστής αντοχής	0,9
Νερό (max)	0,1%
Σημείο αναφλέξεως (min)	180°C
Σημείο ροής (max)	– 5°C
IΣώδες σε 130°F, SSU	180 - 210
IΣώδες σε 130 cSt	38 - 45
Δοκιμή οξειδώσεως. Ελάχιστος χρόνος για αύξηση του αριθμού εξουδετερώσεως μέχρι 2 mg/g	1000 ώρες

— Σύστημα καθαρισμού, που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο δεξαμενές και περιλαμβάνει τα φίλτρα και το φυγοκεντρικό καθαριστήρα.

Ένας από τους αγωγούς λιπάνσεως καταλήγει στο μειωτήρα, που τον ραντίζει, με διασκορπισμό, σε όλο το πλάτος των οδοντωτών τροχών με ειδικά ακροφύσια. Το υπόλοιπο λάδι οδηγείται στα έδρανα του στροβίλου, όπου και εκπληρώνει την κύρια αποστολή του, δηλαδή: Τη μείωση των τριβών και την απαγωγή της θερμότητας, που προέρχεται από την τριβή και από τη θερμότητα, που μεταδίδεται με αγωγιμότητα από τον άξονα.

Το συνολικό ποσό της θερμότητας που απάγεται μ' αυτόν τον τρόπο από το λιπαντικό είναι σημαντικό και υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί στο  $\frac{1}{3}$  περίπου της ιπποδυνάμεως της μηχανής.

Τα παραπάνω ισχύουν για την περίπτωση κατά την οποία τα έδρανα και οι μειωτήρες του στροβίλου λιπαίνονται με το ίδιο λιπαντικό, με ενιαίο σύστημα λιπάνσεως, πράγμα που έχει σαν πλεονέκτημα την απλότητα της όλης διαδικασίας λιπάνσεως. Είναι όμως δυνατόν τα έδρανα να λιπαίνονται με ιδιαίτερο δίκτυο, ξεχωριστά από τη λίπανση των μειωτήρων. Στην περίπτωση αυτή τα λιπαντικά των δύο δικτύων διαφέρουν. Για τα έδρανα χρησιμοποιείται λεπτότερο λάδι, γιατί έχουμε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (3000-10000 rpm), χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς το δείκτη ΙΣώδους. Το λάδι αυτό πρέπει να είναι ανθεκτικό στην οξειδώση

και να απογαλακτώνεται εύκολα, γιατί η επαφή του με ατμό ή συμπύκνωμα είναι αναπόφευκτη. Για τους μειωτήρες απαιτείται λάδι με μεγαλύτερο ιξώδες, ενισχυμένο με πρόσθετα πολύ υψηλών πίεσεων (extreme pressure) καθώς και με αντιδιαβρωτικά πρόσθετα για την προστασία των δοντιών από τον κίνδυνο διαβρώσεων.

Όταν υπάρχει ενιαίο σύστημα λιπάνσεως των ατμοστροβίλων, πρέπει το λιπαντικό να συνδυάζει όλες τις παραπάνω ιδιότητες. Έτσι καταλήγομε σε τουρμπινέλαια με πολύ υψηλή ποιότητα, άρα πολύ πιο δαπανηρά του ενιαίου συστήματος λιπάνσεως. Τέτοιο είναι π.χ. το τουρμπινέλαιο που χρησιμοποιείται σε όλα τα πολεμικά πλοία που κινούνται με ατμοστροβίλους, γνωστό ως 2190 TEP (turbine, extreme pressure), που ισχύει για όλες τις χώρες του NATO με τον κωδικό αριθμό 0-250, και καλύπτεται από την προδιαγραφή MIL-L-17331 [πίνακας 21.1.2].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.1.2**  
**Προδιαγραφή για τουρμπινέλαια**

Κύρια χαρακτηριστικά	Όρια τιμών	Μέθοδος δοκιμής
Αριθμός εξουδετερώσεως (max)	0,30	ASTM D 974, παράγρ. 18.9
Διάβρωση με παρουσία θαλάσσιου νερού	αρνητική	ASTM D 665
Δοκιμή διαβρώσεως με ταινία χαλκού (max)	1	ASTM D 130
Συντελεστής αντοχής (Work factor) (max)	0,9	FS 791, Μέθοδος 3452
Νερό (max)	0	ASTM D 95
Σημείο αναφλέξεως (min)	350°F	ASTM D 92
Σημείο ροής	20°F	ASTM D 97
Ιξώδες α) σε 100°F (cSt) (38°C)	82 - 110	ASTM D 445
β) σε 210°F (cSt) (100°C)	8,2 (min)	
Απογαλάκτωση σε 130°F (max)	30 min	ASTM D 1401, παράγρ. 18.14
Αντοχή σε οξείδωση (min)	1000 ώρες	ASTM D 943, παράγρ. 18.8
Δοκιμή φθοράς (Wear test) Μέγιστη διαμ. γραμμώσεων	0,45 mm	F.S. 791, μέθοδος 6508 (παρατήρηση 1)
Αντοχή σε φορτίο (Load carrying capacity) (min)	2200 PSI (150 bar)	F.S. 791, μέθοδος 6508 (παρατήρηση 2)

**Παρατήρηση 1.**

Η δοκιμή φθοράς (wear test) είναι μια τυποποιημένη μηχανική δοκιμή που γίνεται σε ειδική συσκευή. Το δείγμα του λαδιού μέσα στη συσκευή υπόκειται σε διαρκώς αυξανόμενα φορτία, ώσπου να κολλήσουν οι χαλύβδινες σφαίρες της συσκευής (four ball machine). Τότε μετρούνται οι διάμετροι των αυλακώσεων που παρατηρούνται στις χαλύβδινες σφαίρες. Ο μέσος όρος των διαμέτρων αυτών,

σύμφωνα με την προδιαγραφή, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,45 mm.

### **Παρατήρηση 2.**

Η αντοχή σε φορτίο (load carrying capacity) ελέγχεται σε μια τυποποιημένη συσκευή με οδοντώντος τροχούς (Ryder gear machine) κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Το όριο των πιέσεων, που καθορίζει η προδιαγραφή, εξασφαλίζει την αντίσταση του τουρμπινελαίου κατά τη λειτουργία του στους μειωτήρες.

## **21.2 Λίπανση παλινδρομικών ατμομηχανών.**

Η λίπανση των παλινδρομικών ατμομηχανών διακρίνεται σε:

- α) Εσωτερική Λίπανση,** που περιλαμβάνει τη λίπανση των κυλίνδρων και των συρτών.
- β) Εξωτερική Λίπανση,** που αναφέρεται κυρίως στη λίπανση των εδράνων και των αρθρώσεων.

### **21.2.1 Εσωτερική Λίπανση.**

Η εσωτερική λίπανση, δηλαδή η λίπανση των κυλίνδρων, γίνεται τροφοδοτώντας τους με λάδι, που διαβιβάζεται σ' αυτούς με τρεις τρόπους:

- Στον ατμαγωγό σωλήνα. Είναι ο συνηθέστερος και αποτελεσματικότερος τρόπος λιπάνσεως.
- Στον ατμοθάλαμο.
- Κατευθείαν στα έμβολα, τις βαλβίδες και τους στυπειοθλίπτες.

Μπορεί ο διωστήρας του εμβόλου να λιπαίνεται συμπληρωματικά από ειδική διάταξη.

Η ανάμιξη του λιπαντικού με τον ατμό γίνεται με διασκορπιστικές διατάξεις (atomizers), στις οποίες το λάδι καταθλίβεται από την αντλία του. Μετά την ανάμιξη το λάδι παρασύρεται από τον ατμό με μορφή λεπτών σταγονιδίων και οδηγείται στα σημεία που πρέπει να λιπανθούν.

Έτσι ένα μέρος του λαδιού παραμένει στο συμπύκνωμα και οδηγείται στο λέβητα, πράγμα που είναι ανεπιθύμητο. Πρέπει, συνεπώς, το λάδι να διαχωρίζεται από τον ατμό μετά την εκτόνωσή του ή από το συμπύκνωμα. Ο διαχωρισμός του λαδιού από τον ατμό ή το συμπύκνωμα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως:

- **Με διαχωριστές ατμού** (steam separators) ή **με ατμοπαγίδες** που τοποθετούνται στη γραμμή εκτονώσεως του ατμού. Εκεί ο ατμός επιταχύνεται και ελίσσεται σε απότομες καμπές, οπότε απαλλάσσεται από το λάδι, που προσκρούει στα τοιχώματα των καμπών ή άλλων εμποδίων.
- **Με ειδικά απορροφητικά φίλτρα**, με τα οποία διοχετεύεται το μίγμα λαδιού-συμπυκνώματος. Το λάδι συγκρατείται από τα φίλτρα από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί με κατάλληλους διαλύτες.
- **Με ειδική κατεργασία** του μίγματος λαδιού-συμπυκνώματος με αργιλώδεις ύλες. Το λάδι, που αιωρείται με μορφή γαλακτώματος, προστροφάται από τις ύλες αυτές και κατακαθίζει, οπότε και αποχωρίζεται εύκολα.

Οι τρόποι αυτού του διαχωρισμού έχουν καλά αποτελέσματα, όταν πρόκειται για αριγή κυλινδρέλαια. Στα σύνθετα κυλινδρέλαια, που περιέχουν και ζωικά και ουτικά λίπη, ο διαχωρισμός δεν είναι εύκολος.

Σε μερικές περιπτώσεις η εσωτερική λίπανση των παλινδρομικών μηχανών περιορίζεται σ' αυτήν που γίνεται μόνο με το συμπύκνωμα που προέρχεται από την υγροποίηση του ατμού στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Έτσι το συμπύκνωμα παραμένει καθαρό, αλλά η φθορά των χιτωνίων από την τριβή είναι πολύ πιο γρήγορη.

Άλλο πρόβλημα κατά την εσωτερική λίπανση είναι η έκπλυση του λιπαντελαίου από τον ατμό ή το συμπύκνωμα. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τα λεγόμενα **σύνθετα κυλινδρέλαια**. Πρόκειται για ορυκτέλαια που περιέχουν ζωικά ή φυτικά λίπη σε αναλογία μέχρι 10%. Τα σύνθετα κυλινδρέλαια έχουν πολύ καλύτερη πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες που λιπαίνουν και έτσι εξουδετερώνεται η τάση εκπλύνσεως του λαδιού από το νερό ή τον ατμό.

Τα σύνθετα κυλινδρέλαια χρησιμοποιούνται μόνο για τη λίπανση ατμομηχανών που εργάζονται με κορεσμένο ατμό, γιατί με τον κορεσμένο ατμό έχομε χαμηλές θερμοκρασίες, που δεν επηρεάζουν τα ζωικά λίπη των συνθέτων κυλινδρελαίων. Είναι ακατάλληλα για την περίπτωση που ο ατμός είναι υπέρθερμος, γιατί στον υπέρθερμο ατμό, οι σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν αποσύνθεση των ζωικών ή φυτικών λαδιών. Τα προϊόντα της αποσυνθέσεως αυτής είναι επικίνδυνα για τον κύλινδρο λόγω διαβρώσεων.

Γενικότερα, όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει ο ατμός που χρησιμοποιείται σε μια ατμομηχανή, τόσο λιγότερα ζωικά ή φυτικά λίπη πρέπει να περιέχονται στο λιπαντικό. Σχετικός είναι ο πίνακας 21.2.1, στον οποίο περιέχονται επίσης οι αντίστοιχες τιμές ιξώδους. Στον πίνακα 21.2.2 παρέχονται τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κυλινδρελαίων παλινδρομικών ατμομηχανών.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.2.1**  
**Λιπαντικά ατμοκυλίνδρων**

Είδος ατμού	Ιξώδες σε 210°F		Αναλογία φυτικού ή ζωικού ελαίου %
	SSU	cSt	
Κορεσμένος με πίεση μέχρι 10 bar	120-150	25-32	8-10
Κορεσμένος με πίεση 10-15 bar	140-180	30-38	5-8
Κορεσμένος με πίεση 15-30 bar	170-200	36-42	2-5
Κορεσμένος με πίεση άνω των 30	200-300	42-64	1-3
Υπέρθερμος με θερμοκρασία κάτω από 450°F	100-200	20-42	4-6
Υπέρθερμος με θερμοκρασία 450-550°F	180-230	58-49	2-5
Υπέρθερμος με θερμοκρασία 550-600°F	220-300	47-64	μέχρι 2
Υπέρθερμος με θερμοκρασία άνω των 600°F	250-350	54-75	μηδέν

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.2.2**  
**Προδιαγραφή κυλινδρελάκων**

α/α	Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	Αμιγή κυλινδρέλαια			Σύνθετα κυλινδρέλαια
		SAE 90	SAE 140	SAE 250	
1)	α) Ιξώδες cSt, σε 210°F (100°C) β) Ιξώδες cSt, σε 130°F (54°C)	135-165	180-220	220-240	— 80-90
2)	Δείκτης ιξώδους	—	—	90	—
3)	Σημείο αναφλέξεως, °C min	250	275	300	250
4)	Σημείο ροής, °C max	15	15	15	15
5)	Εξανθράκωμα %, max	3	3,25	3,25	2
6)	Τέφρα %, max	0,05	0,05	0,05	0,05
7)	Είδος και αναλογία λιπαρού ελαίου	—	—	—	βόειο λίπος 5-10%
8)	Αριθμός εξουδετερώσεως, max	0,5	0,5	0,5	1
9)	Αριθμός κατακρημνίσεως, max	0	0	0	0,05

### 21.2.2 Εξωτερική λίπανση.

Η εξωτερική λίπανση των παλινδρομικών ατμομηχανών περιλαμβάνει κυρίως τη λίπανση των εδράνων, των βάκτρων και των αρθρώσεων. Η λίπανση γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

- Με πίεση (αναγκαστική κυκλοφορία).
- Με εκτίναξη.
- Με τοπικά ανεξάρτητα συστήματα λιπάνσεως.

Τα λιπαντικά είναι συνήθως κυλινδρέλαια, που σχηματίζοντας γαλάκτωμα με το νερό εξασφαλίζουν καλύτερη αντοχή της λιπαντικής μεμβράνης.

#### — Λίπανση με πίεση.

Η λίπανση εδράνων και βάκτρων με πίεση, δηλαδή με βιασμένη (αναγκαστική) κυκλοφορία, εφαρμόζεται στις ταχύστροφες ατμομηχανές, που σε πολλά σημεία έχουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των πετρελαιομηχανών. Γι' αυτό και το σύστημα αυτό λιπάνσεως είναι ανάλογο με το χρησιμοποιούμενο στις μηχανές Diesel. Η τροφοδότηση γίνεται με αντλία από ελαιολεκάνη (υγρή ή ξηρή) που καταθλίβει το λάδι στα σημεία λιπάνσεως.

Το πρόβλημα αναμίζεως του λαδιού με νερό αντιμετωπίζεται με τους εξής τρόπους:

- Η αναρρόφηση της αντλίας κυκλοφορίας του λαδιού δεν πρέπει να βρίσκεται στο κατώτερο σημείο της ελαιολεκάνης, για να μη παρασύρεται το νερό που συγκεντρώνεται στον πυθμένα.

- Η στάθμη του νερού που συγκεντρώνεται πρέπει να παρακολουθείται συνέχεια στον υδροδείκτη της ελαιολεκάνης (κάρτερ).
- Να αποστραγγίζεται συχνά το νερό από τον εξυδατωτικό κρουνό που είναι τοποθετημένος στο κάτω μέρος του κάρτερ.
- Στην κατάθλιψη της αντλίας κυκλοφορίας τοποθετούνται φίλτρα, για τον καθαρισμό του λαδιού.

### **— *Τοπική λίπανση.***

Εφαρμόζεται στα έδρανα των μεγάλων άκρων ανοικτών ατμομηχανών καθώς επίσης και στα έδρανα των βάκτρων και τα έκκεντρα των βαλβίδων. Χρησιμοποιούνται συνήθως σταγονομετρικά λιπαντήρια ή λιπαντήρια με θρυαλίδα, που περιγράφονται στην παράγραφο 19.2.

## **21.3 Λίπανση ψυκτικών μηχανών.**

Η λίπανση των ψυκτικών μηχανών αναφέρεται στους συμπιεστές, που αποτελούν άλλωστε και το βασικότερο τμήμα μιας ψυκτικής εγκαταστάσεως.

Στους συμπιεστές η λίπανση διακρίνεται σε **εσωτερική** και **εξωτερική**. Στους παλινδρομικούς συμπιεστές, η εσωτερική λίπανση αναφέρεται στα έμβολα, ενώ στους περιστροφικούς συμπιεστές αναφέρεται στις επαφές των περιστρεφομένων μερών με το ακίνητο περίβλημα.

Η εξωτερική λίπανση αφορά τη λίπανση των εδράνων.

### **21.3.1 *Εσωτερική λίπανση.***

Τα λιπαντέλαια που χρησιμοποιούνται για την εσωτερική λίπανση των συμπιεστών των ψυκτικών μηχανών, εκτός από τις γενικές ιδιότητες λιπαντικότητας που ισχύουν για όλα τα λιπαντικά (ιξώδες, αριθμός εξουδετερώσεως, αντοχή σε οξείδωση, αντιδιαβρωτικότητα κλπ.), πρέπει ακόμα να έχουν και τις παρακάτω ιδιότητες.

- a) Να μην περιέχουν νερό. Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε νερό είναι 0,02% για δύο λόγους:
  - Πολλά ψυκτικά αέρια ( $\text{NH}_3 \text{ SO}_2$ ) γίνονται διαβρωτικά όταν υπάρχει νερό.
  - Μπορεί να σχηματισθεί πάγος, που αποτίθεται στις βαλβίδες εκτονώσεως ή στα στοιχεία του ψυγείου και μειώνει την απόδοση της μηχανής.
- β) Το σημείο ροής να μην υπερβαίνει την ελάχιστη θερμοκρασία του κυκλώματος ψύξεως, διαφορετικά αποχωρισμός παραφινούχων συστατικών από τη μάζα του λαδιού μπορεί να δυσχεράνει τη ροή στο δίκτυο λιπάνσεως ή και να φθάσει ως την απόφραξή του.

Τις απαιτήσεις αυτές ικανοποιούν λάδια με ναφθενική βάση, με μικρό ιξώδες, τα οποία, πριν από την εισοδό τους στο συμπιεστή της ψυκτικής εγκαταστάσεως, διέρχονται από φίλτρα πιέσεως για τη συγκράτηση και των τελευταίων ιχνών υγρασίας και παραφίνης. Τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους είναι:

- Ιξώδες 4-5 cSt (σε 0°C).
- Σημείο ροής -20°C (max).
- Σημείο αναφλέξεως (Α.Δ.) 190°C (min).

Τα λάδια της κατηγορίας αυτής δεν περιέχουν χημικά πρόσθετα.

### 21.3.2 Εξωτερική λίπανση.

Για την εξωτερική λίπανση χρησιμοποιούνται τα συνηθισμένα μηχανέλαια των ΜΕΚ (SAE 30 DG ή DS) που λιπαίνουν τα έδρανα με ιδιαίτερο δίκτυο. Είναι δόμας δυνατόν η λίπανση των εδράνων να είναι κοινή με την εσωτερική λίπανση με κοινό δίκτυο.

Γενικότερα, για την επιλογή του κατάλληλου λιπαντικού για τις ψυκτικές μηχανές, πρέπει κατά κανόνα να τηρούνται οι υποδείξεις του κατασκευαστή. Η επαφή του λιπαντικού με τα ψυκτικά αέρια που συχνά είναι πολύ διαβρωτικά ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ) απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, γιατί και το λάδι μπορούν να αλλοιώσουν και βλάψες στη μηχανή να προκαλέσουν (διαβρώσεις).

Σημεία που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στη λίπανση των ψυκτικών μηχανών είναι:

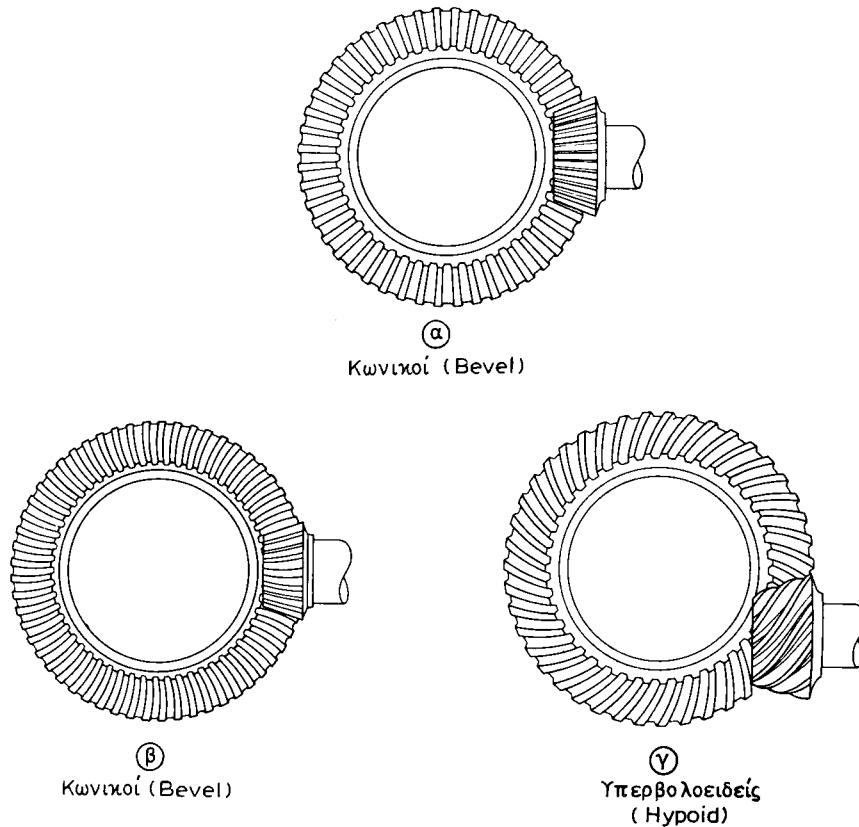
- α) Σχηματισμός ιλύσ (λάσπης).** Είναι συχνά αποτέλεσμα της επιδράσεως των ψυκτικών αερίων στο λιπαντικό και κυρίως του  $\text{SO}_2$ , λόγω της έντονης χημικής δραστικότητάς του. Απαιτείται συχνή παρακολούθηση του λαδιού και όταν ο αριθμός κατακρημνίσεως (παράγρ. 18.13) υπερβαίνει τα προκαθορισμένα όρια, το λάδι πρέπει να αντικαθίσταται.
- β) Αποθέσεις στο σύστημα ψύξεως.** Προέρχονται συνήθως από λάδια με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε παραφινικά συστατικά. Τα συστατικά αυτά μπορεί να αποτελούν στο εσωτερικό της αυλακώσεως, όπου σχηματίζουν μονωτικό στρώμα που μειώνει την ψυκτική απόδοση της εγκαταστάσεως. Η μέτρηση του σημείου ροής, που για τις συνηθισμένες περιπτώσεις δεν πρέπει να υπερβαίνει τους  $-20^{\circ}\text{C}$ , παρέχει ικανοποιητική ασφάλεια από ένα τέτοιο ενδεχόμενο.
- γ) Υπερβολική κατανάλωση.** Οφείλεται σε φθορές των εμβόλων, ελατηρίων ή χιτωνίων, που συχνά προέρχονται από κακή λίπανση. Στην περίπτωση αυτή η τιμή του ιξώδους και του δείκτη ιξώδους παίζουν πρωτεύοντα ρόλο. Ιξώδες μικρότερο από το κανονικό δεν εξασφαλίζει τη διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης, ενώ με μεγαλύτερο ιξώδες η εκτίναξη του λιπαντικού στους κυλίνδρους δεν είναι αποτελεσματική.

### 21.4 Λίπανση οδοντωτών τροχών.

Οι οδοντωτοί τροχοί (γρανάζια, gears) είναι μηχανισμοί με τους οποίους μεταδίδεται η κίνηση από έναν άξονα σε έναν άλλο. Αποτελούνται από ζεύγη αξόνων, με τα αντίστοιχα γρανάζια τους τοποθετημένα κατά διάφορους τρόπους. Γνωστότεροι τύποι οδοντωτών τροχών είναι:

- α) Οι **συνηθισμένοι** οδοντωτοί τροχοί, των οποίων τα δόντια και οι άξονες είναι παράλληλοι μεταξύ τους.
- β) Οι **κωνικοί**, στους οποίους οι άξονες είναι κάθετοι μεταξύ τους [σχήμα 21.4(a) και 21.4(b)].
- γ) Οι **ατέρμονες**, που έχουν δόντια ελικοειδή.
- δ) Οι **υπερβολοειδείς** (hypoids) που εικονίζονται στο σχήμα 21.4(γ)

Η λίπανση των οδοντωτών τροχών έχει σκοπό τη μείωση των τριβών που απύσσονται κατά την κίνηση των δοντιών μεταξύ τους. Οι τριβές αυτές είναι συν-



Σχ. 21.4

δυασμός τριβών κυλίσεως και τριβών ολισθήσεως. Κατά την κίνηση αυτή αναπτύσσονται πολύ μεγάλες πιέσεις, ιδίως στους υπερβολοειδείς (hypoid gears). Για αυτό τα λιπαντικά οδοντωτών τροχών στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να είναι ενισχυμένα με κατάλληλα πρόσθετα, που εξασφαλίζουν την αντοχή τους στις μεγάλες πιέσεις.

Η λίπανση των οδοντωτών τροχών μπορεί να γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Με εκτίναξη.
- Με εμβάπτιση του ενός τροχού στο λάδι.
- Με ραντισμό στο σημείο επαφής.
- Με σύστημα aerosol, δηλαδή με διασκορπισμό του λαδιού υπό μορφή πολύ λεπτών σταγονιδίων, σε ρεύμα αέρα υπό πίεση. Έτσι επιτυγχάνεται και ικανοποιητική ψύξη.

Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται για τους οδοντωτούς τροχούς παράγονται από εξευγενισμένα ορυκτέλαια και καλύπτουν μια πολύ μεγάλη περιοχή της κλίμακας ξέρδους, ώστε να αντιμετωπίζονται οι ποικίλες συνθήκες λιπάνσεως των οδοντωτών τροχών.

Οι βασικές απαιτήσεις των λιπαντικών για οδοντωτούς τροχούς είναι:

**α) Ιξώδες.**

Η τιμή του επιδρά άμεσα στις συνθήκες λιπάνσεως των γραναζιών. Αν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό έχουμε μεγάλες φθορές στα δόντια των γραναζιών και θορυβώδη λειτουργία. Αντίθετα, με ιξώδες μεγαλύτερο από το κανονικό η κίνηση των τροχών δυσχεραίνεται, με αποτέλεσμα απώλεια έργου και υπερθέρμανση (παράγρ. 16.4). Η τιμή ιξώδους των λιπαντικών που προορίζονται για οδοντωτούς τροχούς καθορίζεται από το είδος του οδοντωτού τροχού, την ταχύτητα περιστροφής και το φορτίο.

Με βάση το ιξώδες τα λιπαντικά των οδοντωτών τροχών κατατάσσονται σε μια κλίμακα, ανάλογη με την κλίμακα SAE, που είναι γνωστή ως κλίμακα AGMA (American Gear Manufacturing Association). Η αντιστοιχία της κλίμακας AGMA προς την τιμή του ιξώδους δίνεται στον πίνακα 21.4.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.4.1**  
**Κατάταξη λιπαντελακών οδοντωτών τροχών**

Κλίμακα AGMA	Τιμή ιξώδους				Παρατηρήσεις	
	Σε 100°F		Σε 210°F			
	SSU	cSt	SSU	cSt		
1	180-240	39-52	—	—	για κωνικούς ή ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς	
2	280-360	60-78	—	—		
3	490-700	106-151	—	—		
4	700-950	150-210	—	—		
5	—	—	80-105	15-21,5		
7 comp.	—	—	125-150	23-32	για ατέρμονες και υπερβολειδείς οδοντωτούς τροχούς	
8 comp.	—	—	150-190	32-42		
8A comp.	—	—	190-250	42-54		

**β) Αντοχή στην οξειδωση.**

Βελτιώνεται με τα κατάλληλα αντιοξειδωτικά πρόσθετα, ώστε να αντιμετωπίζεται ο κίνδυνος οξειδώσεως από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα μεγάλα φορτία.

**γ) Αντοχή σε μεγάλες πέσεις.**

Αντιμετωπίζεται και αυτή με κατάλληλα πρόσθετα (extreme pressure additives) ιδίως για την περίπτωση λιπάνσεως κωνικών οδοντωτών τροχών με υπερβολειδείς άξονες (hypoid gears).

## 21.5 Μονωτικά λάδια.

Χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρικούς μετασχηματιστές κυρίως και γι' αυτό είναι γνωστά ως λάδια μετασχηματιστών. Παρόμοια όμως είναι και τα λάδια που χρησιμοποιούνται στους μεγάλους αυτόματους διακόπτες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Σκοπός των μονωτικών λαδιών είναι:

- Η ψύξη, δηλαδή η απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας.
- Η βελτίωση της μονώσεως του μετασχηματιστή ή διακόπτη.
- Η απόσβεση του τόξου στους διακόπτες.

Στους μετασχηματιστές ποσοστό 1-2% της μετασχηματίζομενης ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, που πρέπει να απομακρύνεται, γιατί οι μονώσεις των σπειρών των μετασχηματιστών σκληρύνονται και καταστρέφονται στις υψηλές θερμοκρασίες. Για την απομάκρυνση αυτής της θερμότητας χρησιμοποιούνται τα λάδια των μετασχηματιστών, στα οποία βαπτίζονται οι μετασχηματιστές. Η εμβάπτιση γίνεται σε κιβώτια με μεταλλικά τοιχώματα, με τα οποία η θερμότητα διοχετεύεται προς την ατμόσφαιρα. Η ψύξη μπορεί να συμπληρώνεται με κυκλοφορία νερού.

Οι ιδιότητες των μονωτικών λαδιών καθορίζονται από ειδικές προδιαγραφές, όπως η αμερικανική προδιαγραφή NV-I-530.

Οι σημαντικότερες απαιτήσεις για τα λάδια αυτά είναι:

#### **α) Διηλεκτρική αντοχή.**

Είναι η σημαντικότερη ιδιότητα των μονωτικών λαδιών, από την οποία εξαρτάται η βασικότερη αποστολή τους: η ηλεκτρική μόνωση του μετασχηματιστή. Η διηλεκτρική αντοχή των μονωτικών λαδιών υπολογίζεται ως εξής: το δείγμα τοποθετείται σε κυκλικό δοχείο πορσελάνης, στου οποίου τα τοιχώματα σε θέση διαμετρική φέρονται κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων καθορίζεται από την προδιαγραφή που ακολουθείται στη συγκεκριμένη μέτρηση (συνήθως 0,1 in ή 2,5 mm). Στα ηλεκτρόδια εφαρμόζεται τάση που αυξάνεται προοδευτικά με τη βοήθεια ρεοστάτη. Ως διηλεκτρική αντοχή καθορίζεται η τιμή της εφαρμοζόμενης τάσεως, όταν εμφανισθεί ρηκτικός σπινθήρας ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Ένα καλής ποιότητας μονωτικό λάδι δεν πρέπει να έχει διηλεκτρική αντοχή μικρότερη από 30000 V.

Η τιμή της διηλεκτρικής αντοχής εξαρτάται από δύο κυρίως παράγοντες: από την παρουσία νερού και από τις ξένες ύλες:

- **Παρουσία νερού.** Η διηλεκτρική αντοχή των μονωτικών λαδιών μειώνεται αισθητά από την παρουσία και μικρών έστω ποσών υγρασίας, όπως φαίνεται από τον πίνακα 21.5.1. Στον πίνακα αυτό φαίνεται η ελάττωση της διηλεκτρικής αντοχής λόγω της παρουσίας νερού, σε σχέση με μονωτικό λάδι που χωρίς ίχνος νερού έχει διηλεκτρική αντοχή 70000 V.
- **Ξένες ύλες.** Οι ξένες ύλες στα λάδια των μετασχηματιστών προέρχονται από τα προϊόντα οξειδώσεως, που σχηματίζουν λάσπη, και από τα μονωτικά υλικά του μετασχηματιστή (βερνίκι), που σε ορισμένες περιπτώσεις προσβάλλονται από το λάδι.

Η παρουσία των ξένων υλών μειώνει τη διηλεκτρική αντοχή, ιδίως όταν συνυπάρχει υγρασία. Με υγρασία π.χ. 0,05% χωρίς ξένες ύλες ή διηλεκτρική αντοχή μειώνεται κατά 35%, ενώ με υγρασία 0,01% και ξένες ύλες σε αναλογία 0,004% η διηλεκτρική αντοχή μειώνεται κατά 90%.

Ο έλεγχος της διηλεκτρικής αντοχής έχει ιδιαίτερη σημασία όχι μόνο για τα αμεταχείριστα μονωτικά λάδια, αλλά και γι' αυτά που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί, των οποίων απεικονίζει την κατάσταση, άρα και τη δυνατότητα για παραπέρα χρησιμοποίησή τους.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21.5.1**  
**Επίδραση της παρουσίας νερού σε μονωτικά λάδια**

Περιεκτικότητα νερού (% κατ' όγκο)	Διηλεκτρική αντοχή (Volt)
0	70000
0,1	22000
0,2	16000
0,3	14000
0,5	12500
0,7	11000
1	10000

**β) Υγρασία.**

Η παρουσία υγρασίας στα μονωτικά λάδια επιδρά άμεσα στη διηλεκτρική σταθερά, της οποίας την τιμή μειώνει αισθητά, όπως δείχνει και ο πίνακας 21.5.1.

Κατά κανόνα τα λάδια μετασχηματιστών δεν πρέπει να περιέχουν καθόλου υγρασία.

**γ) Σημείο αναφλέξεως.**

Δεν πρέπει να είναι κάτω από μία ελάχιστη τιμή, ώστε να περιορίζεται σημαντικά ο κίνδυνος αναφλέξεως από τυχαίο σπινθήρα μέσα στο μετασχηματιστή, όπου αναπτύσσονται σχετικά υψηλές θερμοκρασίες ( $80-100^{\circ}\text{C}$ ). Συνήθως ορίζεται ως ελάχιστη θερμοκρασία αναφλέξεως οι  $145^{\circ}\text{C}$ , γιατί τα λάδια των μετασχηματιστών είναι γενικά λεπτόρρευστα, πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με την ανάγκη επιτεύξεως υψηλοτέρων τιμών σημείου αναφλέξεως.

**δ) Σημείο ροής.**

Καθορίζεται ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία το λάδι πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Κατά κανόνα, το σημείο ροής δεν πρέπει να είναι ανώτερο από  $-30^{\circ}\text{C}$ , ώστε και κατά τους χειμερινούς μήνες οι χαμηλές θερμοκρασίες να μη δυσχεραίνουν την κυκλοφορία του λαδιού, αν ληφθεί υπόψη ότι συχνά τα κιβώτια των μετασχηματιστών και των διακοπών είναι σε υπαίθριους χώρους.

**ε) Ιξώδες.**

Τα μονωτικά λάδια είναι γενικά λεπτόρρευστα με ιξώδες  $40-50 \text{ cSt}$  σε  $40^{\circ}\text{C}$ .

**στ) Αριθμός εξουδετερώσεως.**

Τα λάδια των μετασχηματιστών πρέπει να είναι γενικά ουδέτερα. Όχινη ή αλκαλική αντίδραση σημαίνει ιονισμό, που μειώνει την μονωτικότητα του λαδιού και προκαλεί φαινόμενα διαβρώσεως. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή αριθμού εξουδετερώσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,2 (παράγρ. 18.9).

**ζ) Πτητικότητα.**

Οι υψηλές σχετικά θερμοκρασίες που επικρατούν στα κιβώτια των μετασχημα-

τιστών προκαλούν εξάτμιση μέρους των συστατικών των λαδιών. Το εξατμιζόμενο ποσοστό υπό ορισμένες συνθήκες δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,6%.

### **η) Αντοχή στην οξείδωση.**

Έχει ιδιαίτερη σημασία για τα λάδια των μετασχηματιστών, γιατί αν δεν είναι ικανοποιητική τότε παράγονται:

- α) δξινα και συνεπώς διαβρωτικά για το μετασχηματιστή προϊόντα, που υποβοηθούν τον πολυμερισμό.
- β) Παράγονται επίσης προϊόντα πολυμερισμού, που σε μορφή λάσπης επικάθονται στις επιφάνειες των περιελίξεων και του κιβωτίου των μετασχηματιστών, δυσχεραίνοντας την κυκλοφορία του λαδιού. Τα προϊόντα αυτά παρεμποδίζουν την ψύξη, γιατί είναι κατά κανόνα υλικά δυσθερμαγγαγά.

Η οξείδωση των μονωτικών λαδιών και οι συνέπειές της επιταχύνονται από τη συνεχή επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, από τις υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να αναπτύσσονται και από την επαφή με τα μεταλλικά μέρη του μετασχηματιστή.

Η αντοχή των μονωτικών λαδιών στην οξείδωση ελέγχεται διαβιβάζοντας υπό ορισμένες συνθήκες αέρα σε δείγμα λαδιού, για ορισμένο χρόνο, τον οποίο καθορίζουν οι προδιαγραφές. Το ποσό της λάσπης που σχηματίζεται από την οξείδωση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που καθορίζουν οι προδιαγραφές. Οι συνθήκες της δοκιμής είναι πολύ δυσμενέστερες από εκείνες που επικρατούν στην πράξη, ώστε να συντομεύεται η διάρκεια της δοκιμής. Παρόλα αυτά είναι πολύ χρήσιμες, γιατί παρέχουν ενδείξεις και συγκριτικά στοιχεία για την πραγματική αντοχή των λαδιών αυτών στην οξείδωση, κατά τη χρήση τους.

### **21.6 Λάδια κοπής.**

Για την αντιμετώπιση της τριβής και της θερμότητας, που αναπτύσσονται κατά την εκτέλεση μηχανουργικών εργασιών κοπής, είναι απαραίτητη η χρήση καταλλήλων λιπαντικών, που περιβρέχουν το κατεργαζόμενο αντικείμενο στο σημείο κοπής. Κυρίως τα λιπαντικά αυτά χρησιμοποιούνται στους τόρνους, τρυπάνια, σιδηροπρίονα και άλλες παρόμοιες εργαλειομηχανές.

Τα λάδια κοπής είναι συνήθως γαλακτώματα ορυκτελαίων με νερό, που έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, και συνεπώς καλές ψυκτικές ιδιότητες. Τα γαλακτώματα αυτά περιέχουν λάδι 5-10%, και ειδικά πρόσθετα που αυξάνουν την αντοχή στην πίεση.

Σε ορισμένες βαριές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αυτούσια ειδικά ορυκτέλαια ενισχυμένα με πρόσθετα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ

#### 22.1 Αίτια των αλλοιώσεων.

Η προοδευτική αλλοίωση της ποιότητας των λιπαντικών κατά τη χρήση τους είναι ως ένα βαθμό, αναπόφευκτη και επιβάλλει τη συνεχή επιτήρηση της ποιότητάς τους, από την οποία εξαρτάται η ίδια η ζωή της μηχανής.

Τα αίτια των αλλοιώσεων των λιπαντελαίων μπορεί να καταταγούν σε δυο κατηγορίες:

- Σε φυσιολογικά αίτια και
- σε αίτια, που οφείλονται σε αντικανονική ή ανώμαλη λειτουργία της μηχανής.

#### 22.1.1 Φυσιολογικά αίτια αλλοιώσεως των λιπαντικών.

Παρά την εξαιρετική σταθερότητα του μορίου των λιπαντελαίων, που την οφείλουν στη δομή τους (υδρογονάνθρακες), η βαθμιαία αλλοίωσή τους είναι αναπόφευκτη και οφείλεται στις συνθήκες κάτω από τις οποίες το λιπαντικό επιτελεί τον προορισμό του.

Τα κυριότερα αίτια της φυσιολογικής αλλοιώσεως είναι:

##### 1) Η επαφή με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα.

Αυτή προκαλεί βαθμιαία οξείδωση του μορίου των υδρογονανθράκων από την οποία σχηματίζονται οξυγονούχες ενώσεις με όξινο χαρακτήρα, ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται πολυμερισμός του μορίου τους. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη διαβρωτικών δράσεων στα μέταλλα, και το σχηματισμό ιλύος (λάσπης), που επιδρούν στη λιπαντικότητα του λαδιού.

Η έκταση και ο βαθμός των αλλοιώσεων αυτών εξαρτάται από τις συνθήκες, κάτω από τις οποίες το λιπαντικό εργάζεται, καθώς και από την ποιότητά του. Το πρόβλημα της οξειδώσεως των λιπαντικών αντιμετωπίζεται με τα κατάλληλα αντιοξειδωτικά πρόσθετα, που επιβραδύνουν ή και αναστέλλουν τελείως την οξείδωση. Αν η αλλοίωση προχωρήσει πέρα από ορισμένο βαθμό, όπως συνάγεται κυρίως από την αύξηση της οξύτητας του ιξώδους και του αριθμού κατακρημνίσεως (παράγρ. 18.13), το λάδι πρέπει να αντικαθίσταται.

##### 2) Επίδραση θερμοκρασίας.

Οι υψηλές θερμοκρασίες τις οποίες το λιπαντικό συναντά κατά τη διαδρομή του στο δίκτυο λιπάνσεως και προ πάντων η διαρκής αυξομείωση της θερμοκρασίας,

συχνά επιταχύνουν την αλλοίωση από την οξειδωτική δράση του αέρα και αυξάνουν τις συνέπειες που αναφέρθηκαν παραπάνω και μάλιστα σε συντομότερο χρονικό διάστημα.

### **3) Καταλυτική δράση των μετάλλων.**

Τα μεταλλικά μέρη των μηχανών με τα οποία το λάδι έρχεται σε επαφή, καθώς και τα μεταλλικά ρινίσματα από τις εσωτερικές φθορές της μηχανής, επιταχύνουν επίσης την αλλοίωση του λαδιού.

Όλα τα παραπάνω προϊόντα από την αλλοίωση του λιπαντικού είναι αδιάλυτα στο λάδι και είτε κυκλοφορούν ως αιώρημα σ' αυτό είτε καθιζάνουν ως λάσπη, είτε τέλος υφίστανται θερμική διάσπαση (κυρίως στις MEK) από την οποία σχηματίζονται εξανθρακώματα.

Τα πρόσθετα (additives) με τα οποία αντιμετωπίζονται οι ανωμαλίες από τις παραπάνω αλλοιώσεις είναι:

- **Αντιοξειδωτικά πρόσθετα** (anti-oxidants). Παρεμποδίζουν την αρχική οξείδωση ή την εξέλιξή της στο λάδι από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο και τους άλλους οξειδωτικούς παράγοντες (θερμοκρασιακές εναλλαγές, καταλυτική δράση των μετάλλων).
- **Επιβραδυντές ή χαλινωτές οξειδώσεως** (oxidation inhibitors) Επιβραδύνουν την οξείδωση του λιπαντικού.
- **Αντιρρυπαντικά (καθαριστικά ή διασκορποτικά)** πρόσθετα (detergents). Διατηρούν τα αδιάλυτα προϊόντα αιωρούμενα μέσα στο λάδι σε λεπτό διαμερισμό, εμποδίζοντας έτσι την επικάθησή τους στις εσωτερικές επιφάνειες των κυλίνδρων, άρα και τη ρύπανσή τους. Σημαντικό μέρος των ακαθαρσιών — κυρίως των εξανθρακωμάτων — που τα πρόσθετα κρατούν διασπαρμένα στη μάζα του λιπαντικού, συγκρατούνται από τα φίλτρα. Τα υπόλοιπα κυκλοφορούν στο δίκτυο λιπάνσεως χωρίς να προκαλούν καμιά ανωμαλία. Έτσι το λιπαντικό των MEK, που περιέχει αντιρρυπαντικά πρόσθετα, αμέσως μετά τις πρώτες ώρες λειτουργίας αποκτά σκούρο καστανοκόκκινο χρώμα, που όχι μόνο δεν προκαλεί ανησυχία, αλλά αποτελεί και ένδειξη ότι το λιπαντικό επιτελεί αποτελεσματικά τον προορισμό του.
- Περισσότερη ανάγκη από τα παραπάνω πρόσθετα έχουν τα λιπαντικά των MEK που εργάζονται κάτω από βαριές συνθήκες φορτίου και θερμοκρασιών. Τα λιπαντικά που ενισχύονται με τα πρόσθετα αυτά ανήκουν στις κατηγορίες DG και DS ή HD (παράγρ. 20.1).
- **Επιβραδυντές διαβρώσεως** (corrosion inhibitors) που παρεμποδίζουν τη διαβρωση των μετάλλων.

#### **22.1.2 Λειτουργικά αίτια των αλλοιώσεων.**

Εκτός από τα παραπάνω φυσιολογικά αίτια, αλλοίωση των λιπαντικών μπορούν να προκαλέσουν και τα παρακάτω αίτια, που προέρχονται από λειτουργικές ανωμαλίες της μηχανής και που ο μηχανικός πρέπει έγκαιρα να επισημαίνει και να αποκαθιστά.

##### **— Παρουσία νερού.**

Η παρουσία του νερού στα λιπαντέλαια μπορεί να είναι φυσιολογική, προερχό-

μενη από την υγρασία του αέρα ή από τη συμπύκνωση ατμών (ατμοστρόβιλος), συνηθέστερα όμως προδίδει διαρροή από το δίκτυο ψύξεως της μηχανής. Τα ανώτατα επιτρεπτά όρια περιεκτικότητας σε νερό των καινούργιων λιπαντελαίων μηχανών εσωτερικής καύσεως είναι 0,1%. Για τα λάδια των μηχανών ατμού δεν καθορίζονται ανώτατα όρια, αρκεί ο αποχωρισμός του νερού με φυγοκέντριση να είναι ευχερής. Αυτό εξαρτάται από τα άλλα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λαδιού και κυρίως από την ικανότητα **απογαλακτώσεως**. Ο χρόνος που απαιτείται για τον αποχωρισμό των δυο φάσεων έχει ιδιαίτερη σημασία, κυρίως για τα τουρμπινέλαια, και καθορίζεται με αυστηρότητα από τις ειδικές προδιαγραφές. Στα λιπαντέλαια των μηχανών εσωτερικής καύσεως, νερό πάνω από 0,5%, αποτελεί αιτία αλλοιώσεως του λαδιού, επιταχύνει την οξείδωση και διευκολύνει τη διαβρωτική δράση επάνω στα μέταλλα. Πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια απομακρύνσεως με φυγοκέντριση. Μεγαλύτερη σημασία έχει η περιεκτικότητα του νερού σε NaCl.

### **— Καυσαέρια.**

Τη διαφυγή των καυσαερίων προς το χώρο του λιπαντελαίου εμποδίζει κατ' αρχήν η στεγανότητα του χώρου καύσεως, την οποία εξασφαλίζουν τα ελατήρια του εμβόλου μαζί με το λιπαντικό. Η επαφή εντούτοις των καυσαερίων με το λιπαντέλαιο, προκαλεί την αλλοιώσή του, κυρίως λόγω της παρουσίας SO<sub>2</sub>, που το καθιστά όξινο και συνεπώς διαβρωτικό. Η υψηλή αλκαλικότητα των κυλινδρελαίων ντηζελομηχανών (TBN), που πρέπει να ελέγχεται και να παρακολουθείται συνεχώς, εξουδετερώνει το SO<sub>2</sub> και τις δυσάρεστες για τη μηχανή συνέπειές του.

### **— Διαρροή καυσίμου.**

Αφορά τις ΜΕΚ και οφείλεται στην κακή λειτουργία των καυστήρων πετρελαίου που μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο εκρήξεως στο στροφαλοθάλαμο από την επικίνδυνη μείωση του σημείου αναφλέξεως, την οποία προκαλεί η παρουσία του καυσίμου.

Μπορεί επίσης να προκαλέσει την αισθητή μείωση του ιξώδους, άρα και απώλεια της λιπαντικότητας του λαδιού.

Λάδι που περιέχει καύσιμο σε αναλογία πάνω από 5% πρέπει να παρακολουθείται εντατικά και να εντοπίζονται τα αίτια της διαρροής, που πρέπει να αποκαθίστανται. Σε μερικές περιπτώσεις επιβάλλεται η αντικάσταση του λαδιού.

Η παρουσία καυσίμου στα λιπαντέλαια ελέγχεται με τρεις τρόπους:

- Με άμεση μέτρηση του καυσίμου, που γίνεται με απόσταξη με υδρατμούς.
- Με μέτρηση του σημείου αναφλέξεως.
- Με μέτρηση του ιξώδους.

Στις δυο τελευταίες περιπτώσεις η περιεκτικότητα του λαδιού σε καύσιμο προκύπτει από τη σύγκριση των τιμών σημείου αναφλέξεως και ιξώδους προς τις αντίστοιχες τιμές του αμεταχείριστου λαδιού από το οποίο προέρχεται το δείγμα που παίρνεται από τη μηχανή (παράγρ. 18.16).

### **4) Πλημμελής λειτουργία των φίλτρων.**

Οφείλεται σε έμφραξη ή γενικότερα σε κακή κατάσταση των φίλτρων και έχει ως συνέπεια τη βαθμιαία ρύπανση του λαδιού με ξένες ύλες, τις οποίες τα φίλτρα δεν συγκρατούν. Ένδειξη της ανωμαλίας αυτής αποτελεί ο **αριθμός κατακρημνί-**

**σεως** (παράγρ. 18.16). Σε πολλές περιπτώσεις, όταν η τιμή του υπερβεί το 0,1 πρέπει το λάδι να αντικαθίσταται.

## 22.2 Συνέπειες των αλλοιώσεων. Τρόπος αντιμετωπίσεως.

Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω αιτιών που αλλοιώνουν το λιπαντέλαιο, το υποβαθμίζει ποιοτικά, σε βαθμό που να μη μπορεί πια να ανταποκριθεί στην κύρια αποστολή του, δηλαδή τη λίπανση των τριβομένων επιφανειών. Αυτό οφείλεται στις συνέπειες που έχει η αλλοίωση του λιπαντικού, την οποία οι παράγοντες που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο προκαλούν. Οι συνέπειες αυτές μπορούν να συνοψισθούν στις εξής:

- Αύξηση της οξύτητας, άρα και της διαβρωτικότητας.
- Αύξηση του ιξώδους από την οξείδωση του λιπαντικού, σε βαθμό που μπορεί να επηρεάσει την αντλητικότητα και γενικά τη διακίνησή του στο δίκτυο λιπάνσεως.
- Σχηματισμός αδιαλύτων προϊόντων πολυμερισμού, που εμποδίζουν την ορθή λίπανση ή προκαλούν έμφραξη των φίλτρων.
- Μείωση ιξώδους λόγω διαρροής καυσίμου, που με τη σειρά της μειώνει την αντοχή της λιπαντικής μεμβράνης και δημιουργεί κίνδυνο εκρήξεως στους στροφαλοθαλάμους των ΜΕΚ.
- Ρύπανση από το νερό των ψυγείων.
- Διαρροή καυσαερίων από κακή στεγανότητα των κυλίνδρων.

Τα παραπάνω δυσμενή αποτελέσματα για το λιπαντικό και τη μηχανή την οποία λιπαίνει, μπορούν να αντιμετωπισθούν με τους παρακάτω τρόπους:

- Με συχνές αναλύσεις δειγμάτων για την εξακρίβωση της καταστάσεως στην οποία βρίσκεται το λιπαντικό. Οι αναλύσεις αυτές είτε γίνονται στο πλοίο, με τα εργαστηριακά μέσα που διαθέτει, είτε σε ειδικά εργαστήρια. Στη δεύτερη περίπτωση την παρακολούθηση της ποιότητας των λιπαντικών αναλαμβάνουν οι εταιρίες από τις οποίες γίνεται η προμήθεια των λιπαντικών. Συνήθως οι αναλύσεις γίνονται κάθε ορισμένες ώρες λειτουργίας της μηχανής, τις οποίες καθορίζει ο αρχιμηχανικός της εταιρίας.
- Με τον καθαρισμό στον οποίο το λάδι υποβάλλεται συνεχώς κατά τη χρήση του, στο ίδιο το δίκτυο λιπάνσεως, που περιλαμβάνει τους φυγοκεντρικούς καθαριστήρες, τα φίλτρα τους κλπ.
- Με την αντικατάσταση του λαδιού, όταν αυτό επιβάλλεται από τα αποτελέσματα της αναλύσεως.

## 22.3 Καθαρισμός του λιπαντικού κατά τη χρήση του.

Στις περισσότερες μηχανές και κυρίως στις ΜΕΚ, το λιπαντικό υποβάλλεται σε συνεχή καθαρισμό κατά τη χρήση του, ώστε να είναι δυνατόν να παρατείνεται η χρησιμοποίησή του για όσο το δυνατό μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Ο καθαρισμός γίνεται με δύο τρόπους:

- Με τους φυγοκεντρικούς καθαριστήρες ή καθαριστές.
- Με φίλτρα.

### 22.3.1 Φυγοκεντρικοί καθαριστήρες.

Οι φυγοκεντρικοί καθαριστήρες ή αποχωριστές *De Laval*, όπως είναι γνωστοί από τον τύπο των συσκευών που χρησιμοποιούνται, επιταχύνουν το διαχωρισμό του νερού και των ξένων υλών που περιέχει το λιπαντέλαιο. Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται στη διαφορά ειδικού βάρους μεταξύ των ξένων υλών και του λαδιού, την οποία η φυγόκεντρη δύναμη πολλαπλασιάζει. Αποτελούνται βασικά από ένα κοίλο κυλινδρικό δοχείο, που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Μέσα στο δοχείο φέρεται το λάδι που πρόκειται να καθαρισθεί. Η φυγόκεντρη δύναμη, που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή, αναγκάζει το νερό και τις ξένες ύλες να εναποτεθούν στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου απ' όπου και συνεχώς απομακρύνονται.

Οι φυγοκεντρικοί καθαριστήρες περιγράφονται λεπτομερώς στην παράγραφο 8.7.5. Είναι απαραίτητοι τόσο για τα λάδια των μηχανών ατμού, από τα οποία αφαιρούν το νερό, όσο και για τα λάδια των ΜΕΚ, στα οποία το νερό έχει την τάση να σχηματίζει γαλακτώματα.

Ο καθαρισμός των λιπαντελαίων με τους φυγοκεντρικούς αποχωριστές διευκολύνεται, όταν το λιπαντέλαιο προθερμαίνεται σε 60-80°C (140-160°F). Τα αποτελέσματα του καθαρισμού είναι πολύ καλύτερα, αν το λάδι παραμείνει πριν τον καθαρισμό επί αρκετό χρονικό διάστημα για καθίζηση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι δεξαμενές καθίζησεως (settling tanks), στις οποίες τα βαρύτερα συστατικά (νερό, λάσπη, ρινίσματα κλπ.) κατακάθονται στον πυθμένα, απ' όπου εύκολα μπορούν να απομακρύνονται. Η καθίζηση με τον τρόπο αυτό δεν είναι αποτελεσματική κατά τον πλου, έχει όμως πολύ καλύτερα αποτελέσματα όταν το πλοίο βρίσκεται σε ακινησία, γι' αυτό πρέπει να γίνεται εντατική εκμετάλλευση των περιόδων κατά τις οποίες το πλοίο βρίσκεται σε ακινησία. Ο φυγοκεντρικός καθαρισμός και το φίλτραρισμα που ακολουθούν μετά την καθίζηση, έχουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα, αν μέσα στις δεξαμενές καθίζησεως η θερμοκρασία του λαδιού διατηρείται σε 75-80°C.

Η απομάκρυνση των ακαθαρσιών με φυγοκέντριση συχνά διευκολύνεται με την προσθήκη νερού σε αναλογία 5% περίπου του λαδιού που φυγοκεντρείται. Το νερό αυτό πρέπει να έχει προθερμανθεί στην ίδια θερμοκρασία όπως το λάδι. Έτσι το ζεστό νερό ξεπλένει κατά ένα τρόπο το λάδι, από το οποίο απομακρύνει τις υδατοδιαλυτές ύλες, όπως είναι τα περισσότερα άλατα, που ενδεχομένως περιέχει. Απαιτείται όμως προσοχή για τα ενισχυμένα λάδια, όταν τα πρόσθετα που περιέχουν είναι υδατοδιαλυτά ή έχουν την τάση να σχηματίζουν γαλακτώματα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ακολουθούνται προσεκτικά οι οδηγίες των εταιριών από τις οποίες το πλοίο προμηθεύεται τα λιπαντικά.

Τα αποτελέσματα του φυγοκεντρικού καθαρισμού εξαρτώνται επίσης από το ρυθμό με τον οποίο εργάζονται οι συσκευές καθαρισμού. Ο ρυθμός αυτός πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε η απόδοση των καθαριστήρων να είναι γύρω στο 50% της δυναμικότητάς τους. Αν π.χ. ένας φυγοκεντρικός καθαριστήρας έχει μέγιστη απόδοση 4000 λίτρα την ώρα, ο καλύτερος διαχωρισμός των ξένων υλών γίνεται όταν ο καθαριστήρας αυτός εργάζεται με απόδοση 2000 λίτρα/ώρα.

### 22.3.2 Φίλτρα.

'Όταν το μέγεθος των σωματιδίων των ξένων προσμίξεων ενός λιπαντικού είναι

μικρότερο από ορισμένα όρια, η απομάκρυνσή τους με φυγοκέντριση δεν είναι αποτελεσματική. Κατάλοιπα του είδους αυτού αφθονούν στα λιπαντέλαια ΜΕΚ που περιέχουν διασκορπιστικά πρόσθετα (detergents) και πρέπει να απομακρύνονται. Ο καθαρισμός στην περίπτωση αυτή συμπληρώνεται με **φίλτρα**. Οι συνθέστεροι τύποι των φίλτρων αυτών περιγράφονται παρακάτω:

### 1) Μεταλλικά φίλτρα (strainers).

Είναι μεταλλικά πλέγματα ή αυτοκαθαριζόμενοι επάλληλοι δίσκοι (autoclean), από τους οποίους διέρχεται ολόκληρη η ποσότητα του λιπαντελαίου που κυκλοφορεί. Στα φίλτρα αυτά συγκρατούνται οι ξένες ουσίες, των οποίων το μέγεθος είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος των ανοιγμάτων του μεταλλικού πλέγματος των φίλτρων. Οι ξένες αυτές ουσίες μπορεί να είναι εξανθρακώματα, προϊόντα οξειδώσεως, ρινίσματα μετάλλων, ή οποιεσδήποτε άλλες ακαθαρσίες των οποίων το μέγεθος δεν είναι μικρότερο από 0,05mm (50μ).

### 2) Διηθητικά φίλτρα (filters).

Έχουν την ικανότητα να συγκρατούν σωματίδια μέχρι 0,0001" [0,0025mm, (2,5μ)]. Τέτοια είναι τα σωματίδια που προέρχονται από τα εξανθρακώματα, τα οποία αιωρούνται στα λάδια που περιέχουν αντιρρυπαντικά πρόσθετα, σκόνες που προέρχονται από τα αέρια, ασφαλτούχα κατάλοιπα που προέρχονται από την οξείδωση του λιπαντικού, ή πολύ λεπτά ρινίσματα που προέρχονται από τη φθορά των μετάλλων. Τα διηθητικά αυτά φίλτρα, όπως και τα απορροφητικά, αποτελούνται στην απλούστατη μορφή τους από μια φύσιγγα κυλινδρικού σχήματος. Η φύσιγγα αυτή περιέχει ως απορροφητικό υλικό χαρτί, βαμβάκι, τσόχα ή διηθητική γη.

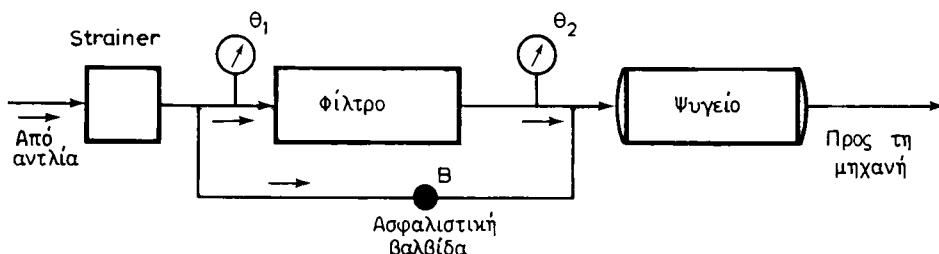
### 3) Μαγνητικά φίλτρα.

Αποτελούνται από αλλεπάλληλα δικτυωτά, που είναι μόνιμα μαγνητισμένα και συγκρατούν τα μεταλλικά ρινίσματα που έχουν μαγνητικές ιδιότητες (σίδηρος).

Η γενική συνδεσμολογία του δικτύου για τον καθαρισμό των λιπαντελαίων μπορεί να γίνει κατά πολλούς τρόπους. Σημαντικότεροι είναι οι ακόλουθοι:

#### — Καθαρισμός με πλήρη ροή (full-flow).

Ολόκληρη η ποσότητα του λιπαντικού κυκλοφορεί συνεχώς μέσα από τα φίλτρα, πράγμα που έχει τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς το βαθμό καθαρότητας που εξασφαλίζεται με τον τρόπο αυτό (σχ. 22.3a). Μειονεκτήματα αυτής της διάταξεως είναι ότι:



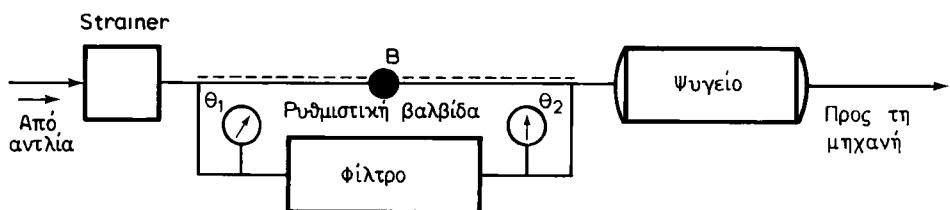
Σχ. 22.3a.

Καθαρισμός πλήρους ροής (Full-flow).

- Απαιτείται μεγάλος όγκος φίλτρων.
- Η διάταξη αυτή απορροφάει σημαντικά ποσά ισχύος.
- Καταστροφή της μηχανής σε περίπτωση εμφράξεως αν δεν λειτουργήσει η βαλβίδα ανάγκης.

**— Καθαρισμός μερικής ροής με ρείθρο (shunt).**

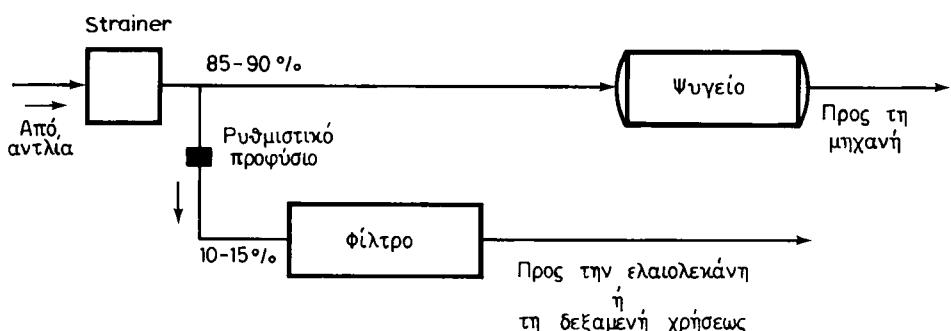
Η διάταξη αυτή εφαρμόζεται όταν κυκλοφορεί στο δίκτυο μεγάλη ποσότητα λαδιού, ένα μέρος της οποίας διοχετεύεται κατευθείαν στο ψυγείο, χωρίς να περάσει από τα φίλτρα (σχ. 22.3β). Η κατανομή του λαδιού στους δυο κλάδους της διατάξεως γίνεται με την ασφαλιστική βαλβίδα Β, που εξασφαλίζει την παροχή λαδιού στη μηχανή, έστω και ακάθαρτου, στην περίπτωση εμφράξεως των φίλτρων.



**Σχ. 22.3β.**  
Καθαρισμός μερικής ροής (Shunt).

**— Καθαρισμός περιορισμένης ροής (by-pass).**

Με τη βοήθεια ενός ρυθμιστικού προφυσίσιου, μόνο ποσοστό 10-15% από το λάδι που κυκλοφορεί στη μηχανή λαδιού διοχετεύεται στα φίλτρα, ενώ το υπόλοιπο διάριο μέσου του ψυγείου οδηγείται στη μηχανή χωρίς φιλτράρισμα. Το αποτέλεσμα του καθαρισμού δεν είναι βέβαια τόσο ικανοποιητικό, όσο στις δυο προηγούμενες διατάξεις, αλλά η κυκλοφορία στο δίκτυο λιπάνσεως είναι πολύ πιο άνετη (σχ. 22.3γ).



**Σχ. 22.3γ.**  
Καθαρισμός περιορισμένης ροής (by-pass).

Όλες οι παραπάνω διατάξεις καθαρισμού εντάσσονται στο δίκτυο λιπάνσεως από το οποίο και εξαρτώνται άμεσα. Είναι όμως δυνατός ο καθαρισμός του λαδιού με **ανεξάρτητη κυκλοφορία**, που προβλέπει την ύπαρξη ιδιαίτερης αντίλιας και δίκτυο καθαρισμού όσχετο προς το δίκτυο λιπάνσεως. Με τον τρόπο αυτό επιβαρύνεται μεν η εγκατάσταση, αλλά το σύστημα λιπάνσεως αποκτά ανεξαρτησία από το σύστημα καθαρισμού, ώστε τυχόν βλάβη ή ανωμαλία του ενός να μην επηρεάζει το άλλο.

Η τοποθέτηση φίλτρων στο δίκτυο λιπάνσεως απαιτεί συνεχή επαγρύπνηση από το προσωπικό της μηχανής, λόγω του κινδύνου εμφράξεώς τους, που θα μπορούσε να διακόψει ή να περιορίσει τη λίπανση, ανάλογα με τον τρόπο συνδεσμολογίας. Για το λόγο αυτό λαμβάνονται τα ακόλουθα μέτρα:

- Συνεχής παρακολούθηση της διαφοράς πιέσεως, που δείχνουν τα θλιβόμετρα  $\Theta_1$ , και  $\Theta_2$ , που είναι τοποθετημένα πριν και μετά τα φίλτρα.
- Τοποθέτηση ασφαλιστικής βαλβίδας, που επιτρέπει τη συνέχιση της ροής του λαδιού, έστω και ακάθαρτου, σε περίπτωση εμφράξεως των φίλτρων.

## 22.4 Αντικατάσταση του λιπαντικού.

Όταν η αλλοίωση του λιπαντικού προχωρήσει πέρα από ορισμένα όρια, όλα τα μέτρα που αναφέρονται στην παράγραφο 22.3 για τη διατήρηση ή την αποκατάσταση της ποιότητας, δεν έχουν κανένα αποτέλεσμα. Στην περίπτωση αυτή δεν απομένει παρά η αντικατάσταση του λιπαντικού με καινούργιο, μια και η χρησιμοποίηση του αλλοιωμένου λιπαντικού μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στη μηχανή.

Τα όρια ποιότητας, πέρα από τα οποία επιβάλλεται η αντικατάσταση, δεν είναι σαφώς καθορισμένα και συχνά διευρύνονται για λόγους οικονομίας. Το κόστος αντικαταστάσεως όλου του λαδιού (που σε μερικές περιπτώσεις φθάνει τους 50 τόνους) μιας μηχανής είναι πολύ υψηλό, παρόλο που το κόστος αυτό αντισταθμίζεται από τις βλάβες που θα μπορούσε να προκαλέσει στη μηχανή η λίπανση με ακατάλληλο λιπαντικό. Την πολιτική των διαφόρων εταιριών στον τομέα αυτό καθορίζει ο αρχιμηχανικός της εταιρίας στην οποία ανήκει το πλοίο, με γνώμονα το συμφέρον της εταιρίας.

Ενδεικτικά, τα όρια τιμών για μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των λιπαντελαίων, πέρα από τα οποία συνιστάται αντικατάσταση, είναι τα παρακάτω:

### **α) Λιπαντέλαια ΜΕΚ.**

1) Αριθμός κατακρημνήσεως	0,1 (max)
2) Νερό	0,5% (max)
3) Καύσιμο	5% (max)

### **β) Τουρμπινέλαια.**

1) Αριθμός εξουδετερώσεως	0,5 (max)
2) Δοκιμή διαβρώσεως	pass

Η δοκιμή διαβρώσεως (rust prevention test) γίνεται με παρατεταμένη επίδραση (20 ώρες) δείγματος του λαδιού σε πρότυπα δοκίμια από χάλυβα σε θερμοκρασία 60°C. Σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-665 στο λάδι προστίθεται νερό και το χαλύβδινο δοκίμιο περιστρέφεται στο μίγμα νερού-λαδιού επί 20 ώρες. Η δοκιμή χαρακτηρίζεται επιτυχής (pass), αν στην επιφάνεια των χαλυβδίνων δοκιμίων δεν εμφανισθούν οξειδώσεις, πέρα από ορισμένα όρια, που καθορίζονται με πρότυπα δοκίμια, προς τα οποία γίνεται η σύγκριση.

Οι παραπάνω δοκιμές των λιπαντελαίων πρέπει να γίνονται κάθε φορά που συμπληρώνονται ορισμένες ώρες λειτουργίας του λιπαντικού. Οι ώρες αυτές καθορίζονται επίσης από τον αρχιμηχανικό της εταιρίας, λαμβάνονται όμως υπόψη και οι υποδείξεις της εταιρίας από την οποία γίνεται η προμήθεια των λιπαντικών. Κατά κανόνα κυμαίνονται από 500 ως 1000 ώρες για μερικές μηχανές Diesel, ενώ είναι πολύ περισσότερες για τους ατμοστροβίλους. Σε ειδικές περιπτώσεις απαιτείται έκτακτος έλεγχος, όπως π.χ. μετά από μια επισκευή ή μια αντικατάσταση φίλτρων, ή αν παρατηρείται μια ασυνήθιστη συχνότητα αλλοιώσεων του λιπαντικού, οπότε επιβάλλεται ο εντοπισμός της αιτίας και η αποκατάσταση.

Συμπεράσματα για τη σχέση μηχανής-λιπαντελαίου, μπορούν να εξαχθούν και από άλλα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λαδιού, όπως: τέφρα, Ιξώδες, σημείο ροής, εξανθρακώματα κλπ. Στον πίνακα 22.4.1 αναγράφονται μερικές από τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις διαμορφώσεως των τιμών στα χαρακτηριστικά των λιπαντελαίων:

- Όταν είναι καινούργια και
- κατά τη διάρκεια της χρησιμοποιήσεώς τους και αφορούν κυρίως σε MEK.

Στη δεύτερη περίπτωση οι τιμές των χαρακτηριστικών του λαδιού μπορούν να οδηγήσουν στον εντοπισμό των αιτιών της ανωμαλίας και τελικά στην εξουδετέρωσή τους.

Πριν από την αντικατάσταση του λιπαντικού από καινούργιο, πρέπει να προηγείται πλύση της μηχανής με ψιλό λάδι (SAE 10). Με το λάδι αυτό η μηχανή μπαίνει σε λειτουργία αφόρτιστη επί 10 λεπτά περίπου. Με τον τρόπο αυτό παρασύρονται ακαθαρσίες που έχουν συγκεντρωθεί στο δίκτυο λιπάνσεως, ώστε το καινούργιο λάδι να μη μολυνθεί μ' αυτές. Αν το καινούργιο λάδι είναι έντονα αντιρρυπαντικό, είναι πιθανό να παρασύρει κατάλοιπα από τη μηχανή με κίνδυνο αποφράξεως των φίλτρων, πράγμα που απαιτεί σχολαστική παρακολούθηση των ενδείξεων των θλιβομέτρων πριν και μετά τα φίλτρα. Αν η διαφορά πιέσεων είναι σημαντική, απαιτείται καθαρισμός ή ακόμα και αντικατάσταση των φίλτρων. Είναι επίσης πιθανό, μετά την αντικατάσταση κοινού λιπαντελαίου σε μια MEK με λάδι έντονα αντιρρυπαντικό (HD), να παρουσιασθεί μείωση της συμπιέσεως στους κυλίνδρους και δυσχέρεια εκκινήσεως, που μπορεί να οφείλεται σε ξέπλυμα των ελατηρίων και των αυλάκων των εμβόλων από τα κατάλοιπα που είχαν συσσωρευθεί. Η ανωμαλία αυτή δεν οφείλεται βέβαια στο καλύτερης ποιότητας αντιρρυπαντικό λάδι, που απλώς επιταχύνει την εκδήλωση μιας φθοράς που προϋπήρχε.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 22.4.1**  
**Συνηθισμένα αίτια διαμορφώσεως χαρακτηριστικών λιπαντελάτων**

Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΤΟΥΣ	
	Καινούργιο λιπαντικό	Μεταχειρισμένο λιπαντικό
1) Ιξώδες	a) Είδος υδρογονανθράκων β) Χημικά πρόσθετα	a) Διαρροή καυσίμου β) Προϊόντα οξειδώσεως
2) Σημείο ροής	a) Βελτιωτικά σημείου ροής β) Παραφινικά συστατικά	a) Διαρροή καυσίμου β) Οξείδωση γ) Ρύπανση με ξένες ουσίες
3) Ειδικό βάρος	a) Δομή των υγρογονανθράκων που αποτελούν το λιπαντικό	a) Διαρροή καυσίμου β) Μόλυνση με ξένες ουσίες
4) Χρώμα	a) Είδος κατεργασίας	a) Καθαρτικότητα του λιπαντελάτου (αντιρυπαντικά πρόσθετα) β) Οξείδωση γ) Καθαρότητα του συστήματος λιπάνσεως της μηχανής
5) Σημείο αναφλέξεως	—	a) Διαρροή καυσίμου
6) Αριθμός εξουδετερώσεως	a) Κατεργασία του λιπαντικού Διαδικασία παραγωγής ή αναζωγονήσεως β) Οργανομεταλλικά πρόσθετα	a) Οξείδωση β) Ρύπανση από εξωτερικούς παράγοντες
7) Τέφρα	a) Οργανομεταλλικά πρόσθετα	a) Μόλυνση (από αντιεκτονωτικά πρόσθετα) β) Φθορά της μηχανής γ) Μόλυνση από εξωτερικούς παράγοντες (σκόνες)
8) Εξανθράκωμα	a) Είδος υδρογονανθράκων	a) Οξείδωση β) Υπερθέρμανση γ) Μόλυνση από εξωτερικές πηγές
9) Αριθμός κατακρημνίσεως	a) Ξένες ύλες, με τις οποίες το λιπαντικό μολύνεται κατά την παραγωγή ή την αναζωγόνηση	a) Οξείδωση β) Υπερθέρμανση γ) Μόλυνση από εξωτερικές πηγές δ) Παρουσία νερού από διαρροή στο σύστημα ψύξεως του λιπαντικού ή από άλλες αιτίες
10) Δοκιμή διαβρώσεως (κυρίως για λιπαντικά μηχανών ατμού)	a) Κατεργασία	a) Οξείδωση β) Μόλυνση από εξωτερικές πηγές
11) Απογαλάκτηση (μόνο για τουρμπινέλαια)	a) Κατεργασία	a) Μόλυνση από εξωτερικές πηγές

## 22.5 Αναζωγόνηση των λιπαντελαίων (re-refining).

Τα λιπαντέλαια που πρέπει να αντικατασταθούν επειδή έχουν αλλοιωθεί, μπορεί να ανακτήσουν τα αρχικά τους χαρακτηριστικά και να ξαναχρησιμοποιηθούν, ύστερα από μια σειρά επεξεργασιών στις οποίες υποβάλλονται. Οι επεξεργασίες αυτές απαιτούν ειδικές εγκαταστάσεις, στις οποίες το κάθε πλοίο ή η εταιρία στέλνουν τα μεταχειρισμένα λιπαντικά που έχουν συγκεντρωθεί, εφόσον βέβαια η διαδικασία αυτή συμφέρει οικονομικά. Διαφορετικά, εκποιούνται ή καίονται ή απορρίπτονται ως άχρηστα.

Το σύνολό των επεξεργασιών για τον καθαρισμό και γενικότερα για την αποκατάσταση της ποιότητας των λιπαντικών, αποτελεί τη λεγόμενη **αναζωγόνηση** και περιλαμβάνει τα εξής κύρια στάδια:

### — **Επεξεργασία με πυκνό θειικό οξύ.**

Γίνεται σε κυλινδρικούς λέβητες, που εσωτερικά έχουν επένδυση με φύλλα μολύβδου, τα οποία, δεν προσβάλλει το θειικό οξύ. Οι λέβητες αυτοί έχουν κωνική απόληξη, ώστε να διευκολύνεται η συγκέντρωση και η απομάκρυνση των προϊόντων επεξεργασίας. Μέσα στους λέβητες το λάδι αναδεύεται επί αρκετό χρόνο σε θερμοκρασία 45-50°C με 5% πυκνό θειικό οξύ, πράγμα που προκαλεί τη συσσωμάτωση και καθίζηση των εξανθρακωμάτων και λοιπών ασφαλτούχων συστατικών, που βρίσκονται σε κολλοειδή διασπορά μέσα στο λάδι. Το θειικό οξύ μαζί με τις ακαθαρσίες, που έχουν συσσωματωθεί, αποχωρίζεται λόγω πυκνότητας από το κάτω μέρος του κωνικού δοχείου. Για την πλήρη καθίζηση και τον καλύτερο διαχωρισμό απαιτείται 12ωρη περίπου παραμονή.

### — **Διήθηση.**

Γίνεται με φίλτρα που περιέχουν απορροφητικές γαίες. Το λάδι, κατά τη δίοδό του από τα φίλτρα αυτά, απαλλάσσεται από:

- 1) Ασφαλιστικά υπολείμματα που έχουν διαφύγει από την καθίζηση.
- 2) Όξινα συστατικά που προέρχονται από το θειικό οξύ, τα οποία συγκρατούνται από τις απορροφητικές γαίες.
- 3) Υγρασία.

### — **Απόσταξη σε κενό.**

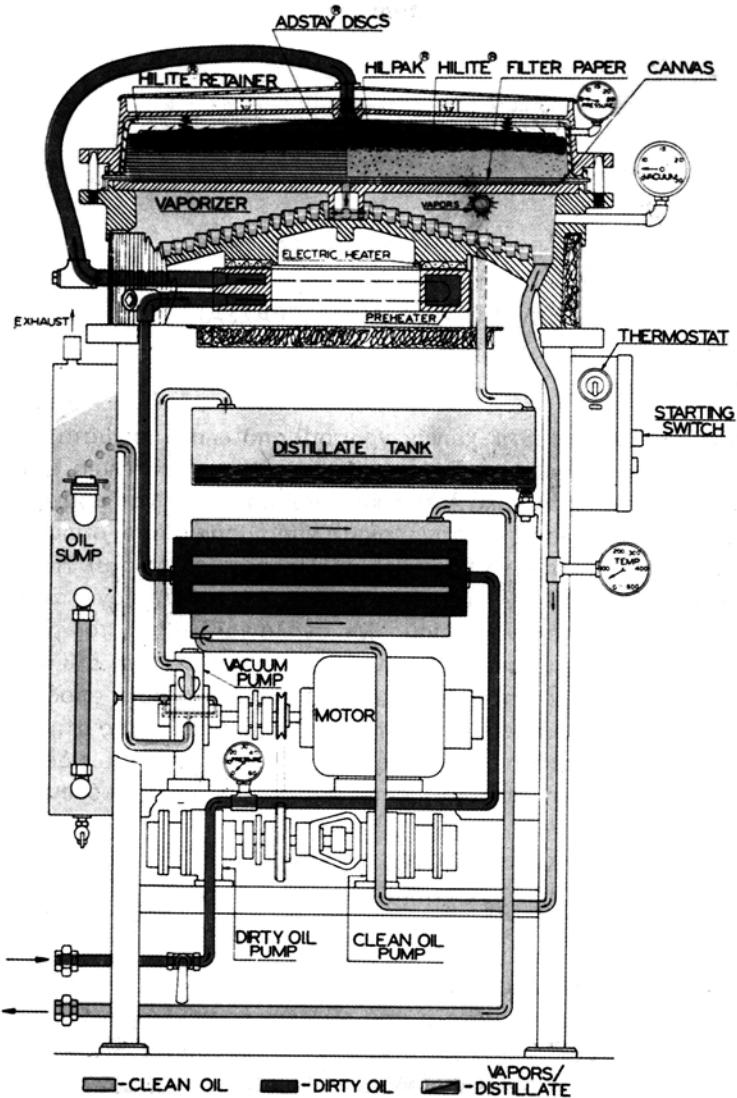
Το λάδι, μετά τη διήθησή του υποβάλλεται σε απόσταξη σε κενό, με την οποία απαλλάσσεται από το καύσιμο που περιέχει και από το υπόλοιπο του νερού που είχε συγκρατήσει.

Η επεξεργασία αυτή γίνεται σε ειδικές μονάδες, όπως η συσκευή Hilco, που εικονίζεται στο σχήμα 22.5. Οι μονάδες αυτές αποτελούν μικρογραφίες διυλιστηρίων. Ο καθαρισμός συμπληρώνεται με την προσθήκη απορροφητικών υλικών σε μορφή σκόνης, που συγκρατούν και τα τελευταία κατάλοιπα των προσμίξεων.

Το νερό και αρκετό από το λεπτόρευστο καύσιμο αποστάζουν βέβαια σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες του λιπαντελαίου αλλά παρόλα αυτά ο αποχωρισμός τους σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι πλήρης, και ως εκ τούτου οι συσκευές αυτές δεν είναι ικανοποιητικές.

### — **Ανάμιξη με χημικά πρόσθετα.**

Τα πρόσθετα που περιέχονται στο αναζωγονημένο λιπαντικό καταστρέφονται



Σχ. 22.5.

Συσκευή Hilco για την απόσταξη λιπαντελαίου υπό κενό.

κατά τις διάφορες φάσεις κατεργασίας, ιδίως από το θειικό οξύ. Είναι ανάγκη επομένως στο τέλος της αναζωγονήσεως, να προσθέτονται ανάλογα με τον τύπο του λιπαντικού τα καθορισμένα πρόσθετα με τα οποία αυτό ανακτά πλήρως τις αρχικές του ιδιότητες.

Ο βαθμός αποδόσεως της αναζωγονήσεως εξαρτάται κυρίως από την αρχική κατάσταση του επεξεργαζόμενου λιπαντελαίου και κυμαίνεται από 50-75%.

Είναι αμφίβολο όμως αν η ποιότητα των αναζωγονημένων λιπαντικών είναι ίδια με την ποιότητα των αντιστοίχων καινούργιων λιπαντικών, πράγμα που πρέπει να επιβεβαιώνεται από πλήρη εργαστηριακή ανάλυση (χημική και μηχανική).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ ΛΙΠΗ (ΓΡΑΣΣΑ)

#### 23.1 Γενικά.

Τα **λιπαντικά λίπη** ή **στέατα** (κοινώς γράσσα) αποτελούν πήγματα λαδιών με ειδικές ζελατινοποιημένες ουσίες. Το λάδι είναι συνήθως ορυκτέλαιο, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται συνθετικά λιπαντικά, όταν πρόκειται να παραχθούν γράσσα με ειδικές απαιτήσεις. Για τη ζελατινοποίηση χρησιμοποιούνται σάπωνες, και σπανιότερα άλλες ουσίες, όπως το *silica gel* (κολλώδες πυριτικό οξύ). Η αναλογία του σάπωνα που προστίθεται είναι γύρω στο 15%. Από την αναλογία αυτή εξαρτάται και η μορφή του παραγόμενου λίπους. Με αναλογία 20-30% το γράσσο αποκτά στερεή μορφή, ενώ κάτω από 10% είναι ημίρρευστο, και με 5% έχει τα χαρακτηριστικά πολύ παχύρρευστου ορυκτελαίου. Η ιδιότητα αυτή αποδίδεται με τον όρο **συνεκτικότητα** (*consistency*), για την οποία γίνεται λόγος στην παράγραφο 23.3. Τα γράσσα χρησιμοποιούνται όταν οι συνθήκες λιπάνσεως δεν επιτρέπουν την εφαρμογή υγρών λιπαντικών, πράγμα που ισχύει για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Χαμηλές ταχύτητες περιστροφής σε τριβείς.
- Πολύ υψηλά φορτία τριβέων, και μάλιστα όταν αναπτύσσονται κραδασμοί.
- Ακραίες θερμοκρασίες.
- Όταν απαιτείται ελάχιστη επίβλεψη.
- Με μεγάλες ελευθερίες τριβέων.
- Όταν απαιτείται στεγανότητα από εξωτερικές πηγές ρυπάνσεως.
- Όταν απαιτείται καθαρότητα ή αποφυγή διαρροών.
- Όταν το σημείο λιπάνσεως δεν είναι προσιτό.
- Όταν οι επιφάνειες είναι κατακόρυφες.

Τα παραπάνω εξασφαλίζονται με ορισμένες βασικές ιδιότητες των γράσσων, από τις οποίες σημαντικότερες είναι:

- 1) **Λιπαρότητα**, που οφείλεται στην παρουσία των λιπαρών οξέων των σαπώνων με τους οποίους παρασκευάζεται το γράσσο. Η ιδιότητα αυτή εξηγεί και την αυξημένη ικανότητα προσφύσεως στα μέταλλα.
- 2) **Διατήρηση της συνεκτικότητας**, άρα και τής λιπαντικής τους ενέργειας, σε ευρέα ώρια θερμοκρασιών, που κυμαίνονται από  $-70^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $150^{\circ}\text{C}$ .
- 3) **Ικανότητα προσφύσεως σε μεταλλικές επιφάνειες**, που έχει ιδιαίτερη σημασία στις εξής περιπτώσεις:
  - Σε λίπανση κατακορύφων επιφανειών, όπου η εφαρμογή υγρών λιπαντικών είναι αδύνατη.

- Σε μηχανήματα βιομηχανιών τροφίμων ή υφασμάτων, των οποίων τα προϊόντα παραμένουν καθαρά.
- 4) Σημαντική ιδιότητα των γράσσων είναι επίσης η ικανότητά τους να συμπεριφέρονται σαν στερεά, ώσπου να υποβληθούν σε διατμητικές τάσεις και μετά να συμπεριφέρονται σαν ρευστά, οπότε το ιξώδες τους αποκτά τιμές κοντά στις τιμές ιξώδους του λαδιού που περιέχουν.

Τα λιπαντικά λίπη (γράσσα) έχουν ακόμα το πλεονέκτημα σε πολλές περιπτώσεις να μη χρειάζονται ιδιαίτερο δίκτυο λιπάνσεως, επομένως δεν απαιτείται ιδιαίτερη επίβλεψη κατά τη χρήση τους. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε περιπτώσεις στις οποίες η συχνή αντικατάσταση λιπαντικού θα ήταν δύσκολη και αντιοκονομική. Παράδειγμα αποτελούν οι τριβείς των τροχών των αυτοκινήτων που λιπαίνονται με γράσσα, ή τα σημεία στηρίξεως του αμαξώματος στα οποία η λίπανση με γράσσο γίνεται με ειδικές διατάξεις γνωστές ως **γρασσαδόροι**.

## 23.2 Παραγωγή λιπαντικών λιπών (γράσσων).

### 23.2.1 Πρώτες ύλες.

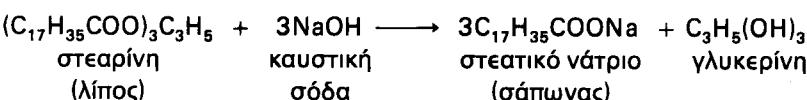
Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των γράσσων είναι:

#### — Ορυκτέλαια.

Είναι το βασικότερο συστατικό των γράσσων, του οποίου οι ιδιότητες μεταβιβάζονται στα παραγόμενα γράσσα. Για την παραγωγή π.χ. γράσσων που προορίζονται για πολύστροφα μηχανήματα με μικρό φορτίο, απαιτείται λιπαντικό με μικρό ιξώδες, άρα και το ορυκτέλαιο, που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του, πρέπει να έχει ανάλογη τιμή ιξώδους. Αντίθετα, τριβείς με υψηλά φορτία και μικρές ταχύτητες, θα πρέπει να λιπαίνονται με γράσσα παρασκευασμένα από λάδια με υψηλό ιξώδες. Όταν αντιμετωπίζονται υψηλές σχετικά θερμοκρασίες πρέπει να χρησιμοποιούνται λάδια με μικρή πτητικότητα στη θερμοκρασία αυτή και μεγάλη αντοχή στην οξείδωση. Τα συνθετικά λάδια, όπως π.χ. οι σιλικόνες, χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη κλίμακα για την παραγωγή γράσσων για ειδικές περιπτώσεις λιπάνσεως και έχουν υψηλό κόστος παραγωγής.

#### — Σάπωνες.

Προστίθενται στα ορυκτέλαια σε αναλογία 5-30%, για τη ζελατινοποίηση, με την οποία το τελικό προϊόν αποκτά τη γνωστή ημιστερεή κατάσταση, που χαρακτηρίζει τα γράσσα. Οι σάπωνες είναι, καθώς γνωρίζομε, άλατα διαφόρων μετάλλων με λιπαρά οξέα, δηλαδή οξέα που υπάρχουν στα διάφορα λίπη. Παράγονται με την επίδραση βάσεων, όπως η καυστική σόδα, σε λίπη, που είναι εστέρες των λιπαρών οξέων με γλυκερίνη. Η πράξη αυτή ονομάζεται **σαπωνοποίηση**, ακριβώς γιατί οδηγεί στο σχηματισμό σάπωνα, όπως π.χ.:



Για την παραγωγή προτιμώνται τα ζωικά λίπη, γιατί έχουν λιγότερα **ακόρεστα**

και επομένως μεγαλύτερη χημική σταθερότητα. Το είδος του μετάλλου της βάσεως, με την οποία γίνεται η σαπωνοποίηση καθορίζει και το είδος του παραγόμενου σάπωνα και αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για την κατάταξη και την αξιολόγηση του γράσσου που θα παραχθεί. Έτσι διακρίνομε γράσσα με σάπωνες νατρίου, καλίου, ασβεστίου, λιθίου κλπ., των οποίων οι βασικές ιδιότητες φαίνονται στον πίνακα 23.3.1.

Για την πηγμάτωση των ορυκτέλαιών, αντί για σάπωνες χρησιμοποιούνται μερικές φορές και άλλες ουσίες, όπως το ένυδρο οξείδιο του πυριτίου (silica gel).

#### **— Λοιπά συστατικά.**

Εκτός από τα ορυκτέλαια και τους σάπωνες, που είναι τα κύρια συστατικά των γράσσων, για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται ακόμα τα παρακάτω υλικά:

**Αντιοξειδωτικά πρόσθετα**, που αιχάνουν την αντοχή στην οξείδωση, άρα μπορούν να παρατείνουν τη χρήση τους για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα.

**Πρόσθετα εξαιρετικά υψηλών πιέσεων** (extreme pressure). Αιχάνουν την ικανότητα του γράσσου να ανταπεξέρχεται στις πολύ μεγάλες πιέσεις που αναπτύσσονται από μεγάλα φορτία σε σημεία που το γράσσο λιπαίνει. Το σημαντικότερο από τα πρόσθετα αυτά περιέχει θειούχες ενώσεις (οργανικές), όπως είναι π.χ. το θειούχο μολυβδανίο.

**Επιβαρυντικές ύλες (fillers)**, όπως το τάλκης, ο γραφίτης, η μίκα σε λεπτό διαμερισμό, ο αμίαντος κ.α., που προστίθενται για να διευκολύνουν τη συγκράτηση του γράσσου στους τριβείς κατά τις απότομες αιχομειώσεις του φορτίου.

### **23.2.2 Διαδικασία παραγωγής.**

Η ανάμιξη των παραπάνω συστατικών ακολουθεί τα εξής στάδια:

**Σαπωνοποίηση.** Λίπη ή λιπαρά οξέα θερμαίνονται σε κατάλληλο δοχείο, αφού προηγουμένως αναμιχθούν με την κατάλληλη βάση.

**Κατεργασία σάπωνα.** Στο σάπωνα που σχηματίζεται προσθέτονται τα ορυκτέλαια και κατεργάζονται με παραπέρα θέρμανση με συνεχή ανάδευση.

**Μορφοποίηση του γράσσου.** Αφού προστεθούν οι διάφορες βελτιωτικές ουσίες (additives) ή επιβαρυντικές ύλες (fillers), το παραγόμενο γράσσο αναδεύεται ώσπου να αποκτήσει τέλεια ομοιογένεια. Ορυκτέλαια προσθέτονται, αν απαιτείται, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συνεκτικότητα.

### **23.3 Κατάταξη των γράσσων.**

Ο συνηθέστερος τρόπος για την κατάταξη των γράσσων έχει ως βάση το είδος του σάπωνα που περιέχουν. Έτσι διακρίνομε τις εξής κατηγορίες:

#### **23.3.1 Γράσσα με σάπωνες ασβεστίου.**

Τα γράσσα που παράγονται με σάπωνες ασβεστίου έχουν μία πολύ μαλακή βουτυρώδη υφή. Για την παραγωγή τους προστίθεται μικρή ποσότητα νερού, ποι καταναλώνεται για την ενυδάτωση του σαπουνιού. Ο υδρίτης που σχηματίζεται συμβάλλει στη σταθερότητα του παραγόμενου γράσσου, που διατηρείται μέχρι τους 70°C. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή ο υδρίτης διασπάται και το νερό που αποβάλλεται μειώνει τη σταθερότητα του γράσσου. Για το λόγο αυτό γράσσ

βάση σάπωνες ασβεστίου δεν χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που αναπτύσσονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 70°C. Έχουν σημείο σταγόνας κάτω από τους 100°C.

Στα γράσσα της κατηγορίας αυτής μπορεί να προστίθεται γραφίτης σε αναλογία 5-20%, οπότε είναι κατάλληλα για λίπανση εδράνων, οδοντωτών τροχών κλπ.

### **23.3.2 Γράσσα με σάπωνες νατρίου.**

Τα γράσσα της κατηγορίας αυτής έχουν ινώδη μορφή και πολύ υψηλότερο σημείο τήξεως (γύρω στους 140°C) σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Χαρακτηρίζονται από τις εξής βασικές ιδιότητες:

Έχουν πολύ ευρύτερα όρια θερμοκρασιών χρησιμοποίησεως (110°C). Δεν είναι σταθερά στο νερό, από το οποίο προσβάλλονται σχηματίζοντας γαλάκτωμα, άρα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν προβλέπεται παρουσία νερού στο σημείο που λιπαίνουν.

### **23.3.3 Γράσσα με σάπωνες αργιλίου.**

Έχουν απαλή, λιπαρή υφή και παρουσιάζουν πολύ καλή αντοχή στο νερό. Μεταξύ των άλλων ιδιοτήτων, αναφέρονται οι εξής:

- Ρευστοποιούνται γρήγορα όταν υποβάλλονται σε έντονη μηχανική καταπόνηση.
- Έχουν χαμηλό σημείο σταγόνας.
- Παρουσιάζουν πολύ καλή πρόσφυση στις μεταλλικές επιφάνειες.

### **23.3.4 Γράσσα με σάπωνες λιθίου.**

Έχουν την καλύτερη αντοχή από όλα τα γράσσα σε υψηλές θερμοκρασίες (ακόμη και μέχρι 150°C) και άριστη συμπεριφορά στο νερό, από το οποίο δεν προσβάλλονται.

Εξίσου καλή είναι και η συμπεριφορά τους σε χαμηλές θερμοκρασίες (ως τους -70°C). Συνεπώς τα γράσσα της κατηγορίας αυτής έχουν τα ευρύτερα όρια θερμοκρασιών στα οποία μπορούν να χρησιμοποιούνται.

### **23.3.5 Γράσσα με σάπωνες βαρίου.**

Περιέχουν σε υψηλή αναλογία σάπωνες (μέχρι 25%) πράγμα που δυσχεραίνει τη διανομή του γράσσου στα λιπαντέλαια σε χαμηλές θερμοκρασίες ή με πολύ υψηλές ταχύτητες.

### **23.3.6 Γράσσα με σάπωνες μολύβδου.**

Είναι κατάλληλα για λίπανση σε περιπτώσεις που αναπτύσσονται πολύ υψηλές πιέσεις, στις οποίες παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή.

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες, παράγονται και γράσσα **μικτής** βάσεως, που περιέχουν δύο ή περισσότερα είδη σαπώνων. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται περισσότερες απαιτήσεις, που καθένα από τα είδη των προστιθεμένων σαπώνων εξασφαλίζει.

Στον πίνακα 23.3.1 παρέχονται συνοπτικά οι κυριότερες ιδιότητες και εφαρμο-

**ΤΙΝΑΚΑΣ 23.3.1**  
**Είδη γράσσουν**  
**Χαρακτηριστικές ιδιότητες και εφαρμογές τους**

Είδος γράσσου	Κύριες ιδιότητες				Παραπομπήσις	Εφαρμογές
	Υψηλή	Σημείο σταθόντας	Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	Αυτοκόλληση νέρο		
Με σάπιωνες νατρίου	ινώδης	160°C	110°C	κακή	πολύ καλή	Εξαιρετική συμπεριφορά σε θερμοκρασίες μέτρια υψηλές Αποσυντίθεται σε θερμοκρασία πάνω από 90°C
Με σάπιωνες ασβεστίου	βουτυρώδης	90°C	70°C	καλή	ικανοποιητική	Λιπαντικό γενικής χρήσης σε λιπαντήρια λιπούς (γρασσαδόροι).
Με σάπιωνες λιθίου	βουτυρώδης	170°C	135°C	καλή	άριστη	Πολύ καλή συμπεριφορά και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Άριστη σταθερότητα σε θερμής και ψυχανικές καταστονορίσεις
Με σάπιωνες αργιλίου	κολλώδης	85°C	80°C	καλή	μέτρια ως ικανοποιητική	Διακρίνονται για την άριστη ικανότητα προσθύσεως σε μεταλλικές επιφάνειες
Με σάπιωνες βαρίου	απαλή ινώδης	175°C	135°C	καλή	πολύ καλή	Σκληρύνση σε χαμηλές θερμοκρασίες και με μεγάλες ταχύτητες

γές των πιο συνηθισμένων κατηγοριών στεάτων. Τις ιδιότητές τους πάντως καλύπτουν οι προδιαγραφές που ισχύουν για κάθε κατηγορία, όπως η αμερικανική προδιαγραφή VV-G-632 (παράγρ. 23.5).

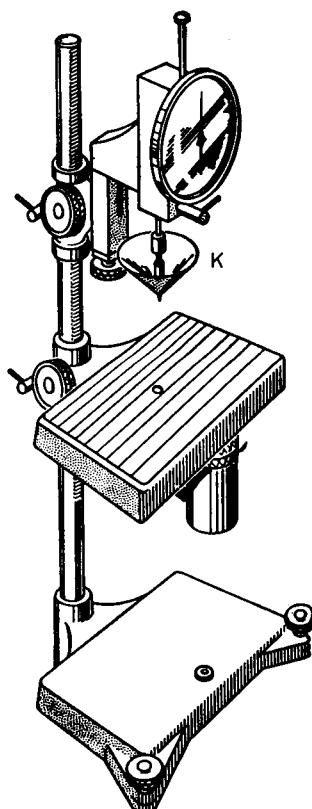
## 23.4 Ιδιότητες των γράσσων. Ποιοτικός έλεγχος.

### 23.4.1 Σταθερότητα (*stability*).

Τα λιπαντικά λίπη δεν πρέπει να αλλοιώνονται ούτε κατά την αποθήκευση ούτε κατά τη χρήση τους. Η έλλειψη σταθερότητας εκδηλώνεται κυρίως με διαχωρισμό του ορυκτελαίου που περιέχει το λίπος, ένα μέρος του οποίου αποβάλλεται με μορφή εξιδρώματος. Εμφανίζονται δηλαδή σταγόνες λαδιού πάνω στη μάζα του γράσσου ή ακόμα ολόκληρο στρώμα λαδιού που επιπλέει στην επιφάνεια.

Ο έλεγχος της σταθερότητας των γράσσων γίνεται διατηρώντας ορισμένη ποσότητα δείγματος κάτω από καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία) για ορισμένο χρονικό διάστημα, στο τέλος του οποίου δεν πρέπει να εμφανίζεται η παραπάνω **εξιδρωση**.

Ο παραπάνω έλεγχος σταθερότητας αποτελεί ένα στατικό τρόπο αξιολογήσεως



Σχ. 23.4a.

του γράσσου και προσδιορίζει κυρίως την τάση αποχωρισμού λαδιού από τη μάζα του. Πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει **η σταθερότητα σε μηχανικές καταπονήσεις**, που σχετίζεται με τη συμπεριφορά στην πράξη. Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται τόσο από τη σύσταση του γράσσου όσο και από την επεξεργασία της παραγωγής του. Ελέγχεται υποβάλλοντας δείγμα του γράσσου σε μεγάλο αριθμό εμβολισμών (περίπου 100000) σε ειδική παλινδρομική διάταξη και συγκρίνοντας τη συνεκτικότητά του πριν και μετά τη δοκιμή. Όσο μικρότερη είναι η διαφορά τιμών συνεκτικότητας (παράγρ. 23.4.2) τόσο καλύτερη είναι η σταθερότητα του γράσσου σε μηχανικές καταπονήσεις.

### **23.4.2 Συνεκτικότητα (consistency).**

Η **συνεκτικότητα** είναι όρος που αναφέρεται στη συνοχή μεταξύ των συστατικών του γράσσου, μας δίνει δηλαδή την έννοια του πόσο μαλακό ή σκληρό είναι ένα γράσσο. Μέτρο της συνεκτικότητας αποτελεί η διεισδυτικότητα (penetration), δηλαδή το βάθος, σε δέκατα του χιλιοστού, στο οποίο εισδύει μεταλλικός κώνος, όταν πέφτει κάτω από ορισμένες συνθήκες στην επιφάνεια ενός δείγματος από το έχεταζόμενο γράσσο.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η εργαστηριακή συσκευή που εικονίζεται στο σχήμα 23.4a.

Το δείγμα τοποθετείται σε κατάλληλο δοχείο, αφού προηγουμένως ομογενοποιηθεί εντελώς με προσεκτική κατεργασία, τις λεπτομέρειες της οποίας καθορίζει η προδιαγραφή ASTM D-217.

Από ορισμένο ύψος αφήνεται να πέσει πάνω στο δείγμα ο μεταλλικός κώνος K και μετράται το βάθος στο οποίο εισδύει μέσα στη μάζα του δείγματος. Το βάθος αυτό σε δέκατα του χιλιοστομέτρου αποτελεί το λεγόμενο **αριθμό διεισδυτικότητας** (penetration number), προς το οποίο η συνεκτικότητα συνδέεται με ειδική κλίμακα, γνωστή ως κλίμακα NLGI (National Lubricating Grease Institute). Η αντιστοιχία μεταξύ αριθμού διεισδυτικότητας και συνεκτικότητας κατά NLGI φαίνεται στον πίνακα 23.4.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 23.4.1**  
**Αντιστοιχία συνεκτικότητας-αριθμού διεισδυτικότητας γράσσων**

Διεισδυτικότητα σε 77°F (δέκατα του mm)	Αριθμός συνεκτικότητας κατά NLGI
445-475	000
400-430	00
355-385	0
310-340	1
265-295	2
220-250	3
175-205	4
130-160	5
85-115	6

Από τον πίνακα 23.4.1 συμπεραίνεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός διεισδυτικότητας ενός γράσσου, τόσο μικρότερη είναι η συνεκτικότητά του. Γράσσα

με συνεκτικότητα πάνω από 6 (διείσδυση μικρότερη από 8,5 mm) έχουν στερεή μορφή και ονομάζονται **γράσσα σε πλάκες** (block greases).

### 23.4.3 Φαινόμενο ιξώδες (apparent viscosity).

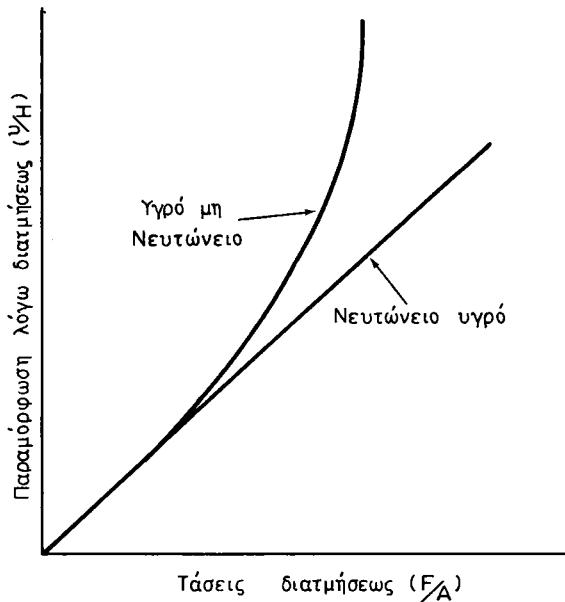
Στα λιπαντέλαια το ιξώδες καθορίζεται, όπως μάθαμε, από τη σχέση:

$$Z = \frac{F/A}{V/H} \quad (\text{παράγρ. 15.4})$$

που αποτελεί τη μαθηματική διατύπωση του Νόμου του Νεύτωνα. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η παραμόρφωση του ρευστού, που εκφράζεται με το πηλίκο  $V/H$  της μεταβολής της ταχύτητας ροής  $V$  διά της αποστάσεως  $H$ , είναι ανάλογη με την τάση διατμήσεως  $F/A$ , με συντελεστή αναλογίας την τιμή του απόλυτου ιξώδους  $Z$ .

$$F/A = Z (V/H) \Rightarrow Z = \frac{F/A}{V/H}$$

Τα λιπαντέλαια, καθώς και κάθε υγρό που υπακούει στον παραπάνω Νόμο του Νεύτωνα, ονομάζονται **Νευτώνεια υγρά**. Στο διάγραμμα του σχήματος 23.4β βλέπομε ότι η σχέση τάσεως διατμήσεως και παραμορφώσεως για Νευτώνεια υγρά είναι συνάρτηση γραμμική. Αντίθετα, στα **μη Νευτώνεια υγρά**, όπως είναι τα γράσσα, η συνάρτηση διατμήσεως-παραμορφώσεως δεν είναι γραμμική (σχ. 23.4β). Η



Σχ. 23.4β.

παραμόρφωση με την ίδια τάση είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που αντιστοιχεί στα Νευτώνεια υγρά.

**F/A**  
Το πηλίκο  $\frac{F}{V/H}$  στα μη Νευτώνεια υγρά, ονομάζεται **φαινόμενο ιξώδες** (ή φαινομενικό) και διατυπώνεται με τη γενικότερη μορφή του:

$$\eta = \frac{F}{S}$$

όπου: η το φαινόμενο ιξώδες

F η τάση διατμήσεως

S η παραμόρφωση λόγω διατμήσεως.

Επειδή η παραμόρφωση διατμήσεως S δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί με το λόγο V/H, μετράται με διάφορες συμβατικές μεθόδους. Κατά τη μέθοδο ASTM, το δείγμα του γράσσου φέρεται σε μεταλλικό κύλινδρο, όπου και συμπιέζεται με κατάλληλο έμβολο και εκρέει από πλάγιους τριχοειδείς σωλήνες. Η ταχύτητα εκροής απ' αυτούς τους σωληνίσκους είναι το μέτρο της παραμορφώσεως S, ενώ η καταπόνηση F προσδιορίζεται από την πίεση που εφαρμόζεται στο έμβολο της συσκευής. Πριν από τη δοκιμή το δείγμα φέρεται σε σταθερή θερμοκρασία 77°F (25°C).

#### 23.4.4 Σημείο σταγόνας.

Τα λιπαντικά λίπη, εξαιτίας της συστάσεώς τους, δεν έχουν ένα καθορισμένο σημείο τήξεως. Ως μέτρο της θερμοκρασίας τήξεως χρησιμοποιείται το λεγόμενο **σημείο σταγόνας**.

Αυτό συνήθως ορίζεται ως η θερμοκρασία εκείνη στην οποία το γράσσο διαχωρίζεται στο σάπωνα και στο λάδι, ώστε να πέσει σταγόνα από ένα καψίδιο, στον πυθμένα του οποίου υπάρχει τρύπα με διάμετρο 7/64''. Με την τιμή του σημείου σταγόνας έχουμε μία ένδειξη για τα όρια θερμοκρασίας στα οποία ένα γράσσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, δηλαδή μερικούς βαθμούς κάτω από το σημείο στάξεως. Πέρα από τη θερμοκρασία αυτή το γράσσο ρευστοποιείται, οπότε η χρήση του δεν συνιστάται.

#### 23.4.5 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. Η αντοχή στην οξείδωση έχει για ένα γράσσο βασική σημασία και ελέγχεται ως εξής: Σε μία χαλύβδινη οβίδα, που φέρει θλιβόμετρο, τοποθετούνται 4g δείγματος λίπους σε θερμοκρασία 210°F και οξυγόνο με πίεση 7 bar. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες το γράσσο απορροφά οξυγόνο και συνεπώς παρατηρείται μία συνεχής πτώση της πίεσεως, της οποίας ο ρυθμός καταγράφεται και αποτελεί το μέτρο αντοχής του λίπους στην οξείδωση. Όσο γρηγορότερα πέφτει η πίεση τόσο μικρότερη είναι η αντοχή του γράσσου στην οξείδωση.

### 23.4.6 Αντίσταση στο νερό.

Συχνά κατά τη χρήση του το γράσσο υπόκειται σε μακροχρόνια επίδραση του νερού, που μπορεί να το απομακρύνει από την επιφάνεια την οποία καλύπτει, αν δεν έχει την αντοχή στο νερό. Η αντοχή αυτή ελέγχεται ως εξής: δείγμα του δοκιμάζομενου λίπους τοποθετείται σε ειδικό ένσφαιρο τριβέα (ρουλεμάν), που στη συνέχεια υποβάλλεται σε καταιονισμό με νερό υπό ορισμένη παροχή και πίεση. Η απώλεια βάρους κατά τη διάρκεια της δοκιμής αποτελεί μέτρο της αντιστάσεως του γράσσου στο νερό.

### 23.5 Προδιαγραφές γράσσων.

Η ποιότητα των γράσσων καλύπτεται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές, που καλύπτουν τις απαιτήσεις σε ένα ευρύτατο φάσμα προϊόντων. Μια από τις συνηθέστερες προδιαγραφές είναι η αμερικανική προδιαγραφή VV-G-632, που καλύπτει έξι είδη. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 23.5.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 23.5.1  
Προδιαγραφές γράσσων (VV-G-632)**

Κύρια χαρακτηριστικά	Τύπος A			Τύπος B			Μέθοδος FED - STD 791
	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3	
Γενικός χαρακτηρισμός του γράσσου	γράσσο αραξωμάτων	τριβέων τροχών	υδραυλικών υδραντλιών	μαλακό	μέσου τύπου	σκληρό	
Περιεκτικότητα σε ορυκτέλαιο (% min)	85	82	65	85	80	75	5412
Ιξώδες του ελαίου σε 110°F (SSU) min	750	350	100	300	300	300	—
Σημείο αναφλέξεως του ελαίου (F°) min	350	350	315	350	350	350	ASTM D-92
Διεισδυτικότητα (25°C)	310-340	265-295	175-205	310-340	265-295	220-250	311
Νερό % (max)	2	1,5	3	1,5	2	2,5	3001
Σημείο σταγόνας (°F) min	200	300	210	185	185	185	1421
Ελεύθερο άλκαλι (%) max	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	5412
Ελεύθερο λιπαρό οξύ (%) max	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5412

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΛΟΓΩ ΚΑΥΣΕΩΣ

#### 24.1 Γενικά.

Με τον όρο «ρύπανση» εννοούμε την παρουσία στο περιβάλλον ουσιών, που είναι επιβλαβείς τόσο για τους ζώντες οργανισμούς (άνθρωποι, ζώα, φυτά) όσο και για τα άψυχα αντικείμενα.

Οι ουσίες αυτές προέρχονται:

- α) Από την καύση, γενικά.
- β) Από τη λειτουργία διαφόρων βιομηχανιών.
- γ) Από απορρίμματα, κλπ.

Με την αύξηση του πληθυσμού της γης και με την τεχνολογική πρόοδο και εξέλιξη, οι πηγές ρυπάνσεως αυξάνονται συνεχώς, σε βαθμό ώστε η προστασία του περιβάλλοντος να αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει σήμερα.

Το μεγαλύτερο μέρος της ρυπάνσεως δέχεται ο ατμοσφαιρικός αέρας, στον οποίο μεταφέρονται τα προϊόντα της καύσεως, τα προϊόντα της λειτουργίας των βιομηχανιών και τα απόβλητα. Οι περισσότεροι από τους ρυπαντές της ατμοσφαιρας δρουν άμεσα ως ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ οι υπόλοιποι μεταφέρονται με το νερό, στο οποίο διαλύονται ή αιωρούνται. Σύμφωνα με την υπ' αριθμόν 84/360 Οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, η **ατμοσφαιρική ρύπανση** ορίζεται ως «η άμεση ή έμμεση εισαγωγή στον ατμοσφαιρικό αέρα από τον άνθρωπο ουσιών, που μπορούν να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου, τους βιολογικούς πόρους και τα οικοσυστήματα, να φθείρουν τα υλικά αγαθά και να θέξουν ή να παραβλάψουν την ψυχαγωγική λειτουργία, καθώς και τις άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος».

Το κεφάλαιο αυτό περιορίζεται στην εξέταση της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως, που προέρχεται από την καύση. Η ρύπανση αυτή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα, αφού ο καύσεις των διαφόρων καυσίμων αυξάνονται αλματωδώς, για να ικανοποιήσουν τις τεράστιες ανάγκες σε ενέργεια που η ανθρωπότητα καθημερινά αντιμετωπίζει για τις διάφορες λειτουργίες: κίνηση, μεταφορές, θέρμανση, βιομηχανία, κλπ.

Για τη Ναυτιλία το πρόβλημα παρουσιάζει ιδαίτερο ενδιαφέρον, είναι αντικείμενο ιδιαίτερης προσοχής και μελετάται τόσο από τις διάφορες βιομηχανίες που σχετίζονται με τη Ναυτιλία (Ναυπηγεία, Διυλιστήρια, Κατασκευαστές Μηχανών), όσο και από διάφορους οργανισμούς, όπως είναι ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας IMO (International Marine Organization).

#### 24.2 Ρυπαντές προερχόμενοι από την καύση.

Όλα τα λεγόμενα «συμβατικά» καύσιμα δηλαδή:

- α) Τα στερεά καύσιμα (γαιάνθρακες).
- β) Τα υγρά καύσιμα (πετρέλαιο, προϊόντα πετρελαίου).

γ) Τα αέρια καύσιμα (υγραέρια, φυσικά αέρια) με τα οποία κινούνται οι θερμικές μηχανές, άρα και οι ναυτικές μηχανές, κατά την καύση τους ή και την απλή διακίνησή τους, μεταφέρουν στην ατμόσφαιρα προϊόντα, τους λεγόμενους «ρυπαντές», των οποίων η δράση είναι επιβλαβής τόσο για τα έμψυχα όντα, όσο και για το περιβάλλον ευρύτερα.

Οι σπουδαιότεροι από τους ρυπαντές είναι:

1) **Τα οξείδια του αζώτου**, που συμβολίζονται ως  $\text{NO}_x$  και προέρχονται από τον καυσιγόνο αέρα, που ως γνωστόν περιέχει περίπου 78% άζωτο.

2) **Τα οξείδια του θείου**, που συμβολίζονται ως  $\text{SO}_x$  και προέρχονται από την καύση του θείου, το οποίο υπάρχει σε όλα τα καύσιμα. Έχουν ιδιαίτερη σημασία, ως πρόβλημα, για τις ναυτικές μηχανές, των οποίων τα καύσιμα περιέχουν μεγάλες ποσότητες θείου, που σε μερικές περιπτώσεις φθάνει το 5%.

3) **Οι υδρογονάνθρακες**,  $\text{HC}$ , που είναι τα κύρια συστατικά του πετρελαίου και η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα οφείλεται στη διακίνησή τους μάλλον, παρά στην καύση. Ως ρυπαντές έχουν ιδιαίτερη σημασία στις βενζίνες, των οποίων οι υδρογονάνθρακες είναι πτητικοί και εύκολα μπορούν να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα. Μερικοί από αυτούς, όπως το βενζόλιο, είναι καρκινογόνοι και ήδη λαμβάνονται μέτρα περιορισμού της αναλογίας τους στις βενζίνες.

4) **Το μονοξείδιο του άνθρακα**  $\text{CO}$ . Είναι προϊόν ατελούς καύσεως του άνθρακα και των ενώσεων υπό τις οποίες ο άνθρακας βρίσκεται στο πετρέλαιο (υδρογονάνθρακες). Είναι εξαιρετικά τοξικό για τον ανθρώπινο οργανισμό.

5) **Το διοξείδιο του άνθρακα**,  $\text{CO}_2$ , είναι το κύριο προϊόν καύσεως όλων των συμβατικών καυσίμων, αφού ο άνθρακας είναι το κύριο συστατικό τους. Συνεπώς η παρουσία του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα είναι αναπόφευκτη. Στο διοξείδιο του άνθρακα οφείλεται κατά κύριο λόγο το γνωστό «φαινόμενο θερμοκηπίου», δηλαδή η παγίδευση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, που προκαλούν συνεχή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μας και γενικά μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών της γης.

6) **Η αιθάλη** (καπνός). Είναι προϊόν ατελούς καύσεως του πετρελαίου, αποτελούμενη από κόκκους άνθρακα πολύ μικρού μεγέθους (περίπου 1μ). Η παρουσία αιθαλής στην ατμόσφαιρα προδίδεται από το χρώμα των καυσαερίων και μετρείται με τα αιθαλόμετρα (παράγρ. 2.8).

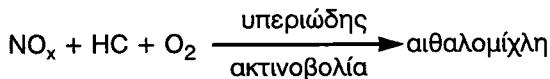
7) **Ο μόλυβδος**. Προέρχεται από τη βενζίνη, που αποτελεί το κατ' εξοχήν καύσιμο στις μηχανές αυτοκινήτων και οφείλεται στην προσθήκη ενώσεων του μολύβδου για την αύξηση της αντικροτικής της ικανότητας (βλέπε παράγρ. 5.4)

## 24.3 Συνέπειες της ρυπάνσεως.

Η παρουσία των παραπάνω ρυπαντών στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στον ατμοσφαιρικό αέρα έχει τις παρακάτω συνέπειες:

### 24.3.1 Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).

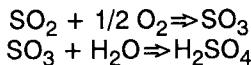
Εισπνεόμενα με τον αέρα προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα. Παρουσία υδρατμών σχηματίζουν όξινα προϊόντα, τη λεγόμενη «όξινη βροχή», που προσβάλλει τους φυσικούς οργανισμούς (καταστροφή δασών), αλλά και ανόργανα υλικά (μαρμάρινα μνημεία). Με τους υδρογονάνθρακες, που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν και σχηματίζουν αιθαλομίχλη, σύμφωνα με την παρακάτω φωτοχημική αντίδραση



Κατά την παραπάνω αντίδραση παράγεται δζον ( $O_3$ ), που σε συγκεντρώσεις άνω του 1 ppm προκαλεί σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο.

### **24.3.2 Οξείδια του θείου ( $SO_x$ ).**

Εκτός από την «όξινη βροχή» και τον ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος, τα οξειδία του θείου έχουν έντονη διαβρωτική επίδραση στις μεταλλικές επιφάνειες, με τις οποίες έρχονται σε επαφή. Τούτο οφείλεται στη μετατροπή τους σε θειικό οξύ, αφού πρώτα οξειδωθούν από  $\text{SO}_2$  σε  $\text{SO}_3$  και κατόπιν ενωθούν με νερό, που είναι βασικό συστατικό των καυσαερίων



### 24.3.3 Υδρογονάνθρακες.

Προέρχονται, κυρίως από την εξάτμιση των πτητικών συστατικών των υγρών και σίμων κατά την αποθήκευση ή τη μεταφορά τους, και σε μικρότερο βαθμό από ατελή καύση. Στην παρουσία τους, μαζί με τα οξείδια του αζώτου, οφείλεται ο σχηματισμός του φωτοχημικού νέφους (παράγρ. 24.3.1).

#### **24.3.4 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).**

Είναι πολύ τοξικό αερίο. Εισπνεόμενο, διά των πνευμόνων μεταφέρεται στο αίμα όπου δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη και σχηματίζει την ανθρακυλαιμοσφαιρίνη εμποδίζοντας έτσι το ρόλο της αιμοσφαιρίνης, δηλαδή τη μεταφορά του οξυγόνου και την κυκλοφορία του διά του αίματος.

Σε μικρή αναλογία προκαλείται εξάφρα ζάλη, δύσπνοια, καρδιακή αρρυθμία, ενώ σε μεγαλύτερα ποσά επέρχεται κώμα και τελικά θάνατος.

#### 24.3.5 Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ).

Ευθύνεται για το «φαινόμενο του θερμοκηπίου», δηλαδή τη σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης (παράγρ. 24.2), γιατί το στρώμα του  $\text{CO}_2$  εμποδίζει την απαγωγή της θερμότητας από την επιφάνεια της γης προς το διάστημα. Έτσι επέρχεται μία σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας της οποίας η μέση τιμή προβλέπεται ότι θα γίνει αισθητή ως το τέλος του αιώνα μας, ενώ ως το τέλος του επόμενου αιώνα (21ος) η αύξηση αυτή θα υπερβεί τους  $5^{\circ}\text{C}$ . Αυτό, μεταξύ άλλων θα προκαλέσει τήξη των πάγων στους πόλους, που θα επιφέρει ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, προκαλώντας πλημμύρες στις παράκτιες ζώνες.

#### **24.3.6 Αιθάλη (καπνός).**

Η αιθάλη αποτελείται από κόκκους άνθρακα, που είναι προϊόν ατελούς καυσεώς και είναι γνωστή ως «καπνός». Μαζί με τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια, πο-

προέρχονται από την τέφρα των καυσίμων, επιδρούν δυσμενώς στην υγεία του ανθρώπου.

#### 24.3.7 Μόλυβδος.

Οι ενώσεις του μολύβδου έχουν ισχυρή τοξική δράση στον οργανισμό του ανθρώπου και η παρουσία τους στον αέρα πρέπει να διατηρείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα ( $2\text{mg}/\text{m}^3$ ). Προέρχεται από ενώσεις, όπως ο T.E.L. (τετρα-αιθυλικός μόλυβδος), που προστίθενται στη βενζίνη για την αύξηση του αριθμού οκτανίου, σε τέτοια αναλογία, ώστε η περιεκτικότητα της βενζίνης σε μόλυβδο να μην υπερβαίνει τα  $0,15 \text{ g/l}$ . Και τα όρια αυτά, εν τούτοις, δεν επαρκούν για την προστασία του περιβάλλοντος και του ανθρώπινου οργανισμού από την επιβλαβή δράση του μολύβδου. Έτσι σήμερα παράγεται βενζίνη χωρίς μόλυβδο, που προορίζεται για κινητήρες με καταλύτη. Με αυτόν τον τρόπο ο περιβάλλοντας απαλλάσσεται αφ' ενός από το μόλυβδο, αφ' ετέρου από ανεπιθύμητα συστατικά των καυσαερίων ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ), που οι καταλύτες απομακρύνουν.

#### 24.4 Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως και των επιβλαβών επιδράσεών της στον άνθρωπο, τους λοιπούς ζώντες οργανισμούς (ζώα, φυτά), και το περιβάλλον γενικότερα έχουν θεσπισθεί όρια τιμών για καθέναν από τους ρύπους. Οι τιμές αυτές εκφράζονται σε μικρογραμμάρια ( $\text{mg}$ ) ανά  $\text{m}^3$  αέρα (εκτός από το  $\text{CO}$  που μετρείται σε  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), σε  $25^\circ\text{C}$  και πίεση 1 ατμόσφαιρα ή  $101,3 \text{ kPa}$ .

##### 24.4.1 Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ).

Τα όρια τιμών  $\text{SO}_2$  στην ατμόσφαιρα καθορίζονται πάντοτε σε σχέση με την παρουσία αιωρουμένων σωματιδίων (καπνός) και έχουν ως εξής:

Όρια τιμών  $\text{SO}_2$  σε  $\text{μg}/\text{m}^3$

Περίοδος αναφοράς	Τρόπος υπολογισμού	Ανώτατο όριο	Αιωρούμενα σωματίδια (καπνός) $\text{μg}/\text{m}^3$
'Έτος	Μέσος όρος των ημερησίων μέσων τιμών για 1 έτος.	80	>40
'Έτος	Μέσος όρος των ημερησίων μέσων τιμών για 1 έτος.	120	$\leq 40$
Χειμώνας	Μέσος όρος των ημερησίων μέσων τιμών για την περίοδο από 1 έως 31 Μαρτίου.	130	>60
Χειμώνας	Μέσος όρος των ημερησίων μέσων τιμών για την περίοδο από 1 έως 31 Μαρτίου.	180	$\leq 60$
'Έτος	98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών για 1 έτος.	250	>150
'Έτος	98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών για 1 έτος.	350	$\leq 150$

Τα παραπάνω όρια τιμών για  $\text{SO}_2$  ορίζονται με την υπ' αριθμόν 80/779 οδηγία της Επιτροπής των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, από 15 Ιουλίου 1980 και είναι υποχρεωτική για όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, άρα και για την Ελλάδα. Για την περιοχή της Αττικής, όπου το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως είναι οξύτερο, προβλέπεται η λήψη εκτάκτων μέτρων, όταν η περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε  $\text{SO}_2$  υπερβαίνει τα  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , επί 24ώρου βάσεως.

Ο Π.Ο.Υ. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) συνιστά τα παρακάτω όρια τιμών  $\text{SO}_2$ , ανάλογα με τη χρονική περίοδο, στην οποία αναφέρονται:

α) Για περίοδο 10 λεπτών	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
β) Για περίοδο 1 ώρας	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$
γ) Για περίοδο 24 ωρών	$100-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως ως προς το  $\text{SO}_2$  για 24ωρες τιμές χαρακτηρίζονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ (Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος) ως εξής:

Μέχρι  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : χαμηλά  
 $200 - 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : μέτρια  
 $250 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : υψηλά  
'Άνω των  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : πολύ υψηλά

Η Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρυπάνσεως και Θορύβου του ΥΠΕΧΩΔΕ αναφέρει ότι για το 1993 η ρύπανση της ατμόσφαιρας ως προς  $\text{SO}_2$  στην Αττική ήταν «πολύ υψηλή», σε ποσοστό 0,6%.

#### 24.4.2 Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).

Σύμφωνα με την απόφαση 85/203 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, που ισχύει από το Μάρτιο του 1985 για όλες τις χώρες της Ε.Ε. άρα και για την Ελλάδα, η περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε  $\text{NO}_x$  δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ως ο μέσος όρος των μέσων τιμών ανά ώρα, επί ετησίας βάσεως.

Ο Π.Ο.Υ για τα  $\text{NO}_x$  συνιστά τα παρακάτω όρια:

$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για περίοδο 1 ώρας  
 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για περίοδο 24 ωρών

Τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως ως προς  $\text{NO}_x$  για ωριαίες τιμές χαρακτηρίζονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ ως εξής:

Μέχρι  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : χαμηλά  
 $200-350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : μέτρια  
 $350-500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : υψηλά  
'Άνω από  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : πολύ υψηλά, οπότε και λαμβάνονται έκτακτα μέτρα.

Για το 1993, 70% των ημερών στην Αττική η ρύπανση από  $\text{NO}_x$  ήταν χαμηλή, το 25% μέτρια, το 4% υψηλή και μόνον το 0,3% η ρύπανση ήταν πολύ υψηλή.

#### 24.4.3 Αιωρούμενα σωματίδια (καπνός).

Τα όρια τιμών σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  δίδονται στον παρακάτω πίνακα, ανάλογα με την περίοδο στην οποία αναφέρονται οι μετρήσεις:

Περίοδος αναφοράς	Τρόπος υπολογισμού	Ανώτατο όριο ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Έτος Χειμώνας	Ο μέσος όρος των ημερησίων μέσων τιμών για 1 έτος.	80
Έτος	Ο μέσος όρος των ημερησίων μέσων τιμών από 1 Οκτ. ως 31 Μαρτ. Το 98% όλων των ημερησίων μέσων τιμών για 1 έτος.	130
		250

Ο χαρακτηρισμός των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως ως προς τα αιρούμενα σωματίδια (καπνός) για 24ωρες τιμές έχει ως εξής:

Μέχρι  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : χαμηλή

$250 - 275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : μέτρια

$275 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : υψηλή

Άνω των  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : πολύ υψηλή, οπότε λαμβάνονται έκτακτα μέτρα.

Από τις μετρήσεις της Διευθύνσεως Ε.Α.Ρ.Θ. του ΥΠΕΧΩΔΕ στην Αττική το 1993, βρέθηκε πολύ υψηλή ρύπανση ως προς τον καπνό, σε ποσοστό 0,3%.

#### 24.4.4 Όζον ( $O_3$ ).

Σχηματίζεται (βλ. παράγ. 24.3.1) κατά τη φωτοχημική αντίδραση των υδρογονανθράκων με τα οξείδια του αζώτου. Τα όρια συγκεντρώσεως του δύοντος στον αέρα, όπως ορίζονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ, έχουν ως εξής:

- Τα  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , για 8ωρη μέση τιμή αποτελούν «όριο προστασίας της υγείας».
- Τα  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για ωριαία μέση τιμή αποτελούν το «όριο ενημερώσεως του πληθυσμού».
- Τα  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για ωριαία μέση τιμή, επιβάλλουν συναγερμό για τη λήψη έκτακτων μέτρων.

Τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως, ως προς όζον, χαρακτηρίζονται ως εξής (σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ):

Για ωραίες τιμές μέχρι  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : χαμηλά

Για ωριαίες τιμές μέχρι  $200-250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : μέτρια

Για ωριαίες τιμές μέχρι  $250 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : υψηλά

Για ωριαίες τιμές άνω των  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : πολύ υψηλά

Πολύ υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως ως προς το όζον στην Αττική για το 1993 βρέθηκαν σε ποσοστό 1,4%.

#### 24.4.5 Μόλυβδος.

Η οριακή τιμή για μόλυβδο είναι  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ως μέσος όρος 24ωρων μετρήσεων για 1 έτος και με την προϋπόθεση ότι έχει υπολογισθεί σπουδαίως τουλάχιστον ημέρσιες τιμές για κάθε μιγκά.

Η παρουσία του μολύβδου στην ατμόσφαιρα προσδιορίζεται σπουδαίως με την μεθόδο της Βενζίνες,

στις οποίες ως γνωστόν (Κεφάλαιο 5) οι ενώσεις του μολύβδου βελτιώνουν την ποιότητα καύσεως, αυξάνοντας τον αριθμό οκτανίου. Με τη χρήση της αμόλυβδης βενζίνης, που τείνει να γενικευθεί, η ρύπανση της ατμόσφαιρας από μόλυβδο περιορίζεται σημαντικά.

#### 24.4.6 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Ο Π.Ο.Υ. συνιστά τα παρακάτω όρια περιεκτικότητας CO στον ατμοσφαιρικό αέρα:

- Για μετρήσεις 15 λεπτών:  $100 \text{ mg/m}^3$
- Για μετρήσεις 30 λεπτών:  $60 \text{ mg/m}^3$
- Για μετρήσεις 1 ώρας:  $30 \text{ mg/m}^3$
- Για μετρήσεις 8 ωρών:  $10 \text{ mg/m}^3$ .

και με την παρατήρηση ότι η έκθεση σε αυτές τις συγκεντρώσεις δεν πρέπει να παρατείνεται για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα από τα παραπάνω αναφερόμενα, και δεν πρέπει να επαναλαμβάνεται πριν περάσουν 8 ώρες.

Για 8ωρες τιμές τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως ως προς CO χαρακτηρίζονται ως εξής:

Μέχρι  $15 \text{ mg/m}^3$ : χαμηλά  
 $15\text{-}20 \text{ mg/m}^3$ : μέτρια  
 $20\text{-}25 \text{ mg/m}^3$ : υψηλά  
'Άνω των  $25 \text{ mg/m}^3$ : πολύ υψηλά.

Από τις μετρήσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ (Διεύθυνση Ε.Α.Ρ.Θ.) το 1993 στην Αττική, το 95% των ημερών η ρύπανση ως προς CO ήταν χαμηλή και μόνο στο 1% των ημερών παρατηρήθηκε υψηλή ρύπανση (καμιά μέρα με πολύ υψηλή, πράγμα που αποδίδεται στην εξάπλωση της χρήσεως των καταλυτών στα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα).

#### 24.5 Ρύπανση από ναυτικές μηχανές.

Το ποσοστό συμμετοχής στη ρύπανση του περιβάλλοντος από τη λειτουργία των ναυτικών μηχανών ποικύλλει σε ευρέα όρια που εκτιμώνται από 3 ως 30% αναλόγως:

- α) Του είδους των μηχανών.
- β) Του είδους και της ποιότητας των καυσίμων.
- γ) Των συνθηκών και του τρόπου λειτουργίας της μηχανής.
- δ) Των κλιματολογικών συνθηκών.
- ε) Του είδους του ρυπαντή.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τα πλοία δεν αποτελούσε πρόβλημα, διότι επικρατούσε η άποψη ότι η ρύπανση ήταν ασήμαντη, αφού τα πλοία κινούνται, ως επί το πλείστον, μακριά από κατοικημένες περιοχές. Προσεκτικότερες μελέτες έδειξαν ότι η συμμετοχή των πλοίων στη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ολοένα και πιο σημαντική.

Το 7% του  $\text{NO}_x$  και το 4% του  $\text{SO}_x$  που παράγονται στη γη προέρχεται από τη λειτουργία των ναυτικών μηχανών αν και ορισμένοι ερευνητές δίνουν πολύ υψη-

λότερες τιμές (ως 30% για τα  $\text{NO}_x$ ).

Κατά την τελευταία δεκαετία το πρόβλημα της ρυπάνσεως του περιβάλλοντος από τη Ναυτιλία αποσχολεί σοβαρά τόσο τις κυβερνήσεις των διαφόρων κρατών, όσο και διάφορους διεθνείς οργανισμούς και έχουν εκπονήσει προγράμματα για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Μεταξύ αυτών, ο IMO [(International Maritime Organization) (Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας)] έχει θέσει τα παρακάτω όρια για δύο βασικούς ρυπαντές: τα  $\text{NO}_x$  και τα  $\text{SO}_x$ .

α) Μείωση κατά 50% για τις εκπομπές  $\text{SO}_x$  ως το έτος 2000.

β) Μείωση κατά 30% για τις εκπομπές  $\text{NO}_x$  ως το έτος 2000 που πιστεύεται ότι θα οδηγήσουν στη σοβαρή άμβλυνση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως από τη Ναυτιλία.

Η αποδοχή των παραπάνω ορίων από τους ενδιαφερόμενους (κυρίως την πλοιοκτησία), δεν είναι εύκολη, διότι συνεπάγεται σοβαρές οικονομικές επιβαρύνσεις, όπως προκύπτει από τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να ελεγχθεί και να μειωθεί η ρύπανση που προέρχεται από τα πλοία (παράγ. 24.6).

Για να εκτιμηθεί η συμβολή της ρυπάνσεως του ατμοσφαιρικού αέρα από τη λειτουργία των ναυτικών μηχανών, πρέπει πρώτα να καθορισθούν τα όρια τιμών κάθε ρύπου στα καυσαέρια, που οι ναυτικές μηχανές εκπέμπουν κατά τη λειτουργία τους.

Οι τιμές των ρύπων στα καυσαέρια δίνονται σε γραμμάρια ανά κιλοβατώρα παραγόμενης ενέργειας ( $\text{g/kWh}$ ) ή σε kg ανά τόνο καταναλισκόμενου πετρελαίου ( $\text{kg/τυ. πετρελαίου}$ ) και είναι φυσικό να κυμαίνονται στα ευρέα όρια, αφού εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής (RPM).
- Ο βαθμός αποδόσεως της μηχανής (θερμική απόδοση).
- Το φορτίο, υπό το οποίο η μηχανή εργάζεται.
- Η αναλογία καυσίμου/αέρα (AFR).
- Το είδος καυσίμου.

Από συστατικά δεδομένα πολλών μετρήσεων προκύπτουν οι παρακάτω τιμές για τους σημαντικότερους ρύπους:

Είδος ρύπου	Όρια τιμών	
	g/kWh	kg/τυ. πετρ.
1. Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).	10-20	60-80
2. Υδρογονάνθρακες.	0,2-0,6	2,5-3
3. Στερεά σωματίδια.	0,1-1	—
4. Μονοξείδιο του άνθρακα.	0,1-0,8	8-10
5. Οξείδια θείου ( $\text{SO}_x$ ) (για πετρέλαιο που περιέχει 3% θείο).	10-18	20-30

## 24.6 Τρόποι περιορισμού ρυπάνσεως από τις ναυτικές πετρελαιομηχανές.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ρόλος της Ναυτιλίας στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως σε παγκόσμια κλίμακα είναι σοβαρός. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για τη μείωση των ρύπων, που εκπέμπονται στον

αέρα με τα καυσαέρια, οι περισσότεροι από τους οποίους, συνεπάγονται οικονομική επιβάρυνση, πράγμα που εξηγεί την καθυστέρηση λήψεως μέτρων για την εφαρμογή τους. Προβλέπεται, παρόλα αυτά, ότι σύντομα οι ενδιαφερόμενοι, δηλαδή:

- Οι κατασκευαστές μηχανών.
- Τα διυλιστήρια, οι εταιρείες πετρελαιοιειδών και
- οι πλοιοκτήτες

Θα προχωρήσουν στη λήψη των μέτρων αυτών, αφού θα τα επιβάλλει η ανάγκη συμμορφώσεως προς νόμους ή κανονισμούς ή ακόμα και διεθνείς συμφωνίες.

Η έρευνα και οι προσπάθειες στρέφονται κυρίως προς τον περιορισμό των  $\text{NO}_x$  και  $\text{SO}_x$ , ώστε να καταστεί δυνατή η μείωση ως το έτος 2000 των μεν  $\text{NO}_x$  σε 50%, των δε  $\text{SO}_x$  σε 30% των σημερινών ορίων. Οι σπουδαιότεροι τρόποι για τη μείωση των παραπάνω ρύπων περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

#### 24.6.1 Μείωση των $\text{NO}_x$

Οι σπουδαιότεροι τρόποι μειώσεως των  $\text{NO}_x$  στα καυσαέρια είναι:

1) **Η καθυστέρηση εγχύσεως του καυσίμου.** Αυτή μπορεί να προκαλέσει μείωση της περιεκτικότητας σε  $\text{NO}_x$  στα καυσαέρια μέχρι 15%, λόγω μειώσεως της θερμοκρασίας, που δεν ευνοεί το σχηματισμό των  $\text{NO}_x$ . Τούτο, φυσικά, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού αποδόσεως της μηχανής.

2) **Η έγχυση νερού** στο θάλαμο καύσεως ή χρησιμοποίηση γαλακτωμάτων νερού/πετρελαίου. Με αυτά μειώνεται επίσης η εκπομπή  $\text{NO}_x$ . Έχει αποδειχθεί ότι προσθήκη νερού σε αναλογία 10% του καυσίμου, προκαλεί μείωση των  $\text{NO}_x$  κατά 6-12%.

3) **Η ανακύκλωση των καυσαερίων.** Γίνεται σε ιδιαίτερο χώρο, όπου τα καυσαέρια ψύχονται, οπότε το συμπυκνούμενο νερό διαλύει τα οξειδία του αζώτου και του θείου, από τα οποία τα καυσαέρια τελικά απαλλάσσονται. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι ανακυκλώνοντας περίπου 20% των καυσαερίων, επιτυγχάνεται μείωση των  $\text{NO}_x$  κατά 50% περίπου.

4) **Χρήση καταλυτών.** Είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου από τα καυσαέρια, ιδίως όταν πρόκειται για καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, όπως είναι το ελαφρό πετρέλαιο (gas oil ή diesel oil). Οι καταλύτες είναι διατάξεις, που περιέχουν ουσίες ικανές να ανάγουν τα οξειδία του αζώτου, μέχρι καθαρό άζωτο ( $\text{N}_2$ ). Συνήθως δρουν παρουσία αναγωγικών ουσιών, που εγχέονται στο καύσιμο, δύπως είναι η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και η ουρία.

#### 24.6.2 Μείωση $\text{SO}_x$

Η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξειδία του θείου εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Επειδή τα βαριά πετρέλαια που χρησιμοποιούν ως καύσιμα οι ναυτικές πετρελαιομηχανές περιέχουν θείο που φθάνει το 5%, επόμενο είναι τα καυσαέρια να περιέχουν σημαντικές ποσότητες  $\text{SO}_x$ , που είναι ένας από τους χειρότερους ρύπους. Ο σπουδαιότερος, λοιπόν, τρόπος μειώσεως  $\text{SO}_x$  στα καυσαέρια είναι η χρήση πετρελαίου καλύτερης ποιότητας, δηλαδή με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (μέχρι 1,5%) παρ' όλο που αυτό συνεπάγεται υψηλότερο κόστος λειτουργίας.

Έχει υπολογισθεί ότι η μείωση της περιεκτικότητας του θείου σε 1,5%, ως α-

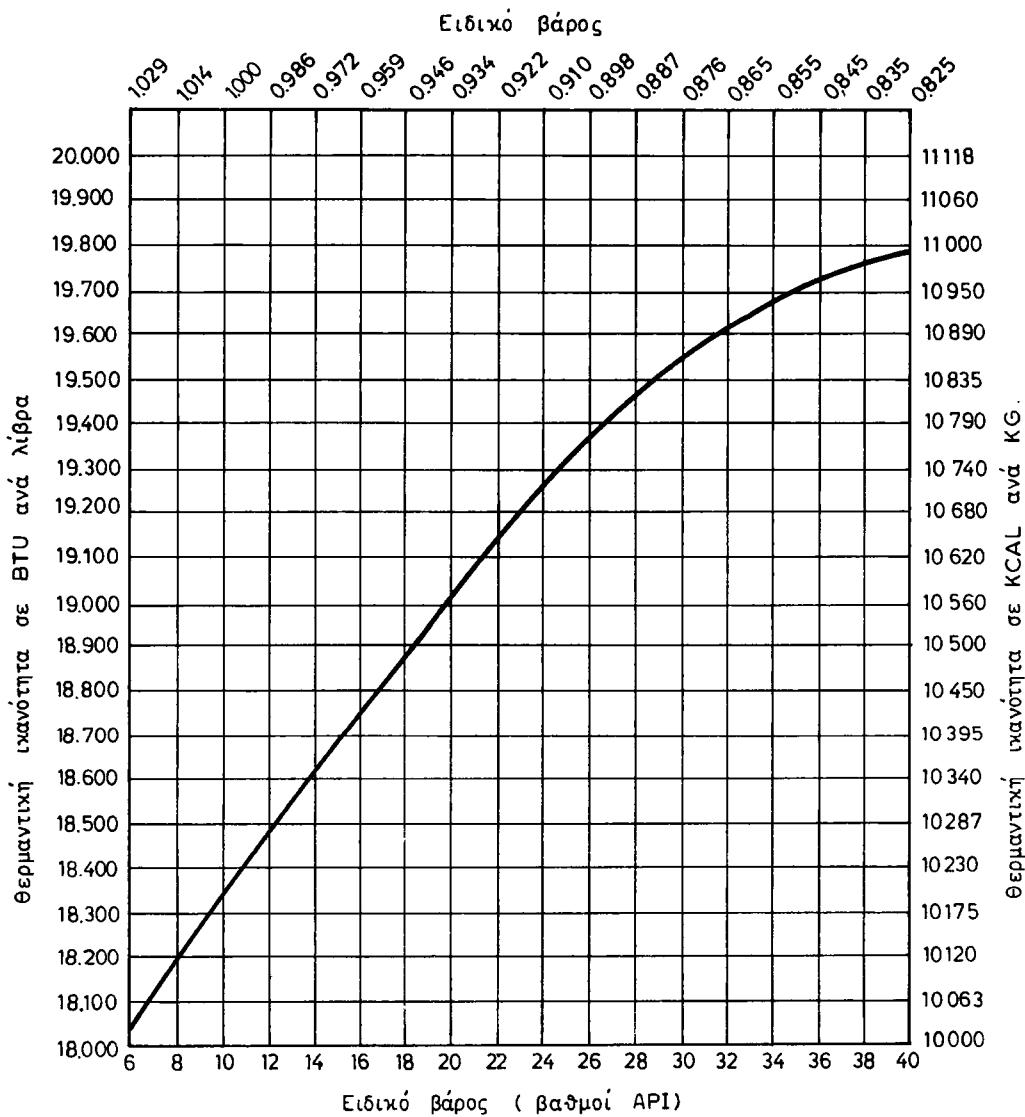
νώτατο όριο για τα καύσιμα των ναυτικών πετρελαιομηχανών, απαιτεί επενδύσεις παγκοσμίως της τάξεως των \$20 δισεκατομμυρίων και αύξηση της τιμής του πετρελαίου κατά \$50 ανά μετρικό τόνο.

#### **24.6.3 Αιωρούμενα σωματίδια (αιθάλη).**

Πρόκειται περί κόκκων άνθρακα που προέρχονται από την ατελή καύση του πετρελαίου. Περίσσεια αέρα θα μπορούσε να οδηγήσει σε τέλεια καύση, χωρίς αιθάλη, αλλά πέραν ενός ορισμένου ορίου, αυτό θα μείωνε το βαθμό αποδόσεως της μηχανής, αφού ο αέρας αυτός θα μετέφερε άσκοπα σημαντικά ποσά θερμότητας.

Εκτός από τη ρύθμιση του βαθμού περίσσειας αέρα για τον οποίο γίνεται λόγος στην παράγραφο 2.4, η αιθάλη μπορεί επίσης να ελαττωθεί με τη χρήση γαλακτωμάτων πετρελαίου και νερού, με αναλογία νερού έως 20%.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'**  
**Πίνακες ευρέσεως θερμαντικής ικανότητας από το ειδικό βάρος**



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'**

**Παράδειγμα αναλυτικού πίνακα λιπαντικών που υποδεικνύονται από την εταιρία SHELL  
(για το πλοίο X)**

a/a	ΛΙΠΑΝΟΜΕΝΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ	ΤΜΗΜΑ ή ΣΗΜΕΙΟ ΛΙΠΑΝΣΕΩΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ
1	ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΗ Τετρακύλινδρη πετρελαιομηχανή Doxford, δίχρονη, ισχύος 4400 BHP σε 112 grm	α) Κύλινδρος β) Στροφαλοθάλαμος γ) Λιπαντήρια (γρασσαδόροι)	Έλαιο ALEXIA 50 Έλαιο TALPA 30 Στέαρ ALVANIA R3
2	Αντλίες κυκλοφορίας νερού ψύξεως	α) Λιπαντήρια	Στέαρ ALVANIA R3
3	Ωστικοί τριβείς (Michell)	α) Έδρανα ηλεκτροκινητήρα	Έλαιο TALPA 30
4	Μηχανισμός στρέψεως (πηδάλιο) ηλεκτροκίνητος	β) Κέλυφος αλύσου γ) Εγκιβωτισμένοι οδοντωτοί τροχοί δ) Ανοικτοί οδοντωτοί τροχοί	Στέαρ ALVANIA R3 Έλαιο TALPA No 30
5	Ακροπρυμναίο έδρανο (στορέας)	—	Έλαιο VALVATA 1000
6	Ηλεκτρομηχανές: α) Ντηζελογεννήτρια Paxman 4RPHZ ισχύος 45 kW β) Ατμογεννήτρια Sunderland 45 kW	α) Κύλινδροι και έδρανα β) Έδρανα γεννήτριας	Στέαρ BARBATIA No 4 (γραφιτωμένο) Θαλασσινό νερό Έλαιο GADINIA/MELINA 30 TURBO OIL T 78
7	Αεριοσυμπιεστές Weir τριών βαθμίδων, ατμοκίνητοι	α) Ατμοκύλινδροι β) Έδρανα γεννήτριας	Έλαιο VALVATA 1000 TURBO OIL T 78
8	Αντλίες ηλεκτροκίνητες	α) Ατμοκύλινδροι β) Στροφαλοθάλαμοι συμπιεστή	Έλαιο VALVATA 1000 TURBO OIL T 78
9	Αντλία πυρκαϊάς ντηζελοκίνητη (πετρελαιομηχανή Petter)	Έδρανα ηλεκτροκινητήρα Στροφαλοθάλαμος πετρελαιομηχανής	Στέαρ ALVANIA R3 GADINIA/MELINA 30
10	Αντλίες ατμοκίνητες (Weir) (Κύτους, τροφοδοτικές λέβητα, μεταγγίσεως πετρελαίου, ελαίου, καυσίμου λέβητα, έρματος)	Ατμοκύλινδροι, διωστήρες, ευθυντηρίες	Έλαιο VALVATA 1000 Έλαιο TALPA No 30
11	Φυγοκεντρικοί καθαριστές α) Πετρελαίου β) Ελαίου λιπάνσεως	α) Έδρανα ηλεκτροκινητήρα β) Οδοντωτοί τροχοί και έδρανα περιστρεφόμενου τυμπάνου (Bowl)	Στέαρ ALVANIA R3 Έλαιο TALPA No 50
12	Ανεμιστήρες	Έδρανα ηλεκτροκινητήρων	Στέαρ ALVANIA R3
13	Ανυψωτήρας (γερανός) ηλεκτροκίνητος ανυψωτικής ικανότητας 6 τόνων	α) Έδρανα ηλεκτροκινητήρα και λιπαντήρια β) Ανοικτοί οδοντωτοί τροχοί	Στέαρ ALVANIA R3
14	Πηδάλιο	α) Υδραυλικό σύστημα β) Έδρανα κινητήρα γ) Λιπαντήρια (γρασσαδόροι)	Στέαρ BARBATIA No 4 TURBO OIL T 78
15	Εργάτης (Emerson Walker)	α) Κύλινδροι β) Έδρανα (σφαιροτριβείς) γ) Ανοικτοί οδοντωτοί τροχοί	Έλαιο TALPA No 30 Στέαρ ALVANIA R3 VALVATA OIL 1000
16	Μπίγια φορτίων	α) Κύλινδρος β) Στροφαλοθάλαμοι και γρανάζια	Στέαρ ALVANIA R3 CARDIUM COMPOUND D Έλαιο VALVATA 1000
17	Μπίγια επωτίδων	α) Έδρανα κινητήρων και γρασσαδόροι	Έλαιο TALPA No 30 Στέαρ ALVANIA R3
18	Αντιδιαβρωτικό υγρό δικτύων ψύξεως κύριας μηχανής Diesel		ENSIS FLUID SDC

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ'**  
**Τύποι λιπαντικών διαφόρων εταιριών**  
**(εμπορικές ονομασίες)**

α/α	Προορισμός	B.P.	Προτεινόμενα λιπαντικά	
			ESSO <sup>(*)</sup>	MOBIL
	<b>Α) Λάδια MEK</b>			
1.	Λίπανση κυλίνδρων μηχανών DIESEL (Diesel Cylinder Oils)	BP ENERGOL DL-MP	Tro-Mar SR 40	Mobilgard 493
2.	Λίπανση εδράνων και εμβόλων (Λάδια στροφαλοθαλάμων) (Diesel Grankcase oils)	BP ENERGOL OE-M 30	Tro-Mar SR 30	Mobilgard 300
3.	Λίπανση μηχανών Diesel με ενιαίο σύστημα λιπάνσεως κυλίνδρων και εδράνων.	BP ENERGOL IC-HF	Tro-Mar HD 30	Mobilgard 312 ή Mobilgard 324
	<b>Β) Λίπανση μηχανών ατμού</b>			
4.	Λίπανση ατμοκυλίνδρων (κυλινδρέλαια)	BP ENERGOL AC ή DC	Marmax 150	Mobil extra Hecla Super Cylinder Oil
5.	Λίπανση ατμοστροβίλων (τουρμπινέλαια)	BP ENERGOIL THB	Tro-mar T	Mobil DTE Oil DTE Heavy
	<b>Γ) Άλλα λιπαντικά</b>			
6.	Υδραυλικά λάδια	BP ENERGOL HLP	ESSO ATF	Mobil DTE Oil Series 10
7.	Ψυκτικά λάδια	BP ENERGOL LPT	Zerice S	Mobil arcticoil 300
8.	Λιπαντικά οδοντωτών τροχών	BP ENERGOL GR-XP	Spartan EP	Mobilgear
9.	Λιπαντικά λίπη (γράσσα) γενικής χρήσεως.	BP ENERGREASE LS-EP	Beacon EP2	Mobilux No 2
10.	Στέαρ γραφιτωμένο	BP ENERGREASE GP-G	—	Mobilgrease Special
11.	Λιπαντικό ανοικτών οδοντωτών τροχών (Open Gear Lubricant)	BP-ENERGOL OG	Surett Fluid 30	Mobiltac D
12.	Αντισκωριακό σπανέλαιο	DIATSOL-M	Kutwell 40	Soluble Oil G

(\*) Στην Ελλάδα η εταιρία είναι γνωστή ως EKO.

(\*\*) Ο πρώτος αριθμός του τριψήφιου συμβολισμού αντιστοιχεί στη δεκάδα της κλίμακας SAE, ενώ τα άλλα δύο ψηφία δίνουν το TBN (π.χ. 565 σημαίνει, ξώδες SAE 50 και TBN 65).

(\*\*\*) Οι αριθμοί αναφέρονται σε τιμές ξώδους cSt σε 50 C.

(συνεχίζεται)

SHELL	TEXACO	FINA	ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Alexia Oil 50	Taro Special	VEGANO 565/570**	Λάδια απορρυπαντικού τύπου, βαρέων απαιτήσεων (HD) ενισχυμένα με αλκαλικά πρόσθετα αλκαλικής αντιδράσεως.
Talpa Oil 30 ή Melina 30	Doro 30 ή Doro AR 30	SOLCO B 300**	Είναι επίσης λάδια βαρέων απαιτήσεων, με ίξωδες SAE 30 και υψηλό V.I. κατάλληλα ως λάδια στροφαλοθαλάμων μηχανής Diesel. Δεν περιέχουν αλκαλικά πρόσθετα (TBN = 0).
Gardinia 30	Taro Medium	GILANO 310/410**	Λάδια MEK ισχυρά ενισχυμένα, μη αλκαλικά αντιρρυπαντικά και αντιοξειδωτικά πρόσθετα.
Valvata Oil 1000	650 T Mineral Cyl. Oil	Cylan LP	Συνήθως περιέχουν μικρή αναλογία ζωικών λιπών, και πρόσθετα που υποβοηθούν το σχηματισμό σταθερού γαλακτώματος, που να αντέχει στο ξέπλυμα από τον υγροποιούμενο ατμό.
Turbo T 78	Regal 130*** (R & O)	Turbine Oil EP	Ενισχυμένα με πρόσθετα υψηλής πιέσεως (EP), απαραίτητων για την αντιμετώπιση των δυσμενών συνθηκών που αντιμετωπίζονται στους μειωτήρες των στροβίλων από τις υψηλές πιέσεις και τα κρουστικά φορτία.
Tellus	Regal 68*** (R & O)	Hydran	Σε υδραυλικά συστήματα και μηχανισμούς πλοίων.
Clavus Oil 68 Talpa Oil 30	Capella oil 32*** Meropa 220***	Purfrigol MP 68 GIRAN	Λίπανση ψυκτικών μηχανών. Ορυκτέλαια με καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και αντοχή σε μεγάλες πιέσεις.
Alvania R 3	Regal AFB 2	Marson HTL	Γράσσα με πολλαπλές χρήσεις, που περιέχουν αντιδιαβρωτικά και αντιοξειδωτικά πρόσθετα.
Barbatia No 4	Grease 904	Mercon G	Συνήθως περιέχουν σάπωνες λιθίου. —
Gardium Compound D	Crater 1X	Cabline 2750 SL	Λιπαντικό που προσκολλάται στις λιπανόμενες επιφάνειες, ώστε να τις προστατεύει από τη σκωρίαση. Στην αρχή έχει ημίρρευστη μορφή, αλλά μετά την εξάτμιση του διαλύτη παραμένει μια λιπαντική μεμβράνη, ισχυρά προσκολλημένη στις μεταλλικές επιφάνειες.
Dromus B	Soluble Oil C	RUSAN 27	Ελαιώδης ουσία, διαλυτή στο νερό, που προστίθεται στο δίκτυο ψύξεως των πετρελαιομηχανών, ώστε να το προστατεύει από τη διάβρωση.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ'

Αναγωγή παρατηρούμενου ειδικού βάρους σε ειδικό βάρος σε 60°F (15°C)

Θερμοκρασία σε °F	Παρατηρούμενο ειδικό βάρος											
	0,920	0,930	0,940	0,950	0,960	0,970	0,980	0,990	1,000	1,010	1,020	1,030
	Αντίστοιχο ειδικό βάρος σε 60/60°F											
70	0,9235	0,9335	0,9435	0,9535	0,9635	0,9735	0,9835	0,9935	1,0035	1,0135	1,0235	1,0335
71	0,9239	0,9339	0,9439	0,9539	0,9639	0,9739	0,9839	0,9939	1,0039	1,0138	1,0238	1,0338
72	0,9243	0,9342	0,9442	0,9542	0,9642	0,9742	0,9842	0,9942	1,0042	1,0142	1,0242	1,0341
73	0,9246	0,9346	0,9446	0,9546	0,9646	0,9746	0,9846	0,9946	1,0045	1,0145	1,0245	1,0345
74	0,9250	0,9350	0,9449	0,9549	0,9649	0,9749	0,9849	0,9949	1,0049	1,0149	1,0248	1,0348
75	0,9253	0,9353	0,9453	0,9553	0,9653	0,9753	0,9853	0,9953	1,0052	1,0152	1,0252	1,0352
76	0,9257	0,9357	0,9456	0,9556	0,9656	0,9756	0,9856	0,9956	1,0056	1,0156	1,0255	1,0355
77	0,9260	0,9360	0,9460	0,9560	0,9660	0,9760	0,9860	0,9960	1,0059	1,0159	1,0259	1,0359
78	0,9264	0,9364	0,9464	0,9563	0,9663	0,9763	0,9863	0,9963	1,0063	1,0163	1,0262	1,0362
79	0,9267	0,9367	0,9467	0,9567	0,9667	0,9767	0,9867	0,9966	1,0066	1,0166	1,0266	1,0365
80	0,9271	0,9371	0,9471	0,9570	0,9670	0,9770	0,9870	0,9970	1,0070	1,0169	1,0269	1,0369
81	0,9274	0,9374	0,9474	0,9574	0,9674	0,9774	0,9874	0,9973	1,0073	1,0173	1,0273	1,0372
82	0,9278	0,9378	0,9478	0,9577	0,9677	0,9777	0,9877	0,9977	1,0077	1,0176	1,0276	1,0376
83	0,9281	0,9381	0,9481	0,9581	0,9681	0,9781	0,9881	0,9980	1,0080	1,0180	1,0279	1,0379
84	0,9285	0,9385	0,9485	0,9584	0,9684	0,9784	0,9884	0,9984	1,0084	1,0183	1,0283	1,0383
85	0,9288	0,9388	0,9488	0,9588	0,9688	0,9788	0,9887	0,9987	1,0087	1,0187	1,0286	1,0386
86	0,9292	0,9392	0,9492	0,9591	0,9691	0,9791	0,9891	0,9991	1,0090	1,0190	1,0290	1,0389
87	0,9295	0,9395	0,9495	0,9595	0,9695	0,9795	0,9894	0,9994	1,0094	1,0194	1,0293	1,0393
88	0,9299	0,9399	0,9498	0,9598	0,9698	0,9798	0,9898	0,9998	1,0097	1,0197	1,0297	1,0396
89	0,9302	0,9402	0,9502	0,9602	0,9702	0,9801	0,9901	1,0001	1,0101	1,0200	1,0300	1,0400
90	0,9306	0,9406	0,9505	0,9605	0,9705	0,9805	0,9905	1,0005	1,0104	1,0204	1,0303	1,0403
91	0,9309	0,9409	0,9509	0,9609	0,9709	0,9808	0,9908	1,0008	1,0108	1,0207	1,0307	1,0406
92	0,9313	0,9413	0,9512	0,9612	0,9712	0,9812	0,9912	1,0011	1,0111	1,0211	1,0310	1,0410
93	0,9316	0,9416	0,9516	0,9616	0,9715	0,9815	0,9915	1,0015	1,0114	1,0214	1,0314	1,0413
94	0,9320	0,9420	0,9519	0,9619	0,9719	0,9819	0,9919	1,0018	1,0118	1,0217	1,0317	1,0417
95	0,9323	0,9423	0,9523	0,9623	0,9722	0,9822	0,9922	1,0022	1,0121	1,0221	1,0320	1,0420
96	0,9327	0,9427	0,9526	0,9626	0,9726	0,9826	0,9925	1,0025	1,0125	1,0224	1,0324	1,0423
97	0,9330	0,9430	0,9530	0,9630	0,9729	0,9829	0,9929	1,0029	1,0128	1,0228	1,0327	1,0427
98	0,9334	0,9433	0,9533	0,9633	0,9733	0,9832	0,9932	1,0032	1,0132	1,0231	1,0331	1,0430
99	0,9337	0,9437	0,9537	0,9638	0,9736	0,9836	0,9936	1,0035	1,0135	1,0235	1,0334	1,0434
100	0,9341	0,9440	0,9540	0,9640	0,9740	0,9839	0,9939	1,0039	1,0138	1,0238	1,0338	1,0437
101	0,9344	0,9444	0,9544	0,9643	0,9743	0,9843	0,9943	1,0042	1,0142	1,0241	1,0341	1,0441
102	0,9348	0,9447	0,9547	0,9647	0,9747	0,9846	0,9946	1,0046	1,0145	1,0245	1,0344	1,0444
103	0,9351	0,9451	0,9551	0,9650	0,9750	0,9850	0,9949	1,0049	1,0149	1,0248	1,0348	1,0447
104	0,9355	0,9454	0,9554	0,9654	0,9753	0,9853	0,9953	1,0052	1,0152	1,0252	1,0351	1,0451
105	0,9358	0,9458	0,9557	0,9657	0,9757	0,9856	0,9956	1,0056	1,0155	1,0255	1,0355	1,0454
106	0,9362	0,9461	0,9561	0,9661	0,9760	0,9860	0,9960	1,0059	1,0159	1,0258	1,0358	1,0458
107	0,9365	0,9465	0,9564	0,9664	0,9764	0,9863	0,9963	1,0063	1,0162	1,0262	1,0361	1,0461
108	0,9368	0,9468	0,9568	0,9667	0,9767	0,9867	0,9966	1,0066	1,0166	1,0265	1,0365	1,0464
109	0,9372	0,9472	0,9571	0,9671	0,9770	0,9870	0,9970	1,0069	1,0169	1,0269	1,0368	1,0468
110	0,9375	0,9475	0,9575	0,9674	0,9774	0,9874	0,9973	1,0073	1,0172	1,0272	1,0372	1,0471
111	0,9379	0,9478	0,9578	0,9678	0,9777	0,9877	0,9977	1,0076	1,0176	1,0275	1,0375	1,0475
112	0,9382	0,9482	0,9582	0,9681	0,9781	0,9880	0,9980	1,0080	1,0179	1,0279	1,0378	1,0478
113	0,9386	0,9485	0,9585	0,9685	0,9784	0,9884	0,9983	1,0083	1,0183	1,0282	1,0382	1,0481
114	0,9389	0,9489	0,9588	0,9688	0,9788	0,9887	0,9987	1,0086	1,0186	1,0286	1,0385	1,0485
115	0,9393	0,9492	0,9592	0,9691	0,9791	0,9891	0,9990	1,0090	1,0189	1,0289	1,0389	1,0488
116	0,9396	0,9496	0,9595	0,9695	0,9794	0,9894	0,9993	1,0093	1,0193	1,0292	1,0392	1,0492
117	0,9399	0,9499	0,9599	0,9698	0,9798	0,9897	0,9997	1,0096	1,0196	1,0296	1,0395	1,0495
118	0,9403	0,9502	0,9602	0,9702	0,9801	0,9901	1,0000	1,0100	1,0200	1,0299	1,0399	1,0498
119	0,9406	0,9506	0,9605	0,9705	0,9805	0,9904	1,0004	1,0103	1,0203	1,0303	1,0402	1,0502
120	0,9410	0,9509	0,9609	0,9708	0,9808	0,9907	1,0007	1,0107	1,0206	1,0306	1,0406	1,0505
121	0,9413	0,9513	0,9612	0,9712	0,9811	0,9911	1,0010	1,0110	1,0210	1,0309	1,0409	1,0509
122	0,9417	0,9516	0,9616	0,9715	0,9815	0,9914	1,0014	1,0113	1,0213	1,0313	1,0412	1,0512
123	0,9420	0,9520	0,9619	0,9719	0,9818	0,9918	1,0017	1,0117	1,0216	1,0316	1,0416	1,0515
124	0,9424	0,9523	0,9622	0,9722	0,9821	0,9921	1,0020	1,0120	1,0220	1,0319	1,0419	1,0519

(συνεχίζεται)

(συνέχεια Παραρτήματος Δ')

125	0,9427	0,9526	0,9626	0,9725	0,9825	0,9924	1,0024	1,0123	1,0223	1,0323	1,0423	1,0522
126	0,9430	0,9530	0,9629	0,9729	0,9828	0,9928	1,0027	1,0127	1,0227	1,0326	1,0426	1,0526
127	0,9434	0,9533	0,9633	0,9732	0,9832	0,9931	1,0031	1,0130	1,0230	1,0330	1,0429	1,0529
128	0,9437	0,9537	0,9636	0,9735	0,9835	0,9934	1,0034	1,0134	1,0233	1,0333	1,0433	1,0532
129	0,9441	0,9540	0,9639	0,9739	0,9838	0,9938	1,0037	1,0137	1,0237	1,0336	1,0436	1,0536
130	0,9444	0,9543	0,9643	0,9742	0,9842	0,9941	1,0041	1,0140	1,0240	1,0340	1,0440	1,0539
131	0,9447	0,9547	0,9646	0,9746	0,9845	0,9944	1,0044	1,0144	1,0243	1,0343	1,0443	1,0543
132	0,9451	0,9550	0,9650	0,9749	0,9848	0,9948	1,0047	1,0147	1,0247	1,0347	1,0446	1,0546
133	0,9454	0,9554	0,9653	0,9752	0,9852	0,9952	1,0051	1,0150	1,0250	1,0350	1,0450	1,0550
134	0,9458	0,9557	0,9656	0,9756	0,9855	0,9954	1,0054	1,0154	1,0254	1,0353	1,0453	1,0553
135	0,9461	0,9560	0,9660	0,9759	0,9858	0,9958	1,0057	1,0157	1,0257	1,0357	1,0457	1,0556
136	0,9464	0,9564	0,9663	0,9762	0,9862	0,9961	1,0061	1,0161	1,0260	1,0360	1,0460	1,0560
137	0,9468	0,9567	0,9666	0,9766	0,9865	0,9964	1,0064	1,0164	1,0264	1,0364	1,0463	1,0563
138	0,9471	0,9570	0,9670	0,9769	0,9868	0,9968	1,0067	1,0167	1,0267	1,0368	1,0467	1,0567
139	0,9475	0,9574	0,9673	0,9772	0,9872	0,9971	1,0071	1,0171	1,0270	1,0370	1,0470	1,0570

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε'**  
**Πίνακας μετατροπής θερμοκρασιών**

C	F	C	F
- 73	-100	-148	- 0,6
- 68	- 90	-130	0
- 62	- 80	-112	0,6
- 57	- 70	- 94	1,1
- 51	- 60	- 76	1,7
- 45,6	- 50	- 58	2,2
- 40	- 40	- 40	2,8
- 34,4	- 30	- 28	3,3
- 28,9	- 20	- 4	3,9
- 23,3	- 10	14	4,4
- 17,8	0	32	5,0
- 17,2	1	33,8	5,6
- 16,7	3	37,4	6,1
- 16,1	4	39,2	6,7
- 15,6	5	41	7,2
- 14,4	6	42,8	7,8
- 13,9	7	44,6	8,3
- 13,3	8	46,4	8,9
- 12,8	9	48,2	9,4
- 12,2	10	50	10
- 11,7	11	51,8	10,6
- 11,1	12	53,6	11,6
- 10,6	13	55,4	11,7
- 10	14	57,2	12,2
- 9,4	15	59	12,8
- 8,9	16	62,6	13,3
- 7,8	18	64,4	13,9
- 7,2	19	66,2	14,4
- 6,7	20	68	15
- 6,1	21	69,8	15,6
- 5,6	22	71,6	16,1
- 5,0	23	73,4	16,7
- 4,4	24	75,2	17,2
- 3,9	25	77	17,8
- 3,3	26	78,8	18,3
- 2,8	27	80,6	18,9
- 2,2	28	82,4	19,4
- 1,7	29	84,2	20
- 1,1	30	86	20,6

(συνεχίζεται)

C	F	C	F
21,2	70	158	43,9
21,7	71	159,8	44,4
22,2	72	161,6	45
22,8	73	163,4	45,6
23,3	74	165,2	46,1
23,9	75	167	46,7
24,4	76	168,8	47,2
25	77	170,6	47,8
25,6	78	172,4	48,3
26,1	79	174,2	48,9
26,7	80	176,0	49,4
27,2	81	177,8	50
27,8	82	179,6	50,6
28,3	83	181,4	51,1
28,9	84	183,2	51,7
29,4	85	185	52,2
30	86	186,8	52,8
30,6	87	188,6	53,3
31,1	88	190,4	53,9
31,7	89	192,2	54,4
32,2	90	194	55
32,8	91	195,8	55,6
33,3	92	197,6	56,1
33,9	93	199,4	56,7
34,4	94	201,2	57,2
35	95	203	57,8
35,6	96	204,8	58,3
36,1	97	206,6	58,9
36,7	98	208,4	59,4
37,2	99	210,2	60
37,8	100	212	60,6
38,3	101	219,8	61,1
38,9	102	215,6	61,7
39,4	103	217,4	62,2
40	104	219,2	62,8
40,6	105	221	63,3
41,1	106	222,8	63,9
41,7	107	224,6	64,4
42,2	108	225,3	65
42,8	109	228,2	65,6
43,3	110	230	66,1

(συνεχίζεται)

C	F	C	F
66,7	152	305,6	89,4
67,2	153	307,4	90
67,8	154	309,2	90,6
68,3	155	311	91,1
68,9	156	312,8	91,7
69,4	157	314,6	92,2
70	158	316,4	92,8
70,6	159	318,2	93,3
71,1	160	320	98,9
71,7	161	321,8	104,4
72,7	162	323,6	110
72,2	163	325,4	115,6
72,8	164	327,2	121,1
73,3	165	329	126,7
73,9	166	330,8	132,2
74,4	167	332,6	137,8
75,0	168	334,4	143,3
76,1	169	336,2	148,9
76,7	170	338	154,4
77,2	171	339,8	160
77,8	172	341,6	165,6
78,3	173	343,4	171,1
78,9	174	345,2	176,7
79,4	175	347	182,2
80	176	348,8	187,8
80,6	177	350,6	193,3
81,1	178	352,4	198,9
81,7	179	354,2	204,4
82,2	180	356	210
82,8	181	357,8	215,6
83,3	182	359,6	221,1
83,9	183	361,4	226,7
84,4	184	363,2	232,2
85	185	365	237,8
85,6	186	366,8	243,3
86,1	187	368,6	248,9
86,7	188	370,4	254,4
87,2	189	372,2	260
87,8	190	374	265,6
88,3	191	375,8	271,1
88,9	192	377,6	276,7

(συνέχεια Παραρτήματος Ε')

C	F	C	F
282,2	540	1004	298,9
287,8	550	1022	304,4
293,3	560	1040	310
			570
			580
			1058
			1076
			1094

Η χρήση του πίνακα γίνεται ως εξής: Ξεκινάμε από τη μεσαία στήλη όπου και βρίσκομε τον αριθμό, που αντιστοιχεί στη δεδομένη θερμοκρασία. Τη ζητούμενη θερμοκρασία αναζητούμε στη δεξιά στήλη (F), αν αυτή ζητείται σε βαθμούς °F ή στην αριστερή στήλη (C), αν ζητείται σε βαθμούς °C.

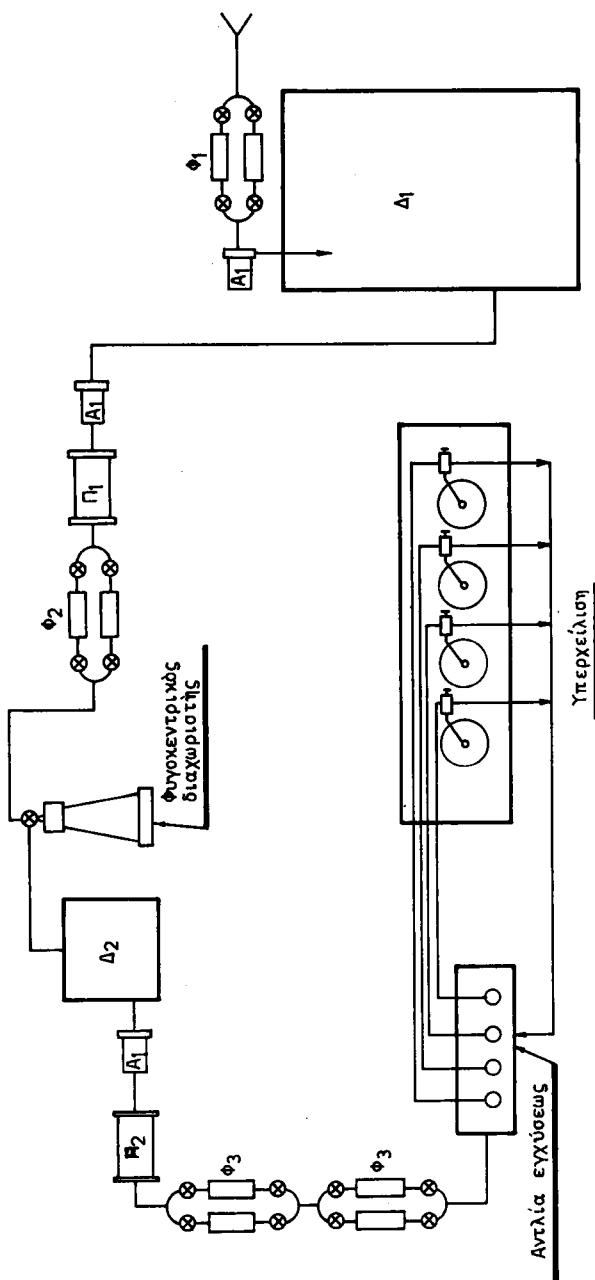
Π.χ. 20°C να μετατραπούν σε °F: Από τον αριθμό 20 της μεσαίας στήλης, πηγαίνουμε στη δεξιά στήλη (F), όπου διαβάζουμε την ένδειξη 68.

$$\text{Άρα: } 20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$$

Αντίθετα 20°F μετατρεπόμενοι σε °C μας δίνουν την ένδειξη  $-6,7$ , που βρίσκεται στην αριστερή στήλη (C).

$$\text{Άρα: } 20^{\circ}\text{F} = -6,7^{\circ}\text{C}$$

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ'  
Δίκτυο πετρελαίου κάνσεως**



Δ<sub>1</sub> - Αντλία μεταγίσεως

Φ<sub>1</sub> - Φ<sub>2</sub> - Φ<sub>3</sub> = φύλτρα πετρελαίου

Δ<sub>2</sub> - Δεξαμενή αστιχίσεως

Π<sub>1</sub> - Π<sub>2</sub> - Προσφερμαντήρες καυσίμων

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

#### Ενέργεια

1.1 Γενικά .....	1
1.2 Η ενέργεια ως δείκτης αναπτύξεως μιας χώρας .....	2
1.3 Μονάδες ενέργειας .....	3
1.4 Οι σπουδαιότερες πηγές ενέργειας .....	3
1.5 Άλλες πηγές ενέργειας .....	6
1.5.1 Η ηλιακή ενέργεια .....	6
1.5.2 Γεωθερμική ενέργεια .....	7
1.5.3 Ενέργεια από τη θάλασσα .....	7
1.5.4 Ενέργεια ανέμου (αιολική ενέργεια) .....	8

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

#### Γενικά περί καύσεως

2.1 Καύση - καύσιμα .....	10
2.2 Κατάταξη των καυσίμων .....	10
2.3. Είδη καύσεως.....	11
2.4 Τέλεια καύση.....	12
2.5 Ατελής καύση.....	13
2.6 Αναλογία αέρα προς καύσιμο (AFR Air - Fuel - Ratio) .....	13
2.6.1 Υπολογισμός της AFR .....	13
2.6.2 Σύσταση καυσαερίων.....	15
2.7 Ανάφλεξη .....	16
2.8 Αναλυτές καυσαερίων .....	18
2.9 Δείγματα καυσαερίων.....	25
2.10 Αυτανάφλεξη.....	25
2.11 Απώλειες καύσεως .....	26
2.12 Σημασία των καυσίμων .....	27

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

#### Υγρά καύσιμα - γενικά

3.1 Κατάταξη των υγρών καυσίμων .....	29
3.2 Το φυσικό πετρέλαιο .....	29
3.3 Ελληνικά πετρέλαια .....	30
3.4 Ιδιότητες του φυσικού πετρελαίου .....	33
3.5 Σύσταση του πετρελαίου.....	33
3.5.1 Υδρογονάνθρακες .....	33
3.5.2 Κατάταξη των υδρογονανθράκων ως προς τη δομή του μορίου .....	34
3.5.3 Κατάταξη των υδρογονανθράκων ως προς το βαθμό κορεσμού του μορίου .....	36
3.6 Ισομέρεια.....	38
3.7 Άλλα συστατικά των προϊόντων του πετρελαίου .....	39
3.7.1 Θείο .....	40
3.7.2 Ανόργανα συστατικά .....	40
3.7.3 Οξυγόνο και άζωτο .....	40
3.7.4 Ειδικά πρόσθετα (additives) .....	40
3.8 Προέλευση του πετρελαίου .....	40

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Παραγωγή και επεξεργασία του πετρελαίου

4.1 Γενικά .....	42
4.2 Έρευνα για την ανακάλυψη κοιτασμάτων πετρελαίου .....	42
4.3 Παραγωγή (ανόρυξη) .....	43
4.4 Επεξεργασία του πετρελαίου.....	44
4.5 Διύλιση .....	45
4.6 Προϊόντα του φυσικού πετρελαίου .....	47
4.6.1 Αέρια .....	47
4.6.2 Βενζίνες .....	48
4.6.3 Φωτιστικό πετρέλαιο ή Κεροζίνη.....	48
4.6.4 Πετρέλαιο Diesel (Gasoil) .....	49
4.6.5 Μαζούτ .....	49
4.7 Διεργασίες μετά το διαχωρισμό.....	49
4.7.1 Αναμόρφωση της νάφθας (reforming) .....	49
4.7.2 Εξευγενισμός .....	50
4.7.3 Πυρόλυση (cracking) .....	51
4.7.4 Κατεργασία των αερίων .....	52

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Βενζίνη

5.1 Γενικά .....	54
5.2 Ιδιότητες - Προδιαγραφές.....	54
5.3 Πητητικότητα .....	55
5.3.1 Χαμηλή πητητικότητα .....	57
5.3.2 Υψηλή πητητικότητα .....	57
5.4 Ποιότητα καύσεως - Αριθμός οκτανίου .....	58
5.4.1 Επίδραση της ποιότητας του καυσίμου στο κτύπημα .....	61
5.4.2 Επίδραση της μηχανής στο «κτύπημα» .....	63
5.5 Αριθμός ισχύος ή λειτουργίας ή συμπεριφοράς (performance number).....	65
5.6 Βαθμός καθαρότητας.....	66
5.6.1 Θειούχες ενώσεις .....	68
5.6.2 Κομμιώδεις ουσίες (gum) .....	68
5.7 Συνθετική βενζίνη.....	69

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Πετρέλαιο Diesel (Gasoil)

6.1 Γενικά .....	71
6.2 Ποιότητα αναφλέξεως - Αριθμός κετανίου.....	73
6.3 Μέτρηση του αριθμού κετανίου .....	77
6.3.1 Άμεσοι ή μηχανικοί τρόποι μετρήσεως του αριθμού κετανίου.....	77
6.3.2 Έμμεσοι ή εργαστηριακοί τρόποι μετρήσεως του αριθμού κετανίου .....	78
6.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το κτύπημα στις πετρελαιομηχανές.....	79
6.4.1 Ταχύτητα περιστροφής .....	80
6.4.2 Συμπίεση .....	80
6.4.3 Στροβιλισμός.....	80
6.4.4 Προπορεία εγχύσεως (avance) .....	80
6.4.5 Υπερπλήρωση (supercharge) .....	80
6.4.6 Φορτίο .....	81

6.5 Συνέπειες από τη χρήση καυσίμου με αντικανονικό αριθμό κετανίου .....	81
6.5.1 Καύσιμα με αριθμό κετανίου μικρότερο από τον κανονικό (υποκετανικά) .....	81
6.5.2 Καύσιμα με αριθμό κετανίου μεγαλύτερο του κανονικού (υπερκετανικό) .....	82
6.6 Λοιπές ιδιότητες του πετρελαίου Diesel.....	82
6.6.1 Ιξώδες.....	82
6.6.2 Πτητικότητα.....	83
6.6.3 Περιεκτικότητα θειούχων ενώσεων.....	83
6.6.4 Σημείο αναφλέξεως .....	85
6.6.5 Βαθμός καθαρότητας .....	85
6.6.6 Εξανθράκωμα (carbon residue).....	86
6.6.7 Σημείο ροής .....	86
6.6.8 Ειδικό βάρος .....	86

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Πετρέλαιο λεβήτων (Μαζούτ)

7.1 Γενικά .....	89
7.2 Ιδιότητες του μαζούτ .....	90
7.2.1 Ιξώδες .....	90
7.2.2 Θείο (θειάφι) .....	91
7.2.3 Βαθμός καθαρότητας .....	91
7.2.4 Σταθερότητα .....	92
7.3 Προδιαγραφές του μαζούτ .....	92

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### Καύσιμα ναυτικών πετρελαιομηχανών

8.1 Γενικά. Ιστορική αναδρομή .....	94
8.2 Κατάταξη των καυσίμων για ναυτικές μηχανές .....	96
8.3 Ποιοτική κατάταξη .....	97
8.4 Σημασία των προδιαγραφών .....	99
8.5 Η χρήση του μαζούτ στις μηχανές Diesel .....	99
8.5.1 Καθαρότητα .....	100
8.5.2 Ιξώδες .....	100
8.5.3 Ποιότητα καύσεως (αριθμός κετανίου) .....	102
8.5.4 Μεταλλικές προσμίξεις .....	103
8.6 Βελτίωση της ποιότητας του πετρελαίου με χημικά πρόσθετα .....	106
8.6.1 Διασκορπιστικά - Σταθεροποιητικά πρόσθετα .....	106
8.6.2 Απογαλακτωματοποιητικά πρόσθετα .....	107
8.6.3 Καταλύτες καύσεως (combustion catalysts) .....	107
8.6.4 Βελτιωτικά αριθμού κετανίου .....	108
8.6.5 Τροποποιητές τέφρας (Ash modifiers) .....	108
8.7 Το δίκτυο του πετρελαίου καύσεως .....	109
8.7.1 Δεξαμενές αποθήκευσεως .....	109
8.7.2 Δεξαμενές χρήσεως .....	109
8.7.3 Προθερμαντήρες .....	110
8.7.4 Φύλτρα .....	111
8.7.5 Φυγοκεντρικός καθαρισμός .....	112
8.8 Χρησιμοποίηση γαλακτωμάτων πετρελαίου με νερό στις ναυτικές πετρελαιομηχανές .....	120
8.9 Μείωση ιξώδους βαρέων καυσίμων (Vis-breaking) .....	121
8.10 Ανάμιξη καυσίμων .....	123

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### Η καύση του πετρελαίου στις μηχανές Diesel

9.1 Γενικά. Η χρηματία της καύσεως .....	124
9.2 Σημασία της καύσεως .....	127
<b>9.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση του πετρελαίου σε μηχανές Diesel .....</b>	<b>127</b>
9.3.1 Βαθμός συμπιεσεώς.....	127
9.3.2 Διασκορπισμός του καυσίμου.....	129
9.3.3 Διείσδυση.....	130
9.3.4 Χρόνος εγχύσεως (προπορεία) .....	131

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

### Καύσιμα αεριοστροβίλων

10.1 Γενικά περί αεριοστροβίλων .....	132
10.2 Καύσιμα αεριοστροβίλων .....	134
10.3 Η καύση στους θαλάμους καύσεως .....	135
<b>10.4 Ιδιότητες του καυσίμου που επιδρούν στην ποιότητα καύσεως .....</b>	<b>136</b>
10.4.1 Ιξώδες.....	136
10.4.2 Πτητικότητα.....	136
10.4.3 Σχηματισμός καπνού .....	136
10.4.4 Ξένες προσμίξεις .....	139
10.5 Προδιαγραφές καυσίμων αεριοστροβίλων .....	139
10.5.1 Καύσιμα αεροπορικών αεριοστροβίλων.....	139
10.5.2 Πετρέλαιο Diesel .....	140
10.5.3 Βαριά καύσιμα (μαζούτ) .....	141

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### Στερεά καύσιμα

11.1 Είδη στερεών καυσίμων .....	145
11.2 Γαιάνθρακες.....	145
<b>11.3 Κύρια χαρακτηριστικά των γαιανθράκων .....</b>	<b>148</b>
11.3.1 Θερμαντική ικανότητα .....	148
11.3.2 Υγρασία .....	148
11.3.3 Πτητικά .....	148
11.3.4 Τέφρα .....	149
11.3.5 Θείο (θειάφι) .....	149
11.3.6 Ανθεκτικότητα .....	149
11.3.7 Πτητικά - μόνιμος άνθρακας .....	149
11.4 Η αυτανάφλεξη των γαιανθράκων .....	149
11.5 Σημασία των γαιανθράκων ως πηγή ενέργειας.....	150
<b>11.6 Αξιοποίηση του άνθρακα για παραγωγή ενέργειας.....</b>	<b>150</b>
11.6.1 Καύση σε στερεά μορφή .....	150
11.6.2 Εξαερίωση του γαιανθρακα .....	152
11.6.3 Υγροποίηση του άνθρακα.....	154

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### Αέρια καύσιμα

12.1 Σημασία των αερίων καυσίμων .....	155
12.2 Φυσικά αέρια καύσιμα .....	156

12.3 Τεχνητά αέρια καύσιμα .....	156
12.3.1 Φωταέριο (town gas) .....	156
12.3.2 Υδαταέριο (water gas) .....	157
12.3.3 Πτωχό αέριο (producer gas) .....	157
12.3.4 Υγραέρια .....	158
12.3.5 Ακετυλένιο (Acetulénη) .....	159

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

### Καύσιμα πυραύλων

13.1 Γενικά .....	160
13.2 Στερεά καύσιμα .....	160
13.3 Υγρά καύσιμα.....	161

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Πυρηνικά καύσιμα

14.1 Γενικά .....	163
14.2 Εξώθερμες πυρηνικές αντιδράσεις πρακτικού ενδιαφέροντος .....	164
14.3 Πυρηνικοί αντιδραστήρες, πυρηνικά καύσιμα.....	166
14.4 Πρόωση πλοίων με πυρηνική ενέργεια.....	168

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Έλεγχος ποιότητας των καυσίμων

15.1 Η σημασία του ποιοτικού ελέγχου.....	170
15.2 Μακροσκοπική εξέταση. Βαθμός καθαρότητας.....	171
15.3 Ειδικό βάρος ή πυκνότητα .....	171
15.4 Ιξώδες .....	173
15.5 Απόσταξη .....	180
15.6 Σημείο αναφλέξεως και σημείο καύσεως.....	181
15.7 Θείο .....	183
15.8 Θερμαντική ικανότητα ή θερμογόνος δύναμη .....	185
15.9 Σημείο ροής .....	190
15.10 Μέτρηση του νερού .....	191
15.11 Εξανθράκωμα.....	192
15.12 Σημείο ανιλίνης .....	193
15.13 Βανάδιο .....	194

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

### Γενικά περί λιπάνσεως

16.1 Σκοπός και σημασία της λιπάνσεως .....	196
16.2 Τριβή.....	196
16.3 Έργο τριβής. Απώλειες λόγω τριβής .....	198
16.4 Αποτελέσματα της τριβής .....	200
16.5 Θεωρία της λιπάνσεως. Λιπαντική μεμβράνη.....	202
16.6 Κατανομή των πιέσεων .....	203
16.7 Παράγοντες που επιδρούν στη λίπανση.....	205
16.8 Η ομαλή λειτουργία της μηχανής και το λιπαντέλαιο .....	206

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Είδη λιπαντικών

17.1 Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός λιπαντικού .....	208
17.2 Κατάταξη των λιπαντικών .....	209
17.3 Ορυκτέλαια .....	212
17.4 Παραγωγή και επεξεργασία ορυκτελαίων .....	212
17.4.1 Απόσταξη σε κενό .....	212
17.4.2 Αποκήρωση.....	213
17.4.3 Κατεργασία με διαλύτες .....	214
17.4.4 Αποχρωματισμός .....	214
17.4.5 Χημικά πρόσθετα (additives) .....	215
17.5 Συνθετικά λιπαντικά .....	217
17.5.1 Εστέρες διβασικών οξέων .....	217
17.5.2 Οργανοφωσφορικοί εστέρες .....	217
17.5.3 Εστέρες του πυριτικού οξέος .....	217
17.5.4 Σιλικόνες .....	217
17.6 Στερεά λιπαντικά .....	219

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

### Έλεγχος ποιότητας των λιπαντικών

18.1 Σκοπός και σημασία του ποιοτικού ελέγχου .....	220
18.2 Δειγματοληψία .....	221
18.3 Μακροσκοπική εξέταση .....	222
18.4 Ιξώδες .....	223
18.5 Φαινόμενο ή φαινομενικό Ιξώδες .....	225
18.6 Δείκτης Ιξώδους .....	226
18.7 Σημείο ροής, σημείο νεφώσεως .....	228
18.8 Αντοχή στην οξείδωση .....	229
18.9 Αριθμός εξουδετερώσεως .....	230
18.10 Εξανθράκωμα .....	231
18.11 Συντελεστής αντοχής (Work factor) .....	232
18.12 Πιπητικότητα .....	232
18.13 Βαθμός καθαρότητας .....	233
18.14 Δοκιμή απογαλακτώσεως .....	234
18.15 Μηχανικές δοκιμασίες .....	234
18.16 Δοκιμές που μπορούν να γίνουν στο πλοίο .....	235

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

### Η χρήση των λιπαντικών - Συστήματα λιπάνσεως

19.1 Συστήματα λιπάνσεως .....	239
19.2 Λιπαντήριες διατάξεις .....	240
19.3 Λίπανση των εδράνων .....	242
19.4 Ωστικοί τριβείς .....	243

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

### Λίπανση MEK

20.1 Γενικά για τη λίπανση MEK .....	245
--------------------------------------	-----

20.2 Λίπανση βενζινομηχανών .....	247
20.2.1 Δίχρονες βενζινομηχανές .....	247
20.2.2 Τετράχρονες βενζινομηχανές .....	248
20.3 Λίπανση μηχανών Diesel .....	252
20.3.1 Γενικά για τη λίπανση των μηχανών Diesel .....	252
20.3.2 Λίπανση τριβέων .....	255
20.3.3 Λίπανση κυλίνδρου .....	257
20.3.4 Λίπανση στροβιλοφυσητήρων .....	258
20.4 Προδιαγραφές λιπαντελαίων μηχανών Diesel .....	259
20.5 Νεότερες εξελίξεις στη λίπανση των πετρελαιομηχανών .....	260

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### 'Άλλες περιπτώσεις λιπάνσεως

21.1 Λίπανση ατμοστροβίλων .....	263
21.2 Λίπανση παλινδρομικών ατμομηχανών .....	266
21.2.1 Εσωτερική λίπανση .....	266
21.2.2 Εξωτερική λίπανση .....	268
21.3 Λίπανση ψυκτικών μηχανών .....	269
21.3.1 Εσωτερική λίπανση .....	269
21.3.2 Εξωτερική λίπανση .....	270
21.4 Λίπανση οδοντωτών τροχών .....	270
21.5 Μονωτικά λάδια .....	272
21.6 Λάδια κοπής .....	275

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Άλλοιώσεις των λιπαντικών κατά τη χρήση

22.1 Αίτια των αλλοιώσεων .....	276
22.1.1 Φυσιολογικά αίτια αλλοιώσεως των λιπαντικών .....	276
22.1.2 Λειτουργικά αίτια των αλλοιώσεων .....	277
22.2 Συνέπειες των αλλοιώσεων. Τρόπος αντιμετωπίσεως .....	279
22.3 Καθαρισμός του λιπαντικού κατά τη χρήση του .....	279
22.3.1 Φυσιολογικοί καθαριστήρες ή καθαριστές .....	280
22.3.2 Φίλτρα .....	280
22.4 Αντικατάσταση του λιπαντικού .....	283
22.5 Αναζωογόνηση των λιπαντελαίων (re-refining) .....	286

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### Λιπαντικά λίπη (γράσσα)

23.1 Γενικά .....	288
23.2 Παραγωγή λιπαντικών λιπών (γράσσων) .....	289
23.2.1 Πρώτες ύλες .....	289
23.2.2 Διαδικασία παραγωγής .....	290
23.3 Κατάταξη των γράσσων .....	290
23.3.1 Γράσσα με σάπωνες ασβεστίου .....	290
23.3.2 Γράσσα με σάπωνες νατρίου .....	291
23.3.3 Γράσσα με σάπωνες αργιλίου .....	291
23.3.4 Γράσσα με σάπωνες λιθίου .....	291
23.3.5 Γράσσα με σάπωνες βαρίου .....	291
23.3.6 Γράσσα με σάπωνες μολύβδου .....	291

23.4 Ιδιότητες των γράσσων. Ποιοτικός έλεγχος .....	293
23.4.1 Σταθερότητα (stability) .....	293
23.4.2 Συνεκτικότητα (consistency) .....	294
23.4.3 Φαινόμενο ιξώδες (apparent viscosity) .....	295
23.4.4 Σημείο σταγόνας .....	296
23.4.5 Αντοχή στην οξείδωση .....	296
23.4.6 Αντίσταση στο νερό .....	297
23.5 Προδιαγραφές γράσσων .....	297

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Ρύπανση περιβάλλοντος λόγω καύσεως

24.1 Γενικά .....	298
24.2 Ρυπαντές προερχόμενοι από την καύση .....	298
24.3 Συνέπειες της ρυπάνσεως .....	299
24.3.1 Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) .....	299
24.3.2 Οξείδια του θείου ( $\text{SO}_x$ ) .....	300
24.3.3 Υδρογονάνθρακες .....	300
24.3.4 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) .....	300
24.3.5 Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) .....	300
24.3.6 Αιθάλη (καπνός) .....	300
24.3.7 Μόλυβδος .....	301
24.4 Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας .....	301
24.4.1 Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) .....	301
24.4.2 Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) .....	302
24.4.3 Αιωρούμενα σωματίδια (καπνός) .....	302
24.4.4 Όζον ( $\text{O}_3$ ) .....	303
24.4.5 Μόλυβδος .....	303
24.4.6 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) .....	304
24.5 Ρύπανση από Ναυτικές μηχανές .....	304
24.6 Τρόποι περιορισμού ρυπάνσεως από τις ναυτικές πετρελαιομηχανές .....	305
24.6.1 Μείωση των $\text{NO}_x$ .....	306
24.6.2 Μείωση $\text{SO}_x$ .....	306
24.6.3 Αιωρούμενα σωματίδια (αιθάλη) .....	307
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' .....	308
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' .....	309
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ' .....	310
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ' .....	312
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε' .....	314
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ' .....	318

---

**COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

---



