

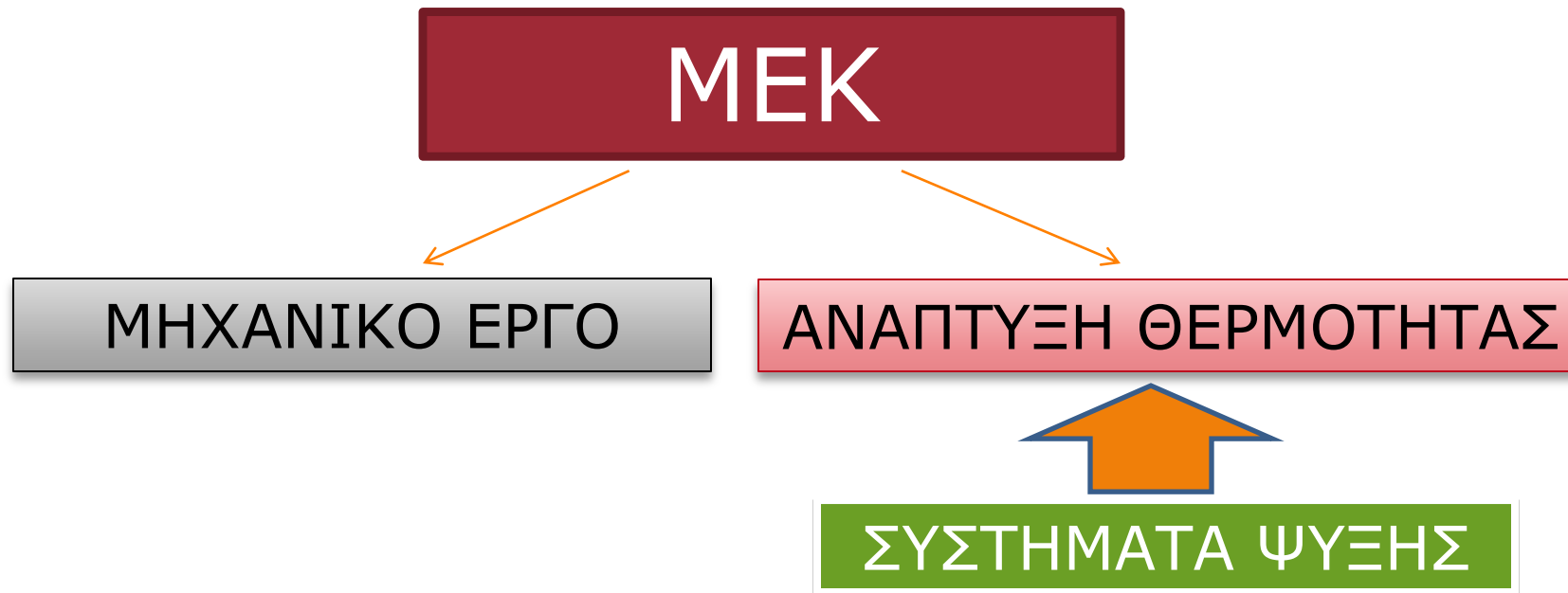
# ΨΥΞΗ – ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ - ΚΑΥΣΙΜΑ

- Δυο μαθήματα
- Ερωτήσεις - Ασκήσεις για το σπίτι στο τέλος του δεύτερου μαθήματος

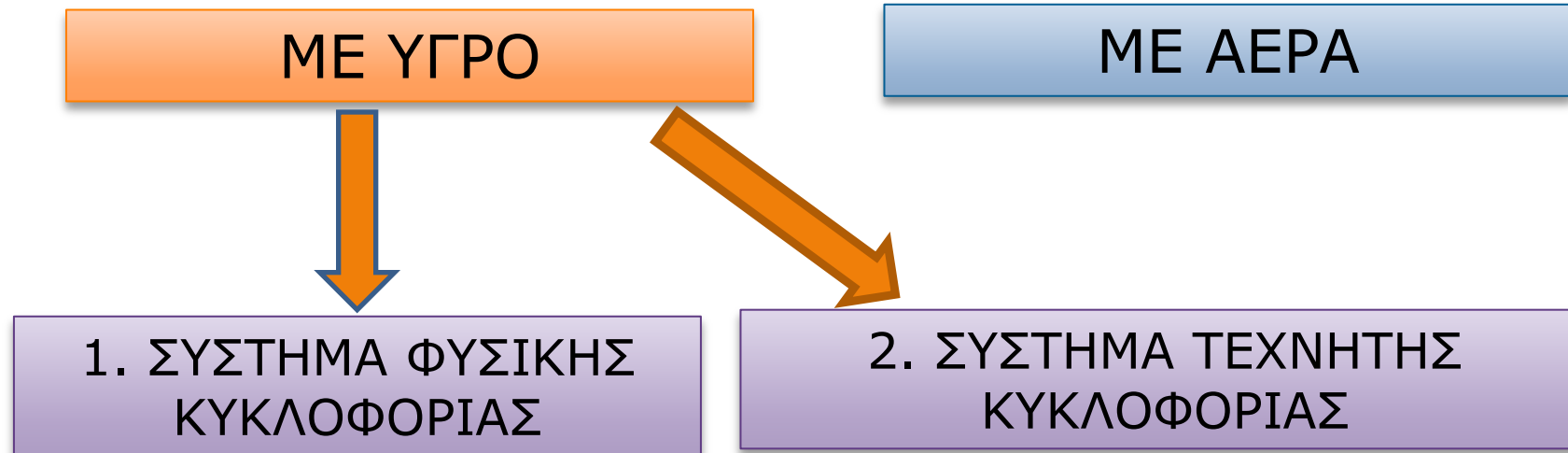
**ΨΥΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

# ΨΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΚ

1. Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία των ΜΕΚ η θερμότητα που αναπτύσσουν.
2. Δεν δύναται να μετατραπεί όλη σε μηχανική ενέργεια.
3. Αναγκαίο το σύστημα απαγωγής της αναπτυσσόμενης θερμότητας προς αποφυγής δυσάρεστων προβλημάτων.
4. Η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης είναι διπλάσια από εκείνη που λιώνει ο σίδηρος.



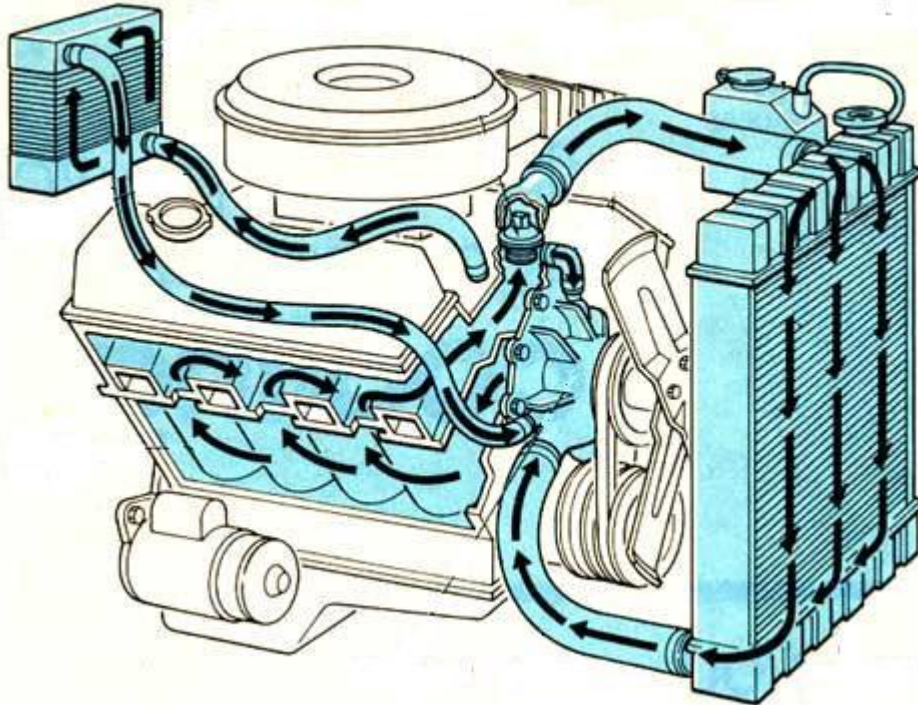
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ



1. Ένα σύστημα ψύξης πρέπει κατά προσέγγιση να απομακρύνει τόση θερμότητα όση μετατρέπει ο κινητήρας σε μηχανική ενέργεια.

- 30% μετατροπή της Θερμικής Ενέργειας σε Μηχανική
- 40% διαφεύγει με τα καυσαέρια στο περιβάλλον
- 30% απάγεται από το σύστημα ψύξης
- Ένα μέρος της θερμότητας απάγεται από το σύστημα λίπανσης, από την έγχυση και εξαέρωση του καυσίμου και μέσω της ακτινοβολίας στο περιβάλλον

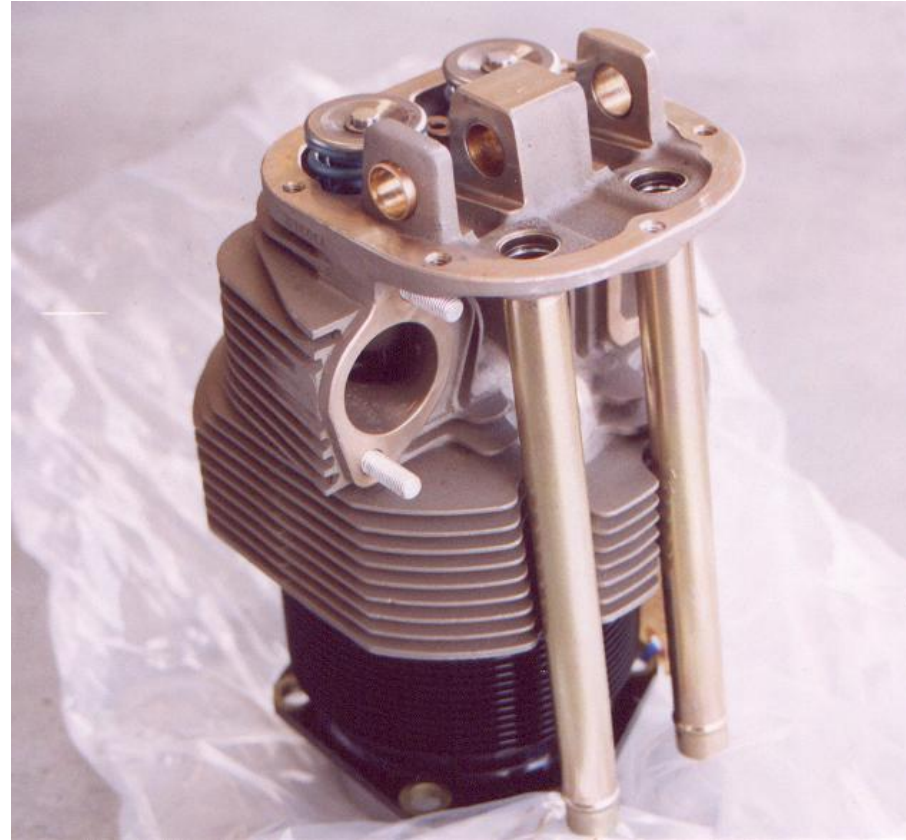
# ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ



1. Ψυκτικό μέσο: νερό ή μίγμα του με αιθυλενογλυκόλη.
2. Κρύα κλίματα:
  - Αιθυλική αλκοόλη (0 έως  $-38^{\circ}\text{C}$ )
  - Μεθυλική αλκοόλη
  - Αιθυλενογλυκόλη

1. Ψυκτικό υγρό (μίγμα αιθυλενίου και γλυκόλης με νερό)
2. Αντλία νερού
3. Ψυγείο και πώμα πίεσης (κατασκευάζονται από ορείχαλκο, χαλκό ή αλουμίνιο)
4. Δοχείο διαστολής ή συμπλήρωσης ψυκτικού υγρού
5. Χιτώνια ψύξης (υδροχιτώνια – υδροθάλαμοι κορμού), τάπες διαστολής
6. Θερμοστάτης (περιέχει παραφίνη), ανοίγει στους 88 έως  $91^{\circ}\text{C}$
7. Ανεμιστήρας
8. Σύστημα θέρμανσης
9. Προειδοποιητικός αισθητήρας υπερθέρμανσης

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ



# **ΛΙΠΑΝΤΙΚΗ & ΚΑΥΣΙΜΗ ΎΛΗ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

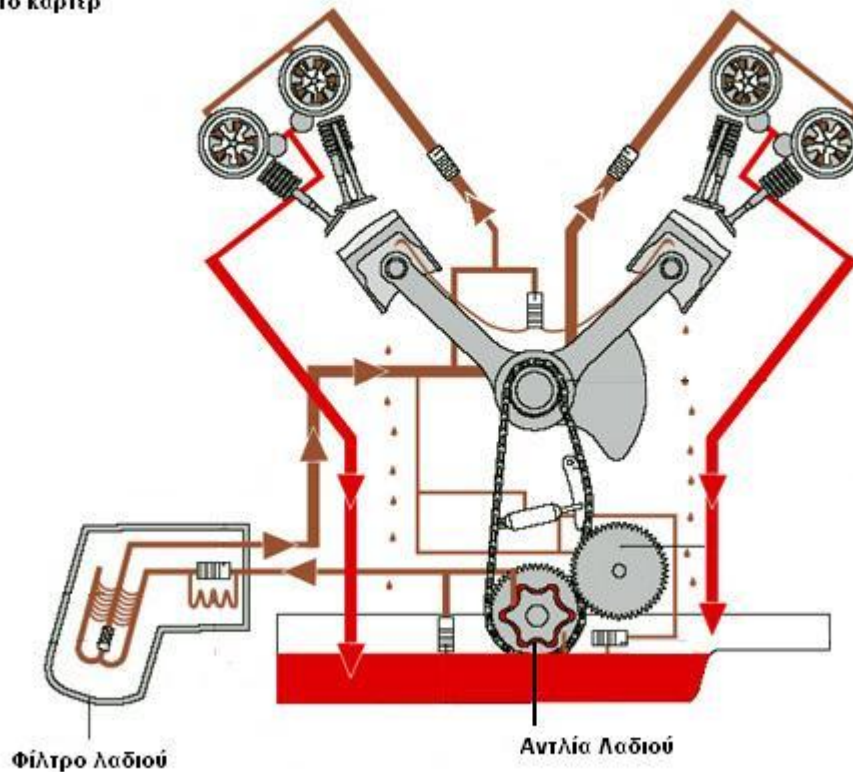
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

ΜΕ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ

ΜΕ ΠΙΕΣΗ

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΠΙΕΣΗ

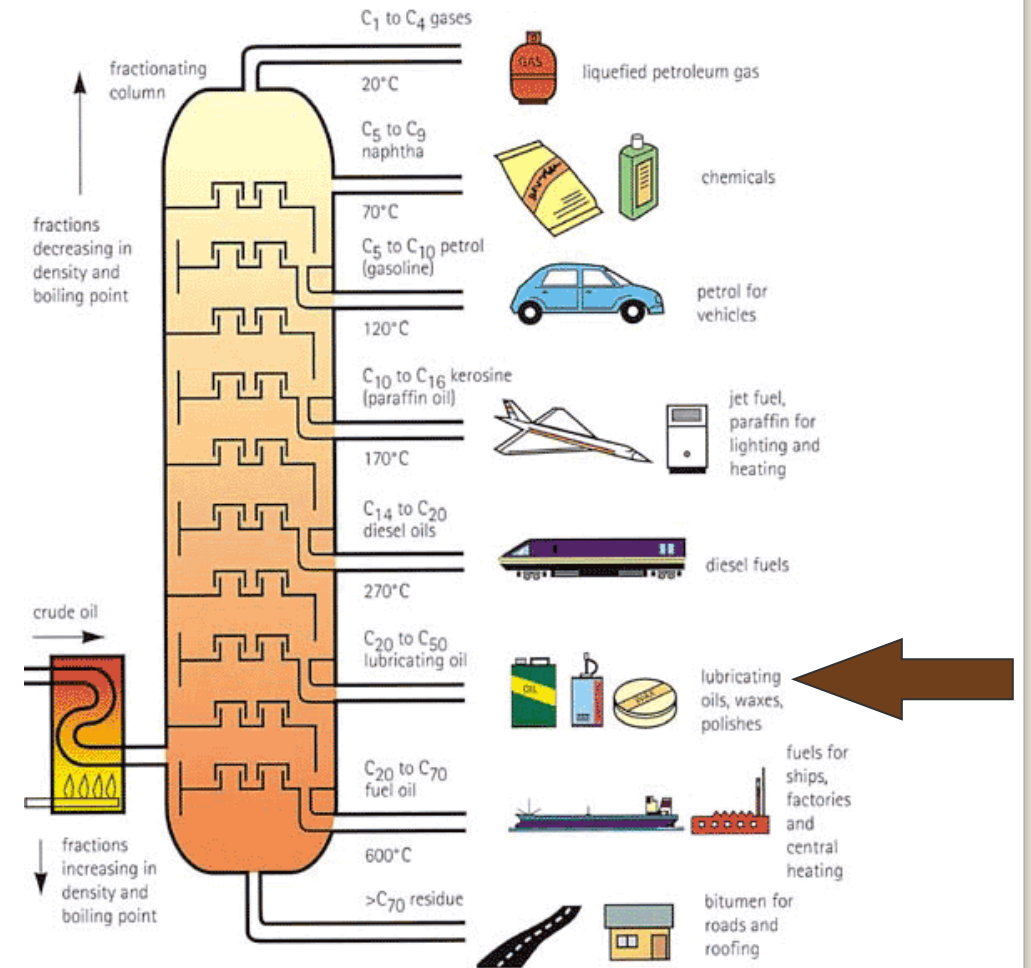
■ Λάδι υπό πίεση  
■ Επιστροφή λαδιού  
Λάδι στο κάρτερ



1. Αντλία λαδιού και σωλήνας αναρρόφησης
2. Ανακουφιστική βαλβίδα ή βαλβίδα υπερπίεσης
3. Ελαιολεκάνη και δείκτης λαδιού
4. Σύστημα διανομής λαδιού (σωληνώσεις, αγωγοί)
5. Φίλτρο
6. Τσιμούχες και φλάντζες
7. Έδρανα κινητήρα
8. Σύστημα εξαερισμού
9. Όργανο πίεσης λαδιού
10. Ψυγείο λαδιού.

# ΕΙΔΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ-ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

- Ορυκτέλαια – Mineral Oils
  - Προέρχονται από το αργό πετρέλαιο
  - Παρασκευάζονται με απόσταξη υπό κενό του υπολείμματος της ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου.
  - Τα πλευρικά προϊόντα της απόσταξης υπό κενό, υφίστανται κατάλληλες επεξεργασίες για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους και αποτελούν τα βασικά έλαια από τα οποία παρασκευάζονται με κατάλληλη ανάμιξη τα ορυκτέλαια.
- Συνθετικά Βασικά Έλαια

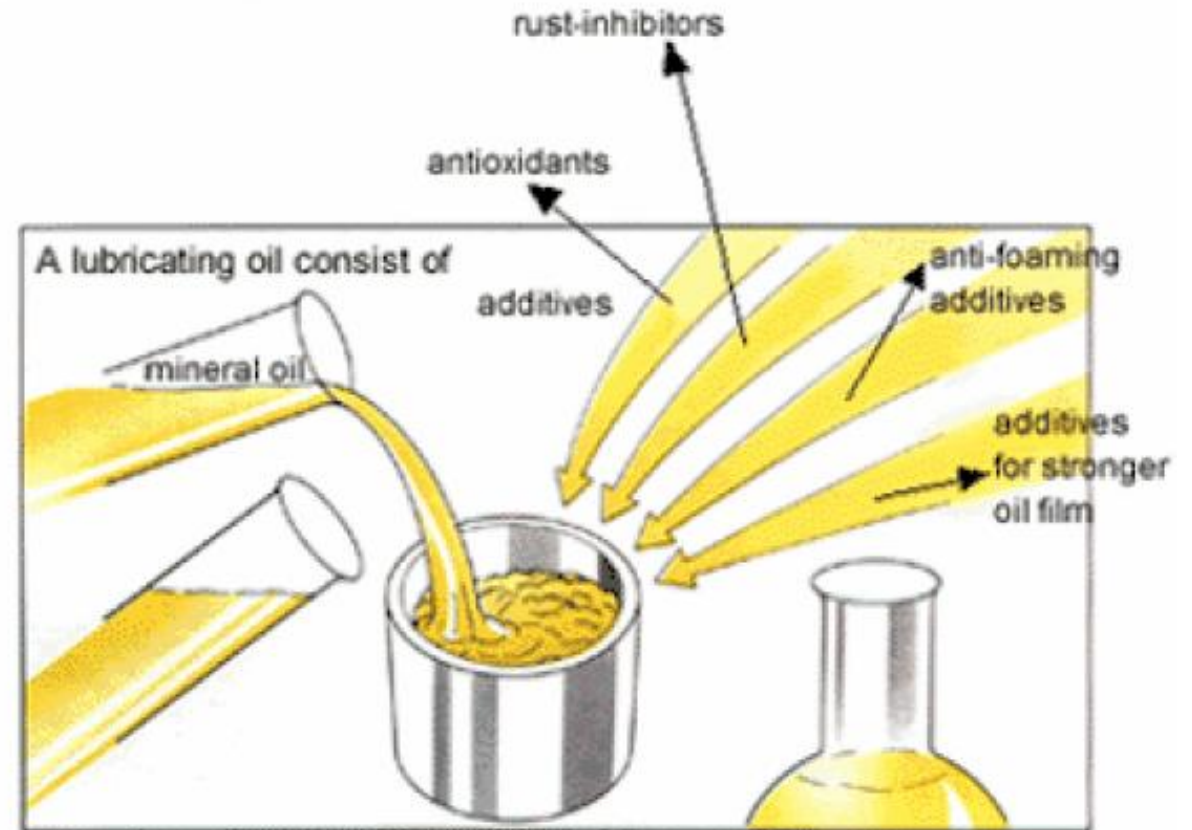


## Πρόσθετα Ορυκτελαίων

- Τα έλαια βάσης (προϊόντα απόσταξης αργού πετρελαίου) λίπαιναν ικανοποιητικά πολλούς τύπους μηχανών για πολλά χρόνια.
- Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη των μηχανών απαίτησε την χρήση σύνθετων λιπαντικών.
- Συστατικά που προστίθενται στα λιπαντικά είναι γνωστά ως πρόσθετα:
  - Συνθετικές ενώσεις ή
  - Μίγματα τους.

## Γιατί προστίθενται τα πρόσθετα;

- Για τους εξής λόγους:
  - Βελτίωση κάποιας (ή κάποιων) από τις βασικές ιδιότητες του βασικού ορυκτελαίου.
  - Πρόσδοση εντελώς νέων χαρακτηριστικών στο τελικό προϊόν.
  - Μείωση του ρυθμού ποιοτικής υποβάθμισης με την πάροδο τους χρόνου λειτουργίας του λιπαινόμενου συστήματος.



# Σύσταση υγρών λιπαντικών

## Τύποι πρόσθετων

- Αντιοξειδωτικά
- Καθαριστικά μέταλλου
- Πρόσθετα κατά της φθοράς
- Σταχεία διατήρησης ιξώδους
- Σταχεία μείωσης οξείδωσης
- Στοιχεία μείωσης τριβής
- Σταθεροποιητές σημείου ροής
- Σταχεία κατά του αφρίσματος



## Είδη βασικού λιπαντικού

- Συνθετικό λιπαντικό
- Υδροδιασπώμενο λιπαντικό
- Διλυμένο με διαλύτες λιπαντικό

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- Δείκτη Ιξώδους
  - το μέτρο της αντίστασης στην μεταβολή του ιξώδους.
  - Μείωση της μεταβολής του με τις αλλαγές θερμοκρασίας.
  - Βελτίωση χαρακτηριστικών ροής σε όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας
- Ταπεινωτές σημείου ροής
  - Αντιδρά με τους κρυστάλλους της παραφίνης που εμποδίζουν τη ροή του λιπαντικού στις χαμηλές θερμοκρασίες.
- Πρόσθετα για Πρόσδοση Νέων Ιδιοτήτων στα βασικά λάδια
  - Οι νεοαποκτηθείσες ιδιότητες από αυτά τα πρόσθετα, έχουν να κάνουν κυρίως με την προστασία των λιπαινόμενων μερών από φθορά και διάβρωση

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- **Αντιοξειδωτικά**
  - Τα όξινα προϊόντα της οξείδωσης είναι διαβρωτικά για τα μέταλλα
  - Ελαττώνουν την τάση του λαδιού να οξειδωθεί
  - Ενώσεις θείου, φωσφόρου ή φαινόλες
- **Αντιαφριστικά**
  - Υγρές πολυσιλικόνες
  - Εμποδίζουν την είσοδο φυσαλίδων του αέρα στο λιπαντικό με το να μειώνουν την επιφανειακή του τάση (προκαλεί το σπάσιμό τους)

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- Απογαλακτωματοποιητές - Γαλακτωματοποιητές
  - Επαφή του λιπαντικού με νερό
  - Διαχωρισμός από το νερό
  - Παρεμπόδιση της διαβρωτικής δράσης του νερού με το σχηματισμό γαλακτώματος.
- Ρυθμιστές τριβής
  - Σε συνδυασμό με πρόσθετα υψηλών πιέσεων
  - Δημιουργία λεπτού στρώματος πάνω στις τριβόμενες μεταλλικές επιφάνειες
  - Μείωση τριβών σε συνθήκες εκκίνησης (κατανάλωση ενέργειας και φθορές)
  - Λιπαρά οξέα και παράγωγά τους

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- Προστασία των λιπαινόμενων μερών
  - Ιδιότητες που απουσιάζουν από το βασικό λάδι όπως **ψύξης** και **καθαρισμού**
- Αντιδιαβρωτικά (Αναστολείς Διάβρωσης)
  - Προστασία μεταλλικών επιφανειών από την διάβρωση του οξυγόνου
  - Φυσικοί αναστολείς – δημιουργία υδρόφοβου στρώματος στις επιφάνειες
  - Χημικοί αναστολείς – αλλαγή του ηλεκτροχημικού δυναμικού των επιφανειών
  - Απορρόφηση από την επιφάνεια και παρεμπόδιση των προϊόντων διαβρωτικού χαρακτήρα του λαδιού να έρθουν σε επαφή μαζί της
  - Αζωτούχες, θειούχες, φωσφορούχες ενώσεις.

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- Καθαριστικά
  - Παραγωγή όξινων συστατικών λόγω έκθεσης των ελαίων σε υψηλές θερμοκρασίες και σε διαφυγόντα αέρια της καύσης
  - Πολυμερισμός και σύνθεση υλικών μικρής διαλυτότητας στο λάδι
  - Εμποδισμός της απόθεσης τέτοιων προϊόντων με εξουδετέρωση των όξινων συστατικών αλλά και τον πολυμερισμό τους
  - Ενώσεις βαρίου, μαγνησίου και ασβεστίου

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- Διασκορπιστικά
  - Η ατελής καύση λόγω των εναλλαγών φορτίου προκαλεί δημιουργία υπολείμματος και ίλης (σε συνδυασμό με ιχνών νερού)
  - Αύξηση ιξώδους του λαδιού με δυσμενή αποτελέσματα στην ψύξη των εμβόλων (επίσης βούλωμα διόδων, φίλτρων κλπ)
  - Τα πρόσθετα απορροφώνται από την από τα σωματίδια της λάσπης εμποδίζοντάς την δημιουργία συσσωμάτων και την απόθεσή τους με τη μορφή ιλύος.
  - Αζωτούχες ενώσεις.

# Πρόσθετα βελτίωσης ιδιοτήτων βασικών ελαίων

- Υψηλών πιέσεων – προστασίας από τη φθορά.
  - Το λιπαντικό οφείλει
    - να μειώσει τα ρινίσματα μετάλλων (προϊόντα τριβής)
    - Εμποδίσει τη δημιουργία ρωγμών, χαραγματιών
    - γενικότερα τη στενή επαφή μεταξύ μεταλλικών τοιχωμάτων (συγκόλληση)
  - Αυτά τα πρόσθετα αντιδρούν με τις μεταλλικές επιφάνειες και δημιουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες ένα λεπτό αλλά ισχυρό φιλμ, επιτρέποντας την επαφή μετάλλου με μέταλλο (πχ. Λίπανση γραναζιών)
  - Ενώσεις θείου, φωσφόρου, ψευδαργύρου.

# Επιλογή προσθέτων

- Πρέπει να γίνεται ανάλογα με τις συνθήκες.
    - Επιθυμητό επίπεδο απόδοσης
    - Απαιτούμενες προδιαγραφές
  - Χρειάζεται προσοχή διότι
    - Πρόσθετα αντιδρούν μεταξύ τους
    - Πρόσθετα αντιδρούν με άλλα συστατικά του λιπαντικού
- Άρα: Ανεπιθύμητες παρά-αντιδράσεις.
- Αντίθετα παρατηρείται το φαινόμενο της συνεργασίας μεταξύ προσθέτων με αποτέλεσμα την επίτευξη χαρακτηριστικών που ξεπερνούν τις αρχικές προδιαγραφές

# Ιδιότητες Ορυκτελαίων

- Λιπαντική ικανότητα
- Ψυκτική ικανότητα
- Σταθερότητα
- Παθητικότητα αδράνεια – Μη διαβρωτικότητα
- Μονωτικές, καθαριστικές, γαλακτωματοποιητικές, απογαλακτωματοποιητικές και άλλες ιδιότητες

# Λειτουργικές Ιδιότητες

- Ιδιότητες ροής
  - Ιξώδες
  - Δείκτης ιξώδους
  - Δυνατότητα άντλησης σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες
  - Πτητικότητα
  - Απώλεια εξάτμισης
  - Θερμική σταθερότητα
  - Προϊόντα αποσύνθεσης και υπολείμματα.

# Λειτουργικές Ιδιότητες

- Συμπεριφορά στην οξείδωση
  - Σταθερότητα στην οξείδωση
  - Μη αναφλεξιμότητα κατά τις δοκιμές ανάφλεξης με εκνέφωση
  - Επίδραση επιβραδυντών
  - Λειτουργία κινητήρα
- Συμπεριφορά στην υδρόλυση
  - Αντίσταση στην υδρόλυση σε νερό ή ατμό
  - Αντίσταση σε αλκαλικά υγρά
  - Αντίσταση σε οξέα
- Διαλυτότητα
  - Σε νερό
  - Σε υδρογονοανθρακικούς διαλύτες
  - Σε προϊόντα πετρελαίου

# Φυσικοχημικές Ιδιότητες Ορυκτελαίων (προδιαγραφές σύμφωνα με ASTM, IP, ISO, SAE)

- Ιξώδες (Viscosity)
  - είναι η ιδιότητα που έχει ένα ρευστό να παρουσιάζει αντίσταση κατά την ροή του, ως αποτέλεσμα της εσωτερικής τριβής των μορίων του. Υψηλό ιξώδες και μικρή ρευστότητα παρουσιάζουν τα παχύρευστα υγρά, όπως και μεγαλύτερο στρώμα υγρού πάνω στην λιπαινόμενη επιφάνεια.
  - Κινηματικό ( $\nu$ ,  $\text{cSt} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) (ASTM D-445).
    - Μετριέται (ορυκτέλαια) συνήθως στους 40 και στους 100 °C
  - Δυναμικό ( $\eta$ ,  $1\text{cP} = 0,1 \text{ Pa/s}$ )
    - $\nu = \eta / \rho$  (πυκνότητα)
  - Δείκτης Ιξώδους Δ.Ι. (Viscosity Index - VI)
  - Ιξώδες μίγματος (ανάμιξη βασικών λαδιών)

# Φυσικοχημικές Ιδιότητες Ορυκτελαίων

- Πυκνότητα
  - Μάζα όγκου σε ορισμένη θερμοκρασία
  - ASTM D-1298 – Πυκνόμετρο (γυάλινος βαθμονομημένος πλωτήρας)
  - Διόρθωση στους 15°C (θερμοκρασία αναφοράς)
  - Μέτρηση Σχετικού Ειδικού Βάρους SG (στους 60°F)
  
  - $^{\circ} \text{API} = (141,5 / \text{SG}_{60^{\circ}\text{F}}) - 131,5$
  - Το API αυξάνει με την ελάτωση του ειδικού βάρους
  - Πυκνότητα και ειδικό βάρος αυξάνουν όσο μειώνεται η θερμοκρασία
- Πιστοποίηση λαδιών

# Φυσικοχημικές Ιδιότητες Ορυκτελαίων

- Ιδιότητες ροής στις χαμηλές θερμοκρασίες
  - Σημείο θόλωσης (Cloud point) ASTM D-2500
  - Σημείο ροής (Pour point) ASTM D-97
  - Οφείλονται στην κρυστάλλωση των παραφινών
- Σημείο ανάφλεξης (Flash Point) – ASTM D-93 ή ASTM D-92
  - Σχετίζεται με την πτητικότητα
- Σημείο καύσης
  - 5-20 βαθμούς πάνω από το σημείο ανάφλεξης – διατήρηση φλόγας για 5 s
- Χρώμα (ASTM-1500)
  - Σε φυσικά προϊόντα χωρίς πρόσθετα
  - Εξαρτάται από τον τύπο του αργού το οποίο προήλθε

# Φυσικοχημικές Ιδιότητες Ορυκτελαίων

- Αριθμός Εξουδετέρωσης (neutralization number)
  - Εκφράζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα των ορυκτελαίων
  - TAN (total acid number – ποσότητα σε mgr KOH που απαιτείται για την εξουδετέρωση ενός gr όξινου ελαίου) ASTM D-3339
  - TBN (total base number - ποσότητα σε mgr οξέος που απαιτείται για την εξουδετέρωση ενός gr αλκαλικού ελαίου) ASTM D-4739
- Τέφρα (ASTM D-482)
  - Μένουν μόνο άκαυστα ανόργανα συστατικά
- Αφρισμός (ASTM D-892)
  - Παροχή αέρα στο λάδι
  - Ύψος παραγόμενου αφρού

# Φυσικοχημικές Ιδιότητες Ορυκτελαίων

- Γαλακτωματοποίηση – Απογαλακτωματοποίηση
  - ASTM D-1401
  - ASTM D-2711
- Εξανθράκωμα – carbon residue (ASTM D-189 και ASTM D-524)
  - Πυρόλυση
  - Υπολογισμός εναπομείνουσας ποσότητας εξανθρακώματος (βαρέα μέταλλα)
- Διαβρωτικότητα (ASTM D-130)
  - Χρήση χαλκού (και κραμάτων αυτού) για την δοκιμή διάβρωσης.
  - Σύγκριση του βαθμού διάβρωσης με πρότυπη κλίμακα της ASTM.
- Αντοχή σε οξείδωση (ASTM D-943)
  - Η επαφή του ελαίου με τον αέρα ευνοεί την οξείδωσή του
  - Μέτρηση κατανάλωσης οξυγόνου/χρόνο σε αυτόκλειστο, σε συγκεκριμένες τιμές T, P

# Φυσικοχημικές Ιδιότητες Ορυκτελαίων

- Περιεκτικότητα σε νερό
  - Μειώνει την λιπαντικότητα
  - Συμβάλλει στην οξείδωση.
  - Αν η περιεκτικότητα είναι πάνω από 0,05% τότε ASTM D-95 (απόσταξη με συνύπαρξη τολουολίου/ξυλολίου)
  - Για μικρότερες ποσότητες ASTM D-1744

# Χρήση σε κινητήρες – Σημαντικές ιδιότητες

- Κατάλληλο ιξώδες
- Καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Απορρυπαντικότητα και διασκορπιστικότητα
- Αντίσταση στο σχηματισμό ιζήματος και αποθέσεων
- Σταθερότητα στην οξείδωση
- Αντισκωρική προστασία
- Προστασία από φθορά των μετάλλων
- Αντιαφριστικές ιδιότητες
- Προστατευτικές και αντιδιαβρωτικές ιδιότητες για τα κράματα των μετάλλων των τριβέων

# Προδιαγραφές ορυκτελαίων

Οι βασικές κατηγορίες προδιαγραφών των ορυκτελαίων είναι:

- Προδιαγραφές με βάση το Ιξώδες
- Προδιαγραφές με βάση την ποιότητα

# Προδιαγραφή Ιξώδους

- Πολλά συστήματα προδιαγραφής ορυκτελαίων με βάση το ιξώδες.  
Πιο σημαντικές:
  - Κατάταξη κατά SAE (Society of Automotive Engineers) που καλύπτει Ορυκτέλαια:
    - Κινητήρων
    - Γραναζοκιβωτίων οχημάτων (βαλβολίνες)
  - Κατάταξη κατά ISO (International Standardization Organization). Αναφορά στα Ορυκτέλαια Βιομηχανικών Εφαρμογών.

# Προδιαγραφή Ιξώδους

- Τα λάδια κινητήρων καλύπτονται από τις προδιαγραφές SAE 0W έως SAE 50
- Οι βαλβολίνες καλύπτονται από τις προδιαγραφές SAE 75W έως SAE 250.
- Όσο ο αριθμός SAE ή ISO μεγαλώνει το λάδι γίνεται πιο παχύρευστο.
- Ο ενδεικτικός αριθμός ISO εκφράζει το ιξώδες του λαδιού σε cSt στους 40°C
- Για την προδιαγραφή SAE στις χαμηλές θερμοκρασίες (W) προσδιορίζεται το Δυναμικό Ιξώδες (cP) και για τις υψηλές το Κινηματικό Ιξώδες (cSt) στους 100°C.
- Όριο αντλησιμότητας – χαρακτηριστικό μέτρο της ροής σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

# Προδιαγραφές Ορυκτελαίων κινητήρων κατά SAE J300

Αριθμός SAE	Δυν. Ιξώδες (Μεγ.) ASTM- D2602	Αντλησιμότητα ASTM-D 4684	Κιν. Ιξώδες (100°C ελαχ. + 100°C μεγ.)
0W	3250 (-30°C)	30000 (-35°C)	3,8
5W	3500 (-25°C)	30000 (-30°C)	3,8
10W	3500 (-20°C)	30000 (-20°C)	4,1
15W	3500 (-15°C)	30000 (-25°C)	5,6
20W	4500 (-10°C)	30000 (-15°C)	5,6
25W	6000 (-5°C)	30000 (-10°C)	9,3
20			5,6 & <9,3
30			9,3 & <12,5
40			12,5 & <16,3
50			16,3 & <21,9
60			21,9 & <26,1

# Προδιαγραφές λιπαντικών γρναζοκιβωτίων κατά SAE J306c

Αριθμός SAE	Μέγιστη θερμοκρασία για ιξώδες 15000 cP (°C)	Κιν. Ιξώδες (100°C ελαχ. + 100°C μεγ.)
75W	-40	4,1
80W	-26	7,0
85W	-12	11,0
90		13,5 <24,0
140		24,0 <41,0
250		41,0

## ΕΙΔΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ-ΠΟΛΥΤΥΠΑ/ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ

- Πολύτυπα ορυκτέλαια (multigrade): λόγω των προσθέτων ικανοποιούν ιξωδομετρικά περισσότερες από μία βαθμίδες ιξώδους κατά SAE

Π.χ.

Ελάχιστο σημείο ροής για λάδι 20W: -24 °C

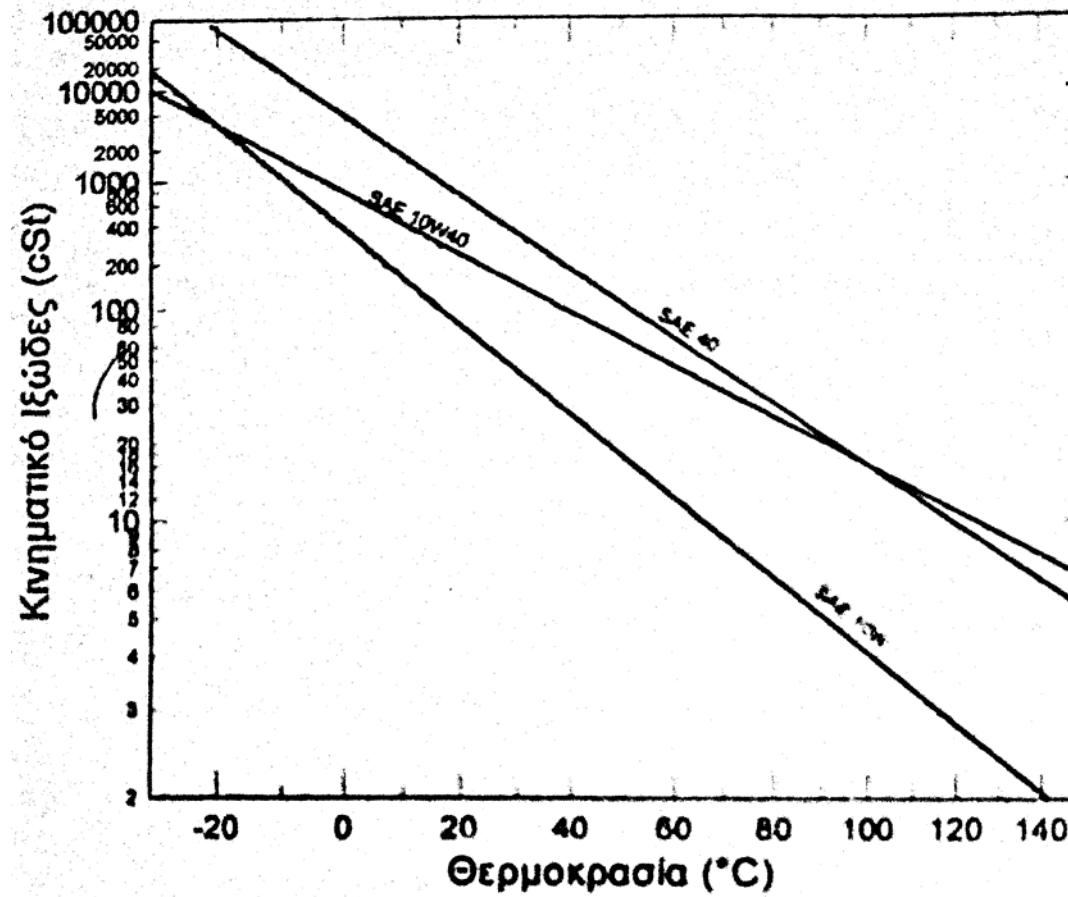
Ελάχιστο σημείο ανάφλεξης για λάδι 20W: 205 °C

Ελάχιστο σημείο ροής για λάδι βαθμού 50: -5 °C

Ελάχιστο σημείο ανάφλεξης για λάδι βαθμού 50: 220 °C

Συνεπώς για συνθετικό (multigrade) 20W-50 τα όρια διαμορφώνονται από -24 έως 220 °C

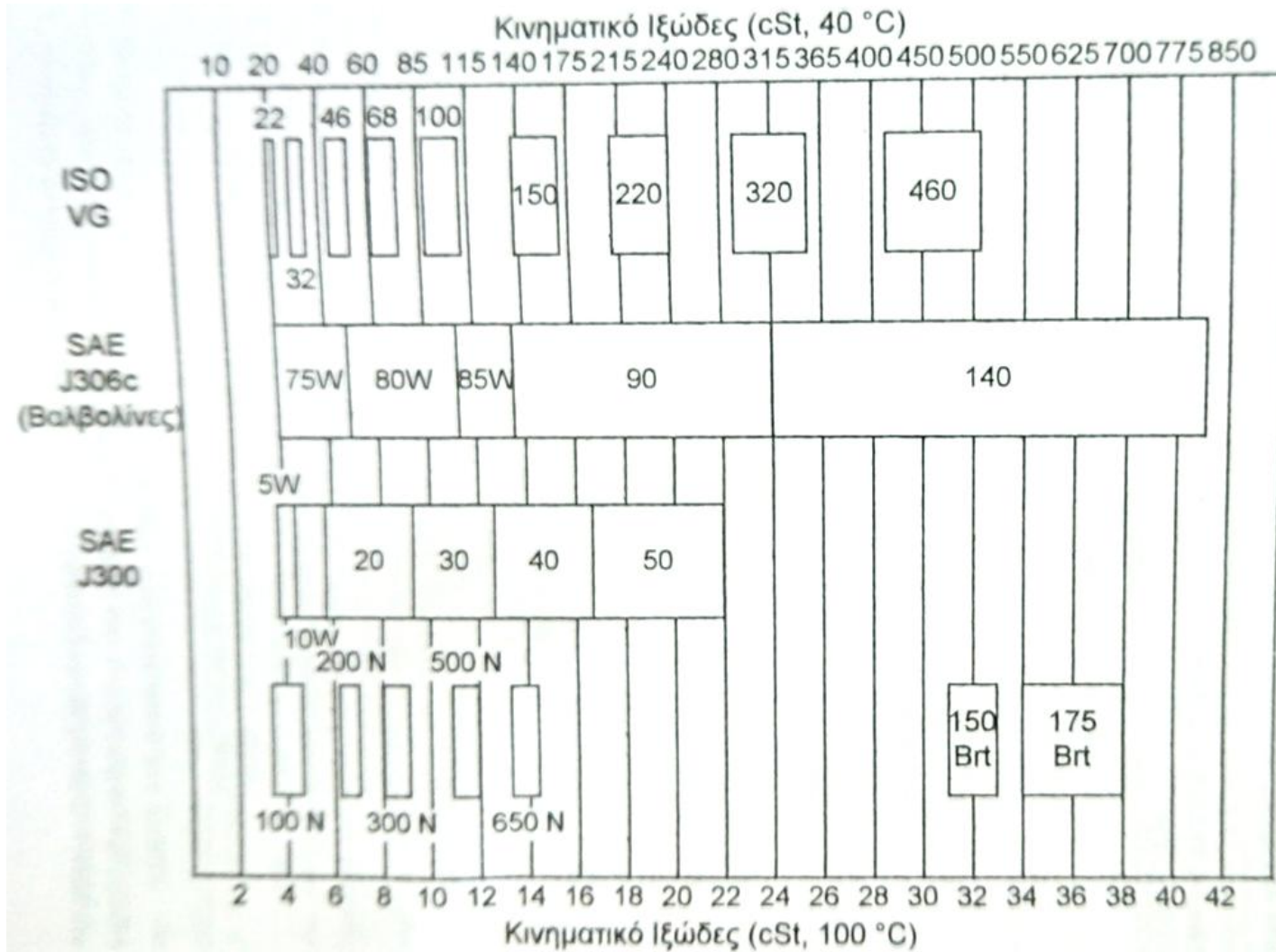
# ΕΙΔΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ-ΠΟΛΥΤΥΠΑ/ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ



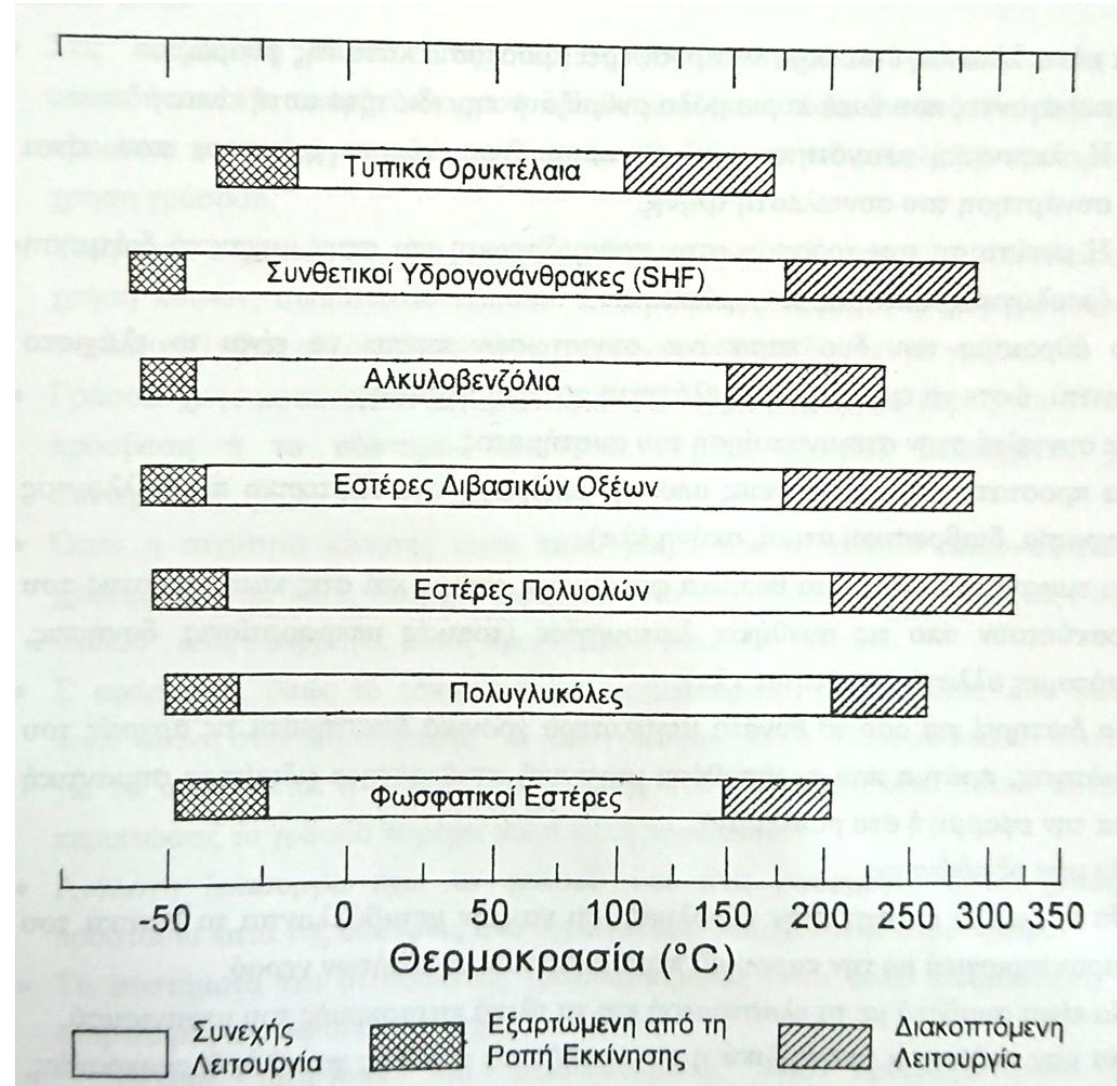
# Κατάταξη βιομηχανικών ελαίων κατά ISO 3448

Βαθμίδα Ιξώδους	Μέση Τιμή Ιξώδους (cSt σε 40 °C)	Όρια Ιξώδους (cSt, 40 °C)	
		ελάχ.	μέγ.
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48
ISO VG 10	10	9.00	11.0
ISO VG 15	15	13.5	16.5
ISO VG 22	22	19.8	24.2
ISO VG 32	32	28.8	35.2
ISO VG 46	46	41.4	50.6
ISO VG 68	68	61.2	74.8
ISO VG 100	100	90.0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

# Αντιστοιχίες ορυκτελαίων SAE - ISO



# Θερμοκρασιακή Λειτουργία Ορυκτελαίων VS Συνθετικών Λιπαντικών



# Καύσιμα - Εισαγωγή

- ✓ Συμβατικά καύσιμα - διάφοροι τύποι υδρογονανθράκων
- ✓ Στις οδικές μεταφορές η χρήση περιορίζεται κυρίως στην βενζίνη και το πετρέλαιο κίνησης
- ✓ Περιορισμένη χρήση φυσικού αερίου (CNG) με εφαρμογές και στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Αθήνα σε αστικά λεωφορεία φυσικού αερίου

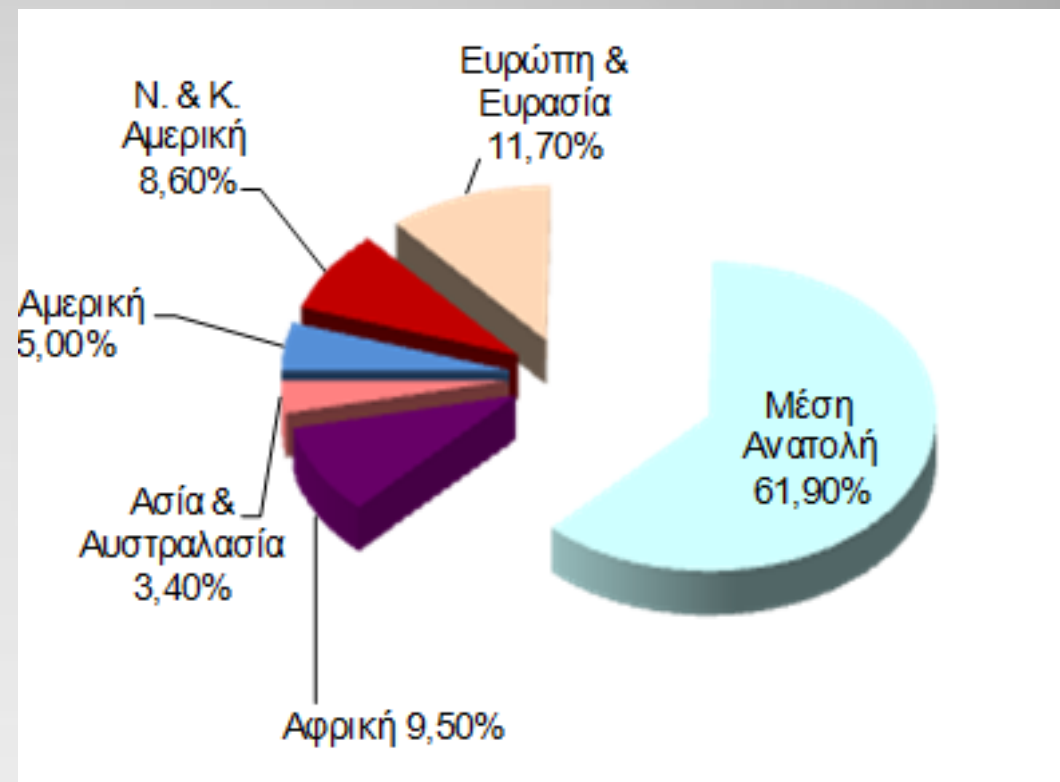
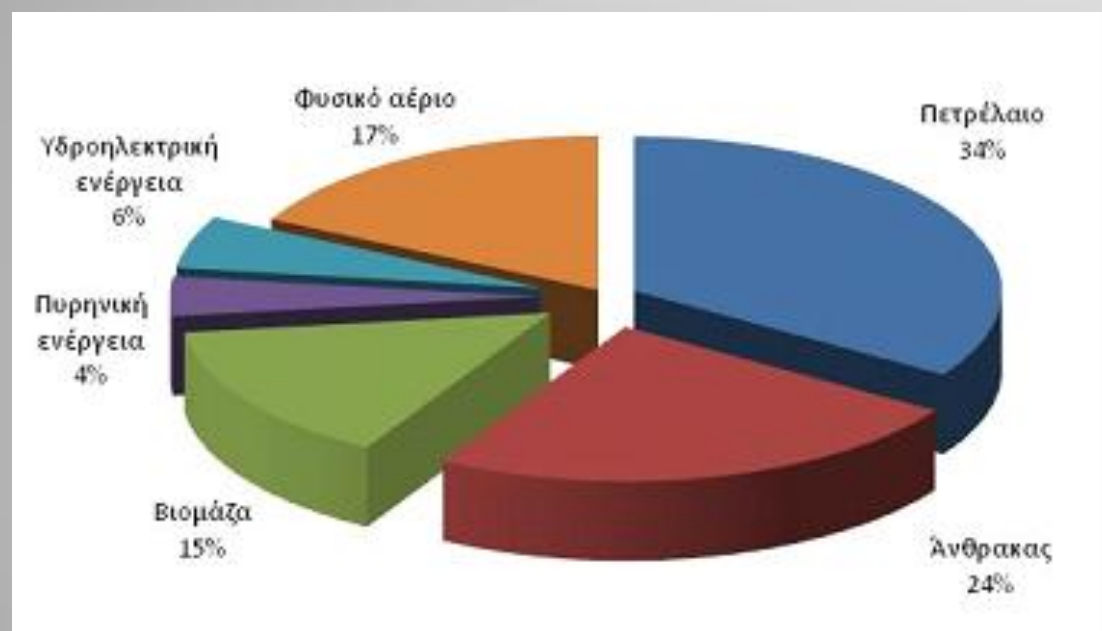
- ✓ Υγρά καύσιμα
  - ✓ Προέρχονται από κλασματική απόσταξη αργού πετρελαίου ή με συνθετική μέθοδο από λιθάνθρακες, γαιάνθρακες κλπ.
- ✓ Αέρια καύσιμα
  - ✓ Προέρχονται επίσης από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου ή από την επεξεργασία του φυσικού αερίου.

**Καύσιμα**

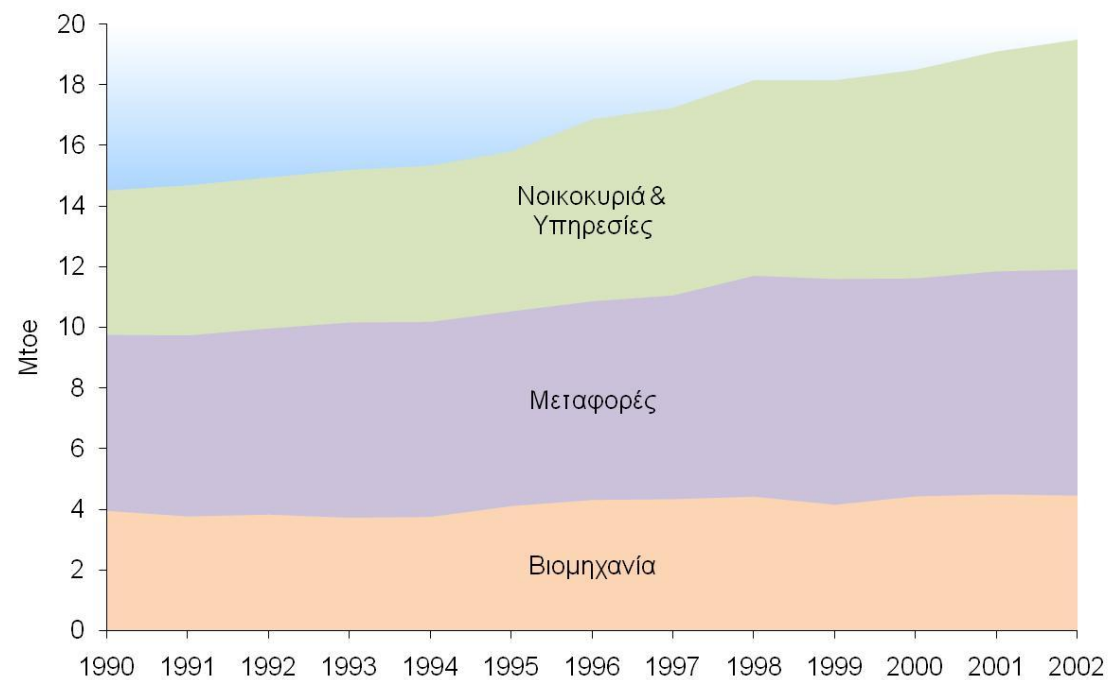
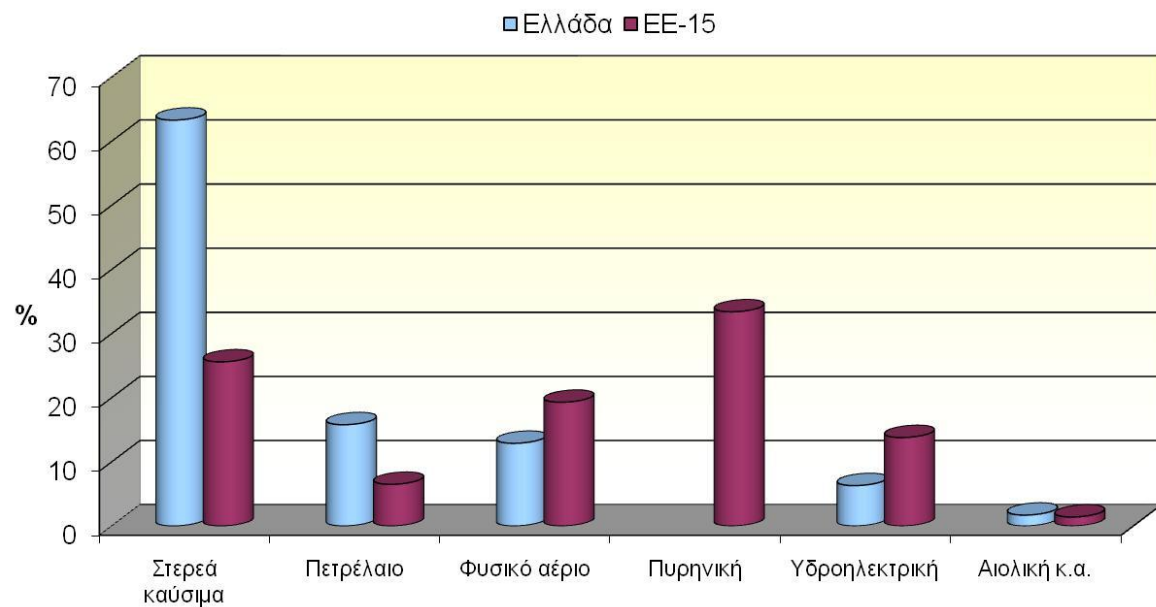
## Καύσιμα-Προέλευση

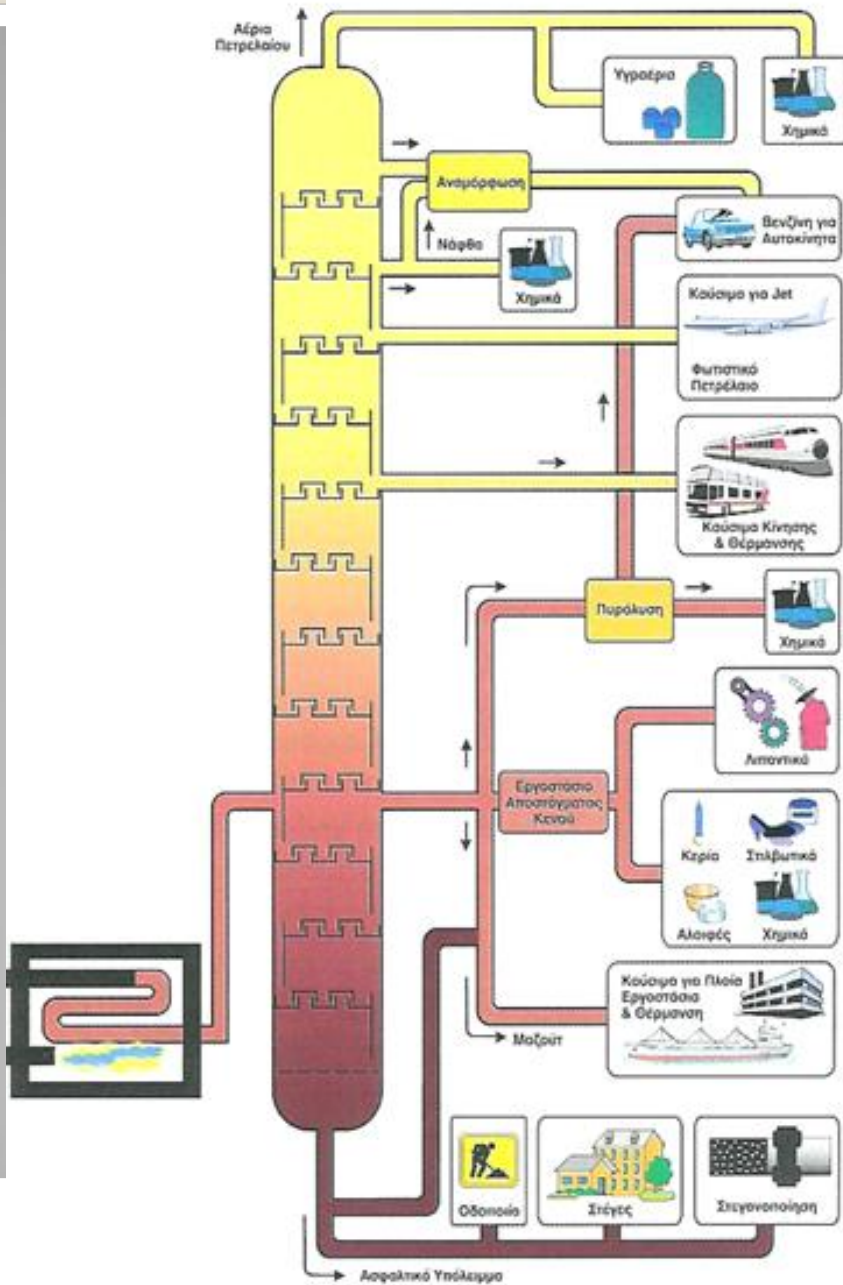
- ✓ Αργό ή φυσικό πετρέλαιο
  - ✓ Είναι στη μορφή όπως λαμβάνεται από τη φύση. Η επεξεργασία του περιλαμβάνει:
    - ✓ πρώτο στάδιο καθαρισμού (λάσπες, χώματα, άμμος)
    - ✓ απαερίωση και αφυδάτωση
    - ✓ κλασματική απόσταξη και διαχωρισμός των συστατικών του ανάλογα με το σημείο βρασμού τους (σημείο ζέσεως): υγραέρια, πετρελαϊκός αιθέρας, βενζίνες, κηροζίνη, diesel, μαζούτ, παραφίνες, πίσσα
    - ✓ όλα τα προϊόντα της αποστάξεως περιέχουν θείο (ανάλογα με την καθαρότητα του καυσίμου)

# Καύσιμα – Συμμετοχη πηγών ενέργειας παγκοσμίως – Αποθέματα



# Καύσιμα – Συμμετοχή στην Ηλεκτροπαραγωγή – Εξέλιξη Ενεργειακής Κατανάλωσης





# Καύσιμα-Προέλευση

- Υγραέριο-LPG
- Βενζίνη
- Καύσιμα αεροσκαφών (κηροζίνη)
- Πετρέλαιο Κίνησης

# Καύσιμα Ελληνικών Διυλιστηρίων

- ✓ Οι δραστηριότητες ενός σύνθετου διυλιστηρίου μπορούν να περιγραφούν από ένα πολύπλοκο διάγραμμα ροής. Στην ελληνική επικράτεια, οι ευρύτερες κατηγορίες που χωρίζονται οι δραστηριότητες ενός διυλιστηρίου είναι οι ακόλουθες:
- ✓ Διαχωρισμός Υδρογονανθράκων
- ✓ Μετατροπή Υδρογονανθράκων
- ✓ Επεξεργασία προϊόντων
- ✓ Ανάμιξη
- ✓ Τα καύσιμα που παράγονται από τα ελληνικά διυλιστήρια και κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά είναι τα εξής:
- ✓ Υγραέρια (LPG) Προπάνιο, Μίγμα Προπανίου-Βουτανίου
- ✓ Βενζίνες (95 RON, 100 RON)
- ✓ Καύσιμα Αεριοθούμενων Jet-A1, JP-8
- ✓ Φωτιστικό Πετρέλαιο (Κηροζίνη)
- ✓ Πετρέλαιο κίνησης, θέρμανσης, Ναυτιλιακό
- ✓ Μαζούτ Νο1 (ελαφρύ), Νο3 (Βαρύ)

# Καύσιμα

## ✓ Αέρια Καύσιμα – Υγραέρια

- ✓ Είναι υδρογονάνθρακες σε αέρια μορφή με 1-4 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Χρησιμοποιούνται ως καύσιμα Μ.Ε.Κ. και για οικιακή χρήση.

## ✓ Βενζίνες

- ✓ Είναι υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή με 4-10 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχουν μικρό ειδικό βάρος και μεγάλη πτητικότητα (50 – 200 °C). Χρησιμοποιούνται ως καύσιμα βενζινοκινητήρων.

## Καύσιμα

- ✓ Κηροζίνη (φωτιστικό πετρέλαιο)
  - ✓ Αποτελείται από υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή με 10-14 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την πρόωση αεριοθούμενων αεροσκαφών. Παρουσιάζουν σημείο ζέσεως 200 – 250 °C.
- ✓ Πετρέλαιο diesel
  - ✓ Είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε υγρή μορφή με 14-20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχει σημείο ζέσεως 225 – 350 °C. Διακρίνεται σε ελαφρύ diesel (gas-oil – πετρέλαιο θερμάνσεως και πετρέλαιο κινήσεως) και βαρύ diesel (diesel fuel, maritime diesel oil) για κίνηση ηλεκτρογεννητριών και πλοίων.


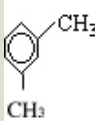

# Καύσιμα

- ✓ Μαζούτ (heavy fuel oil)
  - ✓ Αποτελείται από υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή με περισσότερα από 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Παρουσιάζει σημείο ζέσεως άνω των 350 °C. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεγάλων αργόστροφων μηχανών.

# Καύσιμα

- ✓ Μαζούτ (heavy fuel oil)
  - ✓ Αποτελείται από υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή με περισσότερα από 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Παρουσιάζει σημείο ζέσεως άνω των 350 °C. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεγάλων αργόστροφων μηχανών.

# Βασικά Συστατικά Βενζίνης

ΕΝΩΣΗ	ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
<b>MeOH</b>	Οξυγονούχο συστατικό, προστίθεται στο τελικό μίγμα της βενζίνης	$\text{CH}_3\text{-OH}$
<b>EtOH</b>	Οξυγονούχο συστατικό	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$
<b>TBA</b>	Οξυγονούχο, συστατικό αύξησης του αριθμού οκτανίου	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
<b>MTBE</b>	Οξυγονούχο συστατικό, προστίθεται στην αναμορφωμένη βενζίνη για να μειώσει τις εκπομπές ρύπων αλλά και να αυξήσει τον αριθμό οκτανίου	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{O} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
<b>ETBE</b>	Οξυγονούχο συστατικό, πρόσθετο της βενζίνης, παρασκευάζεται από TBA και έχει υψηλότερη τάση ατμών από το MTBE	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{O} - \text{CH}_2\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
<b>TAME</b>	Οξυγονούχο συστατικό, πρόσθετο της βενζίνης	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_2\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
<b>DIPE</b>	Οξυγονούχο συστατικό	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{O} - \text{CH} - \text{CH}_3 \\   \qquad \qquad   \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$
<b>BENZOLIO</b>	Αρωματικός υδρογονάνθρακας, πτητικό, άχρωμο τοξικό, αυξάνει τον αριθμό οκτανίου	
<b>ΞΥΛΟΛΙΟ</b>	Αρωματικός υδρογονάνθρακας, αυξάνει τον αριθμό οκτανίου	
<b>ΤΟΛΟΥΟΛΙΟ</b>	Αρωματικός υδρογονάνθρακας, αυξάνει τον αριθμό οκτανίου	

# Πρόσθετα Βενζινών

Ιδιότητες Οξυγονούχων Συστατικών

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	MeOH	EtOH	IPA	TBA	MTBE	ETBE	TAME
Πυκνότητα	0,796	0,794	0,789	0,791	0,747	0,746	0,770
Διαλυτότητα σε νερό	100	100	100	100	1,4	0,6	0,4
Τάση ατμών ( KPa )	31,7	17,2	8,8	8,8	55,2	30,2	10,3
RON	112	112	99	117	110	112	108
MON	91	95	90	105	101	97	96
Θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	19934	26749	30936	33215	35122	36495	36495

# Ιδιότητες Βενζίνης

Ιδιότητα	Τυπικές τιμές	Τιμές Ισχύουσας Προδιαγραφής
RON	95,3	95 Ελάχιστο
MON	85,2	85 Ελάχιστο
MTBE (% κ.ο.)	3,9	15% Μέγιστο (σύνολο αιθέρων)
Οξυγόνο (% κ.β.)	1,2	2,7% Μέγιστο
Ξυλόλιο (% κ.β.)	7,6	Δεν ισχύει προδιαγραφή
Τολουόλιο (% κ.β.)	8,2	Δεν ισχύει προδιαγραφή
Ολεφίνες (% κ.β.)	14,62	18% Μέγιστο
Κορεσμένα (% κ.β.)	46,83	Δεν υπάρχει προδιαγραφή
Αρωματικά (% κ.β.)	32,0	35% Μέγιστο
Βενζόλιο (% κ.β.)	0,95	1% Μέγιστο
Πυκνότητα (gr/ml)	0,741	0,720-0,775

# Ιδιότητες Πετρελαίου Κίνησης

Ιδιότητα	Τυπικές τιμές	Τιμές Ισχύουσας Προδιαγραφής
Περιεκτικότητα σε θείο (ppm)	37	50ppm (10ppm)
Πυκνότητα στους 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	824	820-845
Σημείο Ανάφλεξης (°C)	58	55
Περιεκτικότητα σε νερό (ppm)	97	200
Τέφρα (% m/m)	<0,01	0,01
Χρώμα	Φυσικό	Φυσικό

# Επίδραση των ιδιοτήτων στην απόδοση κινητήρα

Ιδιότητα	Τύπος ιδιότητας*	Επίδραση στην απόδοση	Εκδήλωση της επίδρασης
Σημείο ανάφλεξης	Δευτερεύουσα	Ασφάλεια στο χειρισμό και τη χρήση, δεν επηρεάζει άμεσα την απόδοση	
Νερό και υπόστγμα Πτητικότητα	Δευτερεύουσα Κύρια	Επηρεάζει τα φίλτρα και στο σύστημα ψεκασμού Επηρεάζει την ευκολία ανάφλεξης και τον καπνό	Μακροχρόνια Άμεση
Ιξώδες	Κύρια	Επηρεάζει την εκνέφωση και τη λίπανση του συστήματος παροχής καυσίμου	Άμεση και μακροχρόνια
Τέφρα	Δευτερεύουσα	Μπορεί να φθείρει το σύστημα ψεκασμού και να προκαλέσει αποθέσεις στον κύλινδρο	Μακροχρόνια
Θείο	Δευτερεύουσα	Επηρεάζει τις εκπομπές σωματιδίων, την φθορά του κυλίνδρου και τις επικαθήσεις	Σωματίδια: άμεσα, Φθορά: μακροχρόνια
Διάβρωση ελάσματος χαλκού	Δευτερεύουσα	Δείχνει την τάση για πιθανή διάβρωση των μεταλικών μερών	Μακροχρόνια
Αριθμός κετανίου	Κύρια	Μέτρο της ποιότητας ανάφλεξης – επηρεάζει την ψυχρή εκκίνηση, την καύση και τις εκπομπές	Άμεση
Σημεία θόλωσης και ροής	Δευτερεύουσα	Επηρεάζει τη λειτουργικότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος	Άμεση
Εξανθράκωμα	Δευτερεύουσα	Μετράει την τάση του καυσίμου να μετατρέπεται σε ανθρακούχες ουσίες και μπορεί να συνδέεται με αποθέσεις στον κινητήρα	Μακροχρόνια
Θερμογόνος δύναμη	Κύρια	Επηρεάζει την οικονομία καυσίμου	Άμεση
Πυκνότητα	Κύρια	Επηρεάζει τη θερμογόνο δύναμη	Άμεση
Σταθερότητα	Δευτερεύουσα	Δείχνει την πιθανότητα σχηματισμού αδιάλυτων σωματιδίων κατά τη χρήση και αποθήκευση	Μακροχρόνια
Λιπαντικότητα	Δευτερεύουσα	Επηρεάζει τη φθορά της αντλίας καυσίμου και του συστήματος ψεκασμού	Μακροχρόνια (συνήθως)
Διαχωρισμός από το νερό	Δευτερεύουσα	Επηρεάζει τη δυνατότητα να παρέχεται καθαρό καύσιμο	

\* Μια κύρια ιδιότητα είναι αυτή που καθορίζεται από το σύνολο της σύστασης του καυσίμου, ενώ μια δευτερεύουσα είναι αυτή που καθορίζεται από την παρουσία μικρών ποσών συγκεκριμένων συστατικών.

## **2. Καύση Στις Θερμικές Μηχανές**

- ✓ Απαιτείται να προσδοθεί θερμότητα, η οποία εκλύεται με τη μετατροπή χημικής ενέργειας σε θερμότητα, μέσω μιας εξώθερμης αντίδρασης καύσης.

**Λειτουργία θερμικής μηχανής**

- ✓ Η χημική οργανική αντίδραση κατά την οποία αντιδρά μία χημική οργανική ουσία (δηλ. περιέχει άνθρακα-καύσιμο) με το οξυγόνο.
- ✓ Προϊόντα της καύσεως είναι τα καυσαέρια και μεγάλα ποσά θερμότητας.

**Καύση**

- Το οξυγόνο της καύσης στις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. προέρχεται από τον αέρα.
- Στον αέρα υπάρχουν επίσης και άλλα συστατικά, τα οποία ενώ δεν συμμετέχουν στην αντίδραση, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της καύσεως και των καυσαερίων.

**Το οξυγόνο της καύσης στις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ.**

- ✓ **Τέλεια καύση** έχουμε όταν τα προϊόντα της καύσεως δεν επιδέχονται περαιτέρω αντίδραση με το οξυγόνο. Η τέλεια καύση αποτελεί βασική επιδίωξη μιας Μ.Ε.Κ.
- ✓ **Ατελής καύση** Προκύπτει λόγω έλλειψης οξυγόνου, κακής ανάμειξης μίγματος, μικρού χρόνου καύσεως. Οδηγεί σε μείωση της απόδοσης καύσεως και έκλυση επιβλαβών ρύπων.

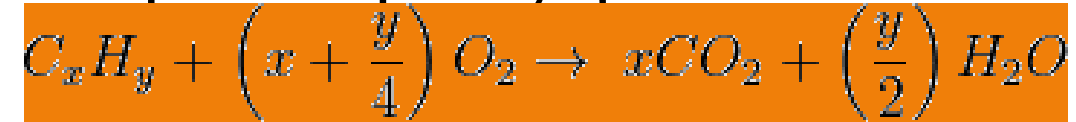
## Τέλεια και ατελής καύση

- ✓ Σύνθεση ατμοσφαιρικού αέρα
    - ✓ O<sub>2</sub> (21%), N<sub>2</sub> (79%) και σε μικρές αναλογίες Ar, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, He κλπ.
  - ✓ Εξίσωση τέλει καύσης C και H<sub>2</sub>, παρουσία περίσσειας O<sub>2</sub>
    - C + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + Q
    - H<sub>2</sub> + 1/2O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O + Q
- Όπου: Q η εκλυόμενη θερμότητα ανά καύση γραμμομορίου

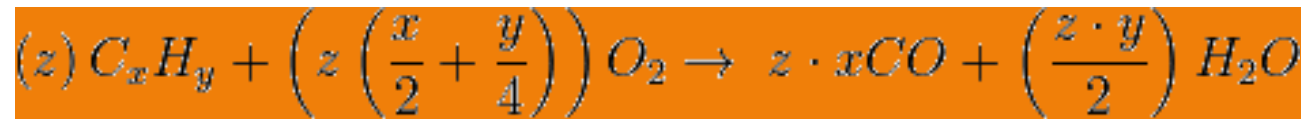
Καύσιμο + Οξυγόνο → Διοξείδιο άνθρακα + Νερό + Θερμότητα

**Χημικές αντιδράσεις καύσεως**

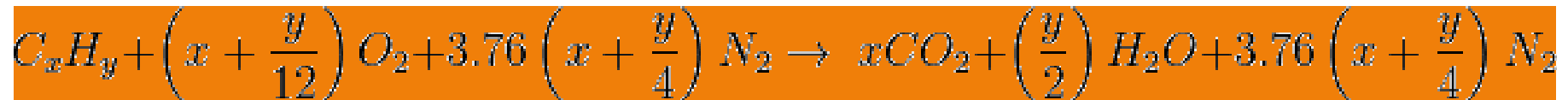
- ✓ Η χημική εξίσωση για τη στοιχειομετρική κάυση Υδρογονανθράκων με οξυγόνο είναι:



- ✓ Για την ατελή καύση είναι:



- ✓ Πραγματική καύση σε ατμοσφαιρικό αέρα



**Παραδείγματα αντιδράσεων τέλειας καύσεως υδρογονανθράκων**

## Παραδείγματα αντιδράσεων τέλει καύσης υδρογονανθράκων

- ✓  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$
- ✓  $\text{C}_2\text{H}_6 + 7/2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$
- ✓  $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$
- ✓  $\text{C}_4\text{H}_{10} + 13/2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$

## Παραγωγή $\text{NO}_x$ κατά την καύση

✓ Το άζωτο του ατμοσφαιρικού αέρα αντιδράει με το οξυγόνο στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που αναπτύσσονται κατά την καύση, δίνονται οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}$  κυρίως και  $\text{NO}_2$ ):

- $\text{N}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{N}$
- $\frac{1}{2}\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$
- $\frac{1}{2}\text{N}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{NO} + \text{H}$
- $\frac{1}{2}\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2$

## Χαρακτηρισμός μίγματος

- ✓ Λόγος αέρα / καυσίμου (A/F):
  - ✓ ο λόγος της μάζας του αέρα προς τη μάζα του καυσίμου που εισέρχονται στο θάλαμο καύσης ανά κύκλο:

$$\frac{A}{F} = \frac{m_{\alpha}}{m_B} = \frac{\dot{m}_{\alpha}}{\dot{m}_B}$$

- ✓ Λόγος καυσίμου / αέρα (F/A):

$$\frac{F}{A} = \frac{m_B}{m_{\alpha}} = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_{\alpha}}$$

- ✓ Ονομάζεται ο λόγος αέρα / καυσίμου ή καυσίμου / αέρα που αντιστοιχεί σε πλήρη καύση του καυσίμου χωρίς περίσσεια οξυγόνου.
- ✓ Για παράδειγμα, για καύση με  $C_3H_8$ , ο στοιχειομετρικός λόγος αέρα / καυσίμου είναι 14,7:1, ενώ ο στοιχειομετρικός λόγος καυσίμου / αέρα είναι 1:14,7.

**Στοιχειομετρικός λόγος αέρα/καυσίμου ή καυσίμου/αέρα**

## Λόγος ισοδυναμίας καυσίμου/αέρα $\phi$

Ορίζεται ως ο λόγος του πραγματικού προς το στοιχειομετρικό λόγο αέρα / καυσίμου:

$$\phi = \frac{(F/A)}{(F/A)_s}$$

Ορίζεται ως ο λόγος του πραγματικού προς το στοιχειομετρικό λόγο καυσίμου/αέρα:

$$\lambda = \frac{1}{\varphi} = \frac{(A/F)}{(A/F)_s}$$

**Σχετικός λόγος αέρα/καυσίμου  $\lambda$**

## Διάκριση μιγμάτων

- ✓ Φτωχά μίγματα
  - ✓ εκείνα στα οποία ισχύει  $\phi < 1$  ή  $\lambda > 1$  (περίσσεια οξυγόνου)
- ✓ Πλούσια μίγματα
  - ✓ εκείνα στα οποία ισχύει  $\phi > 1$  ή  $\lambda < 1$  (περίσσεια καυσίμου)
- ✓ Στοιχειομετρικά μίγματα
  - ✓ εκείνα στα οποία ισχύει  $\phi = \lambda = 1$ .

## Ρύθμιση ισχύος

- ✓ Βενζινοκινητήρες με εξαεριωτή ή εγχυτήρες
  - ✓ ποσοτική μέσω δηλαδή της ρύθμισης της ποσότητας μίγματος αέρα/καυσίμου στον εξαεριωτή ή την εισαγωγή
- ✓ Πετρελαιοκινητήρες ή βενζινοκινητήρες με ψεκασμό
  - ✓ ποιοτική, μέσω δηλαδή της μεταβολής του λόγου ισοδυναμίας  $\phi$ , με μεταβολή της παροχής καυσίμου από την αντλία καυσίμου

## Καύση στους βενζινοκινητήρες

- Λόγω της πτητικότητας της βενζίνης, προκύπτει πλήρης εξάτμισή της και ομοιόμορφη ανάμιξη με τον αέρα στο θάλαμο καύσης πριν την έναρξη της καύσεως.
- Η καύση διαρκεί πολύ λίγο και μπορεί να θεωρηθεί ότι γίνεται υπό σταθερό όγκο.

# Καύση στους βενζινοκινητήρες

- ✓ Ομαλή καύση
  - ✓ ομοιόμορφη ανάπτυξη της φλόγας και διάδοση σφαιρικά με σταθερή ταχύτητα
- ✓ Αυτανάφλεξη
  - ✓ η δημιουργία και δεύτερου μετώπου ανάφλεξης, ανεξάρτητου του σπινθηριστή
  - ✓ όταν η αυτανάφλεξη προηγείται της κανονικής ανάφλεξης, τότε λέγεται προανάφλεξη
- ✓ Κρουστική καύση
  - ✓ η καύση με μεταβαλλόμενη ταχύτητα, με χαρακτηριστικό θόρυβο και ταλαντώσεις.

## Καύση στους βενζινοκινητήρες

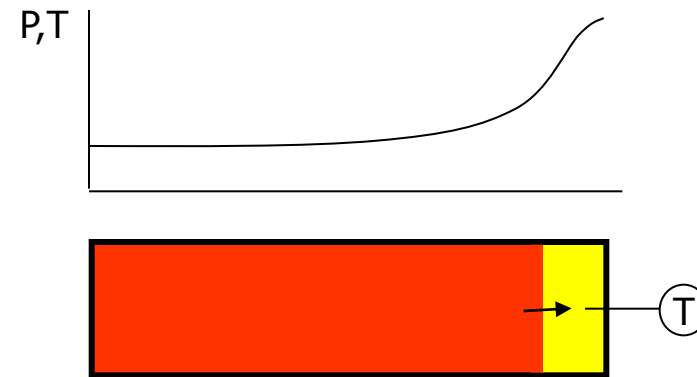
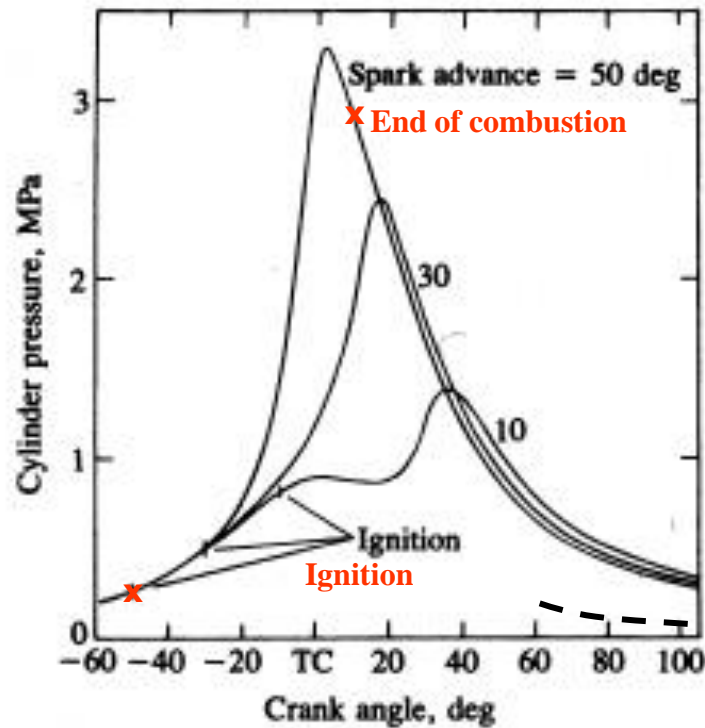
- ✓ Κρουστική καύση
  - ✓ έντονες καταπονήσεις στο σύστημα εμβόλου – διωστήρα – στροφάλου
  - ✓ μείωση της αποδιδόμενης ισχύος.
- ✓ Αιτίες κρουστικής καύσης
  - ✓ χαμηλή ποιότητα καυσίμου
  - ✓ ανομοιόμορφη κατανομή μίγματος εντός του θαλάμου καύσεως.

## Καύση στους βενζινοκινητήρες

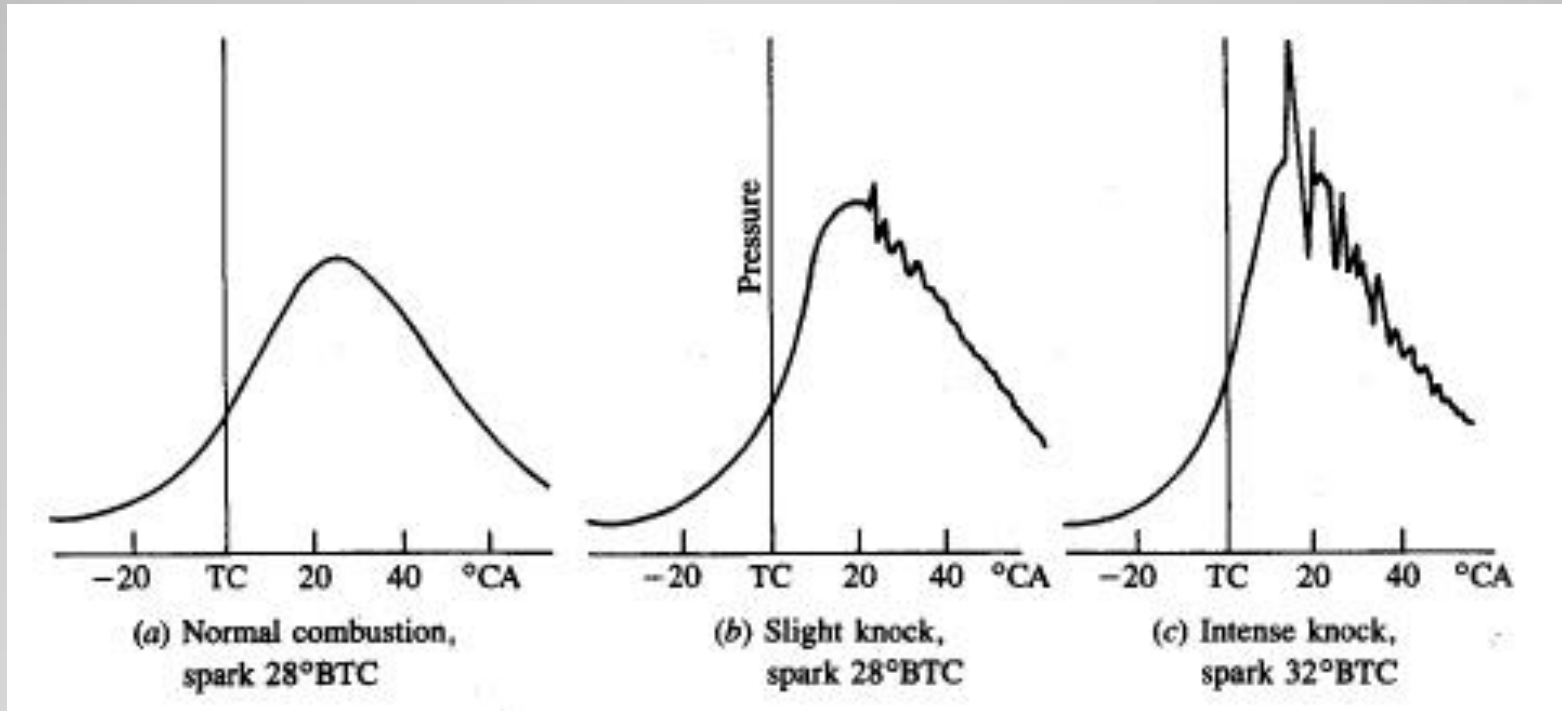
- ✓ Αιτίες κρουστικής καύσης
  - ✓ Σχέση συμπίεσης: σε κινητήρες με υψηλή σχέση συμπίεσης υπάρχει περίπτωση πριν την ανάφλεξη, το μίγμα να συμπιεστεί και λόγω μεγάλης πίεσης και θερμοκρασίας να προκληθεί αυτανάφλεξη
  - ✓ Στροφές κινητήρα: Σε χαμηλές στροφές η ταχύτητα της φλόγας είναι μικρή, η διάρκεια της καύσης παίρνει αρκετό χρόνο και έτσι υπάρχει χρόνος για αυτανάφλεξη

# Καύση στους βενζινοκινητήρες

- ✓ Χρονισμός σπινθηριστή: μέγιστη συμπίεση είναι στο ΑΝΣ. Μεγαλώνοντας την γωνία ανάφλεξης το τέλος της γωνίας καύσης πλησιάζει το ΑΝΣ με αποτέλεσμα το άκαυστο μίγμα να έχει μεγαλύτερη πίεση και θερμοκρασία από ότι πρέπει και να γίνει αυτανάφλεξη.



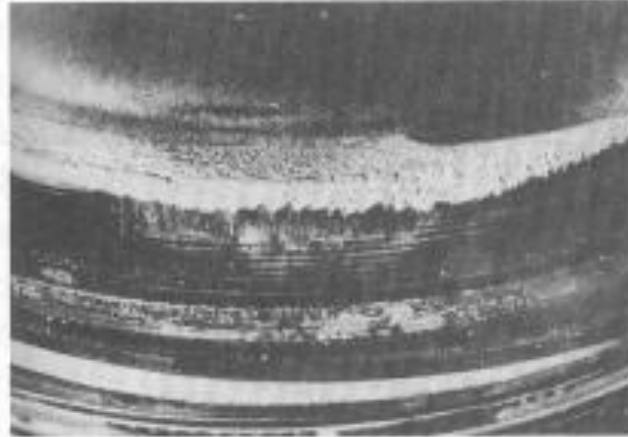
# Καύση στους βενζινοκινητήρες



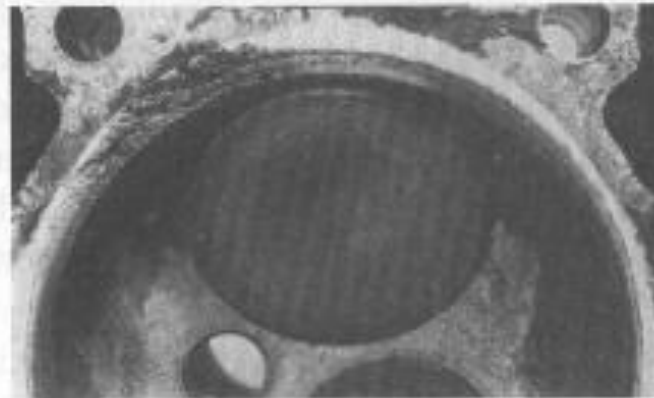
# Καύση στους βενζινοκινητήρες



(a)



(b)



## Γωνία καύσεως

- ✓ Ονομάζεται η γωνία του στροφάλου μεταξύ της εναύσεως της καύσεως και της μέγιστης πίεσης στο θάλαμο καύσης.

## Καύση στους βενζινοκινητήρες

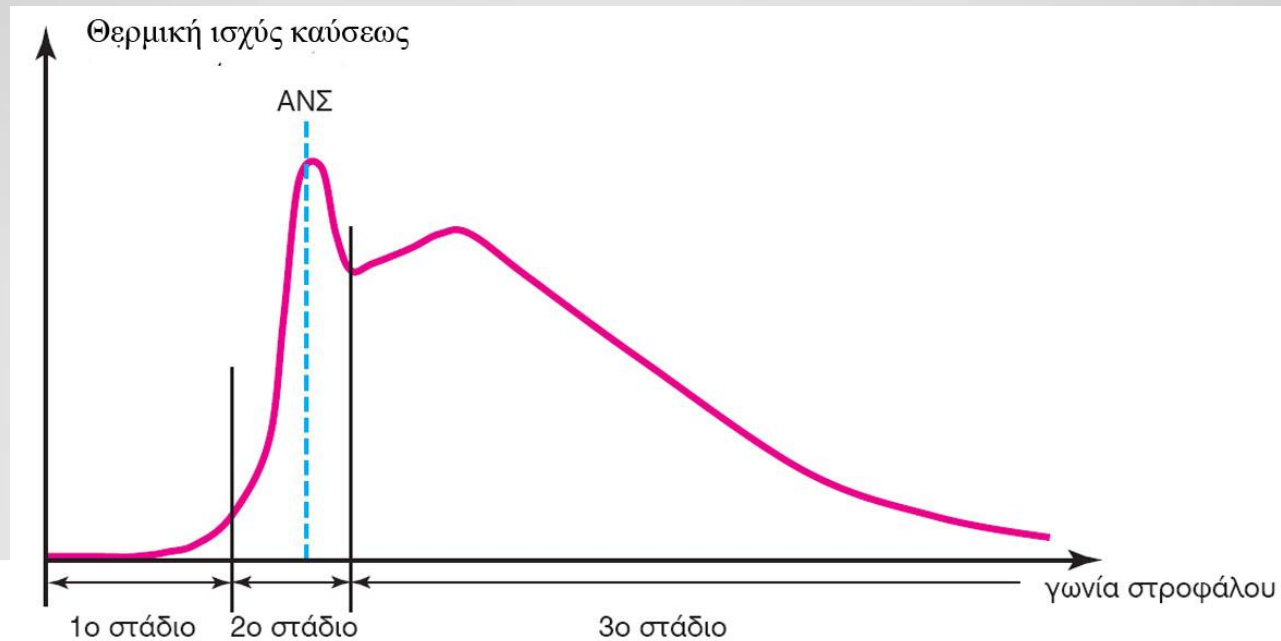
- ✓ Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση:
  - ταχύτητα περιστροφής στροφαλοφόρου (στροφές μηχανής): η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής προκαλεί αύξηση της ταχύτητας καύσης, λόγω αυξήσεως του επιπέδου τύρβης
  - αρχική πίεση μίγματος: μεγάλη πίεση προκαλεί αύξηση της ταχύτητας καύσεως και μείωση της γωνίας καύσεως (υπερπληρούμενοι – ατμοσφαιρικοί κινητήρες)
  - θέση σπινθηριστή
  - λόγος ισοδυναμίας  $\phi$ : μέγιστη ταχύτητα για  $\phi=1,2$  ενώ για  $\phi<0,6$  το μέτωπο φλόγας δεν διαδίδεται.

## Καύση στους πετρελαιοκινητήρες

- ✓ Λόγω της χαμηλότερης πτητικότητας του πετρελαίου, απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος ανά κύκλο καύσης.
- ✓ Η χαμηλή πτητικότητα του πετρελαίου προκαλεί μειωμένη αεριοποίηση και ανομοιόμορφη ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα.
- ✓ Ο αυξημένος χρόνος αεριοποίησης του καυσίμου που απαιτείται στους πετρελαιοκινητήρες προκαλεί ένα μέγιστο αριθμό στροφών λειτουργίας, της τάξης των 5.000 rpm.

# Καύση στους πετρελαιοκινητήρες

- Εκτελείται σε τρία στάδια:
  - 1<sup>ο</sup> στάδιο: περίοδος υστερήσεως εναύσεως
  - 2<sup>ο</sup> στάδιο: στάδιο ανεξέλεγκτης καύσεως
  - 3<sup>ο</sup> στάδιο: στάδιο ελεγχόμενης καύσεως.



## Καύση στους Πετρελαιοκινητήρες

- ✓ Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση:
  - σχήμα θαλάμου καύσεως
  - τύπος συστήματος εγχύσεως: θέση και τύπος εγχυτήρων
  - χρονισμός εγχύσεως:  $15^{\circ} - 25^{\circ}$  πριν το ΑΝΣ, μέγιστη πίεση  $15^{\circ} - 20^{\circ}$  μετά το ΑΝΣ για να προκύπτει η μέγιστη απόδοση του κινητήρα
  - το 1<sup>ο</sup> στάδιο υστέρησης είναι ανεξάρτητο των στροφών του κινητήρα
  - αύξηση πίεσεως αέρα και υπερπλήρωση.

## Θερμογόνο δύναμη καυσίμου

- ✓ Θερμότητα καύσεως:
  - ✓ τη θερμική ενέργεια που λαμβάνεται από ένα κύκλο τέλει καύσης καυσίμου που βρίσκεται σε αρχική θερμοκρασία  $T$ , αφού τα καυσαέρια ψυχθούν στην ίδια θερμοκρασία.
  - ✓ συνεπώς, η θερμότητα καύσεως αναφέρεται πάντα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία εκτέλεσης της καύσης, ενώ η χημική ενέργεια που απελευθερώνεται είναι ανεξάρτητη αυτής.

# Θερμογόνος δύναμη καυσίμου

- ✓ Θερμογόνος δύναμη καυσίμου:
  - ✓ Θερμογόνος δύναμη ονομάζεται η παραγόμενη θερμότητα καύσης ανά μονάδα μάζας του στερεού ή του υγρού καυσίμου ή ανά μονάδα μάζας του αέριου καυσίμου.
  - ✓ Διακρίνεται σε κατώτερη και ανώτερη θερμογόμος δύναμη

## Θερμογόνος δύναμη καυσίμου

- ✓ Ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμου:
  - ✓ ανώτερη θερμογόνος δύναμη η θερμότητα καύσεως που αντιστοιχεί σε υγρή φάση του νερού στο τέλος της καύσεως
  - ✓ κατώτερη θερμογόνος δύναμη η θερμότητα καύσεως που αντιστοιχεί σε αέρια φάση του νερού στο τέλος της καύσεως
- ✓ η διαφορά ανώτερης και κατώτερης θερμογόνου δύναμης ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεως της παραγόμενης μάζας νερού κατά την καύση 1 kgr καυσίμου στη θερμοκρασία καύσεως και είναι της τάξης του 10 – 20%.

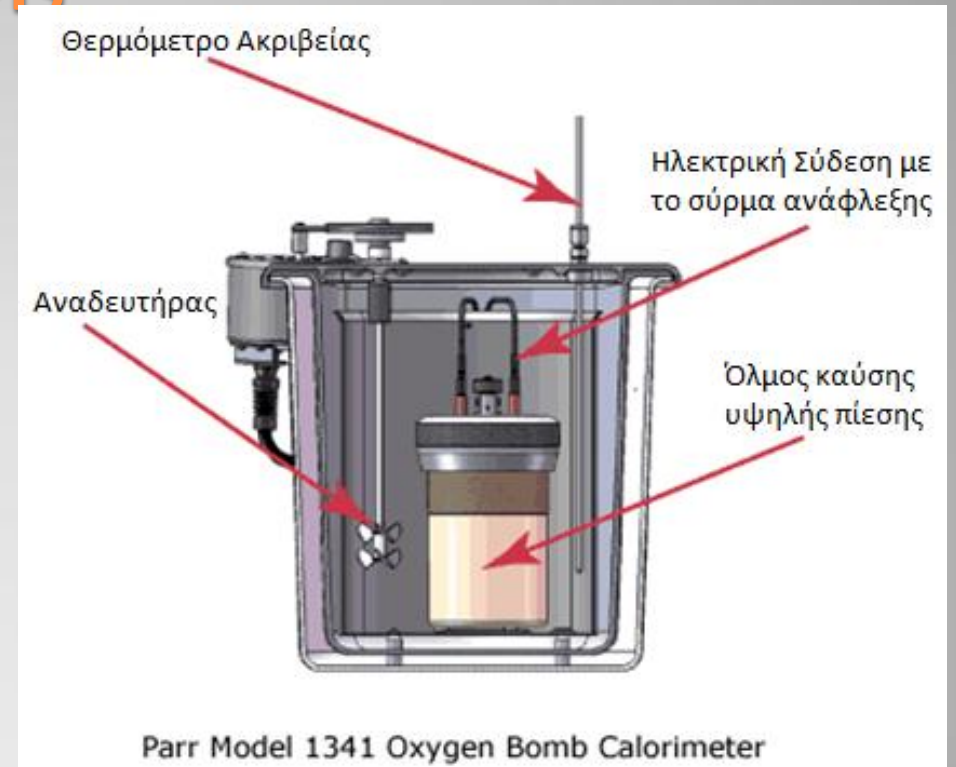
## Θερμογόνος δύναμη καυσίμου

- ✓ Στις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ., λόγω των υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιείται πάντα η κατώτερη θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου.
- ✓ Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις Μ.Ε.Κ. διαφέρουν ελάχιστα ως προς την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα και υδρογόνο. Ορίζεται το κανονικό καύσιμο, ως μέσο καύσιμο για διευκόλυνση υπολογισμών, με θερμογόνο δύναμη 42.500 kJoule/kg.

# Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου ASTM D-2015

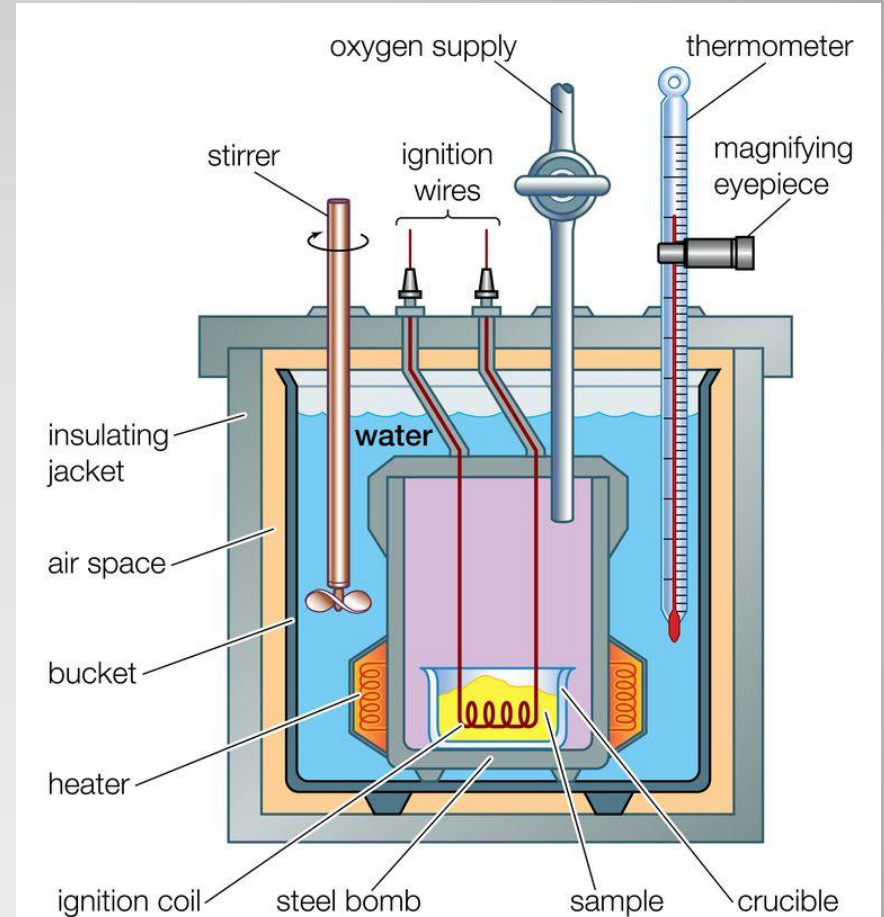
## – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

- ✓ **Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ)** είναι το ποσό θερμότητας το οποίο εκλύεται κατά τη καύση της μονάδας βάρους του άνθρακα, υπό σταθερό όγκο, εντός όλμου θερμιδόμετρου, παρουσία οξυγόνου υπό αρχική πίεση 20-40atm, τελική θερμοκρασία 20-30 °C και με προϊόντα της καύσης τέφρα, νερό σε υγρή κατάσταση και CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub> σε αέρια κατάσταση



# Ανώτερη Θερμογόνο δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

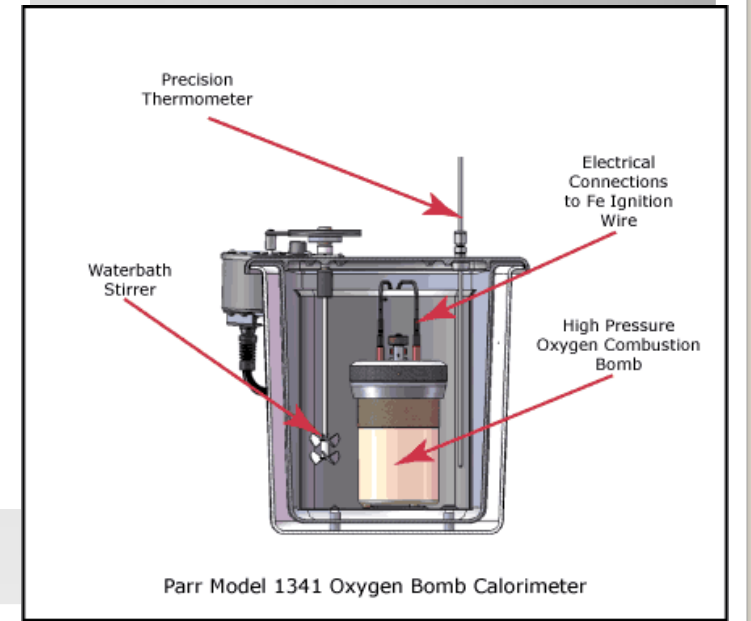
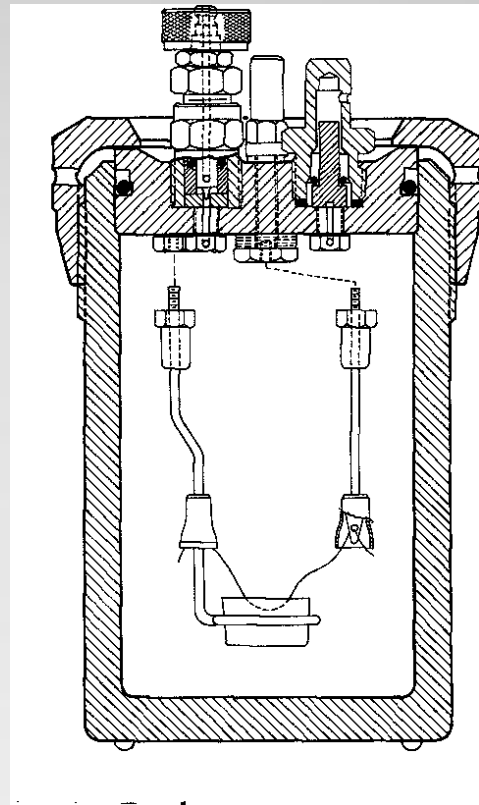
✓ **Οξυγόνο για αντιδραστήριο:** Το οξυγόνο που χρησιμοποιείται για τη καύση δεν πρέπει να έχει καύσιμες ύλες. Μόνο το οξυγόνο παρασκευασμένο από υγρό αέρα, καθαρότητας πάνω από 99,5%, πρέπει να χρησιμοποιείται. Το συνολικό ποσό που περιέχεται στον όλμο δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 5g ανά g δείγματος. Η καύση πρέπει να είναι τέλεια αλλιώς επαναλαμβάνεται η μέτρηση. Αυτό φαίνεται από την απουσία αιθάλης κατά το άνοιγμα του όλμου μετά τη καύση



# Ανώτερη Θερμογόνοος δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

## ✓ Όλμος Καύσης:

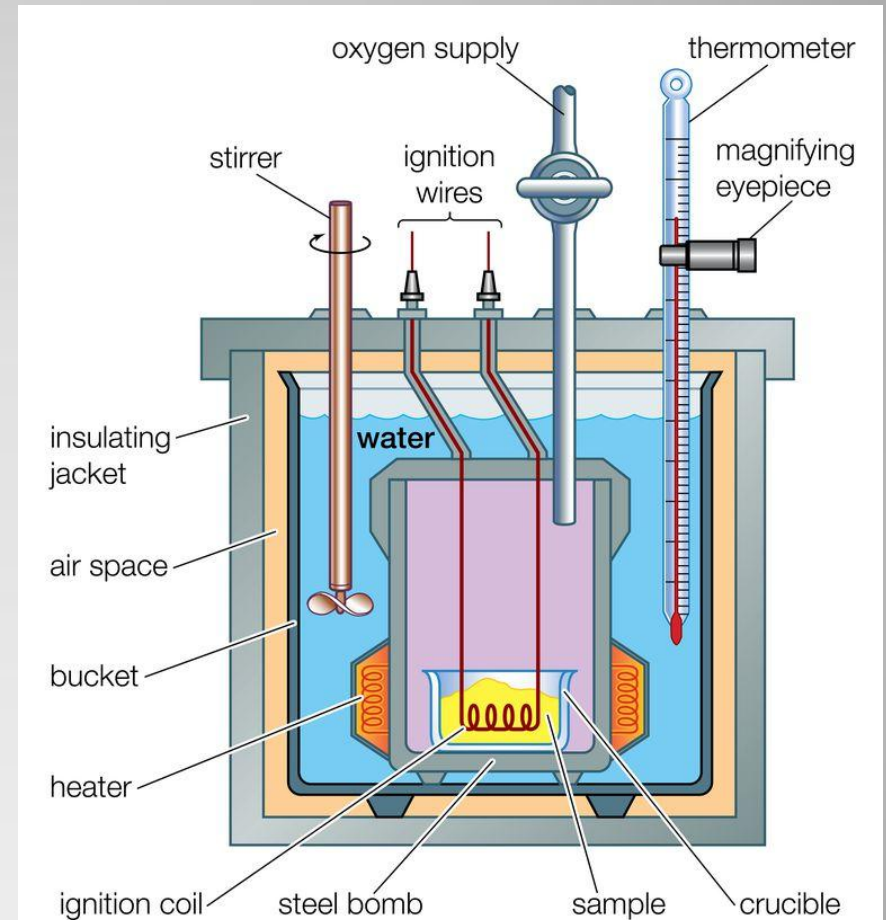
Πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά που δεν επηρεάζονται από την διαδικασία της καύσης και να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε όλα τα υγρά προϊόντα καύσης να ανακτώνται πλήρως με το καθάρισμα της εσωτερικής επιφάνειας. Δεν πρέπει να υπάρχει διαρροή αερίων κατά τη διάρκεια του τεστ και ο όλμος πρέπει να αντέχει υδροστατική πίεση της τάξης των 20 Μpa



# Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

## ✓ **Δοχείο Θερμιδομέτρου:**

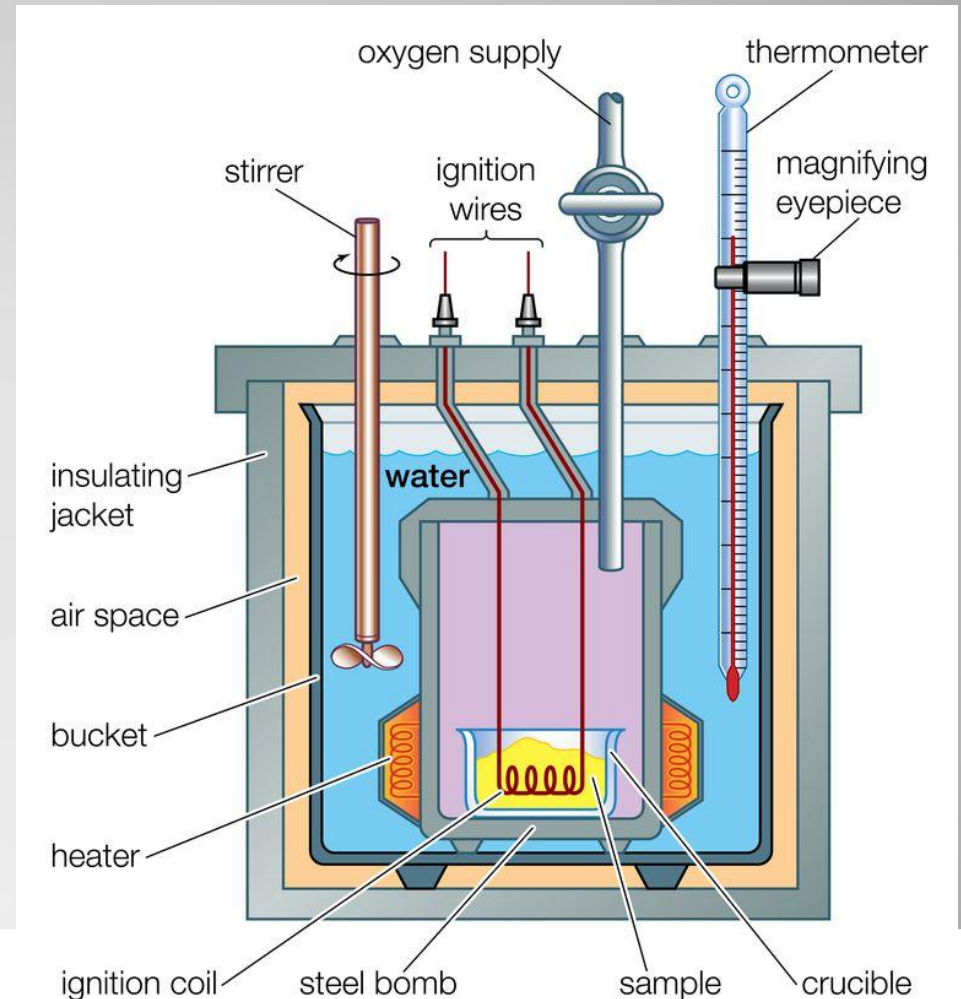
Είναι ένα μεταλλικό δοχείο το οποίο είναι καλυμμένο με εσωτερική επίστρωση και με τις εξωτερικές επιφάνειες πολύ καλά γυαλισμένες. Μέσα στο δοχείο αυτό βυθίζεται πλήρως ο όλμος καύσης και γεμίζεται με απεσταγμένο νερό. Το νερό του δοχείου αναδεύεται αρκετά και με σταθερή ταχύτητα, ώστε να δίνονται κανονικά οι ενδείξεις του θερμομέτρου, κατά το χρόνο όπου η θερμοκρασία ανεβαίνει γρήγορα. Συνεχής ανάδευση για 10 λεπτά δεν θα αυξάνει τη θερμοκρασία του θερμοδόμετρου πάνω από 0,01°C.



# Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

## ✓ **Κάδος Θερμιδομέτρου**

Αποτελείται από διπλό τοίχωμα και μέσα σε αυτό τοποθετείται το δοχείο θερμιδομέτρου για να προστατεύεται από ρεύματα αέρα. Η απόσταση των τοιχωμάτων του δοχείου από τον κάδο πρέπει να είναι περίπου 10 mm, για να εμποδιστεί η διάδοση της θερμότητας. Η ανάδευση του νερού πρέπει να γίνεται με ομοιόμορφο ρυθμό και ελάχιστες θερμοκρασιακές μεταβολές



# Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

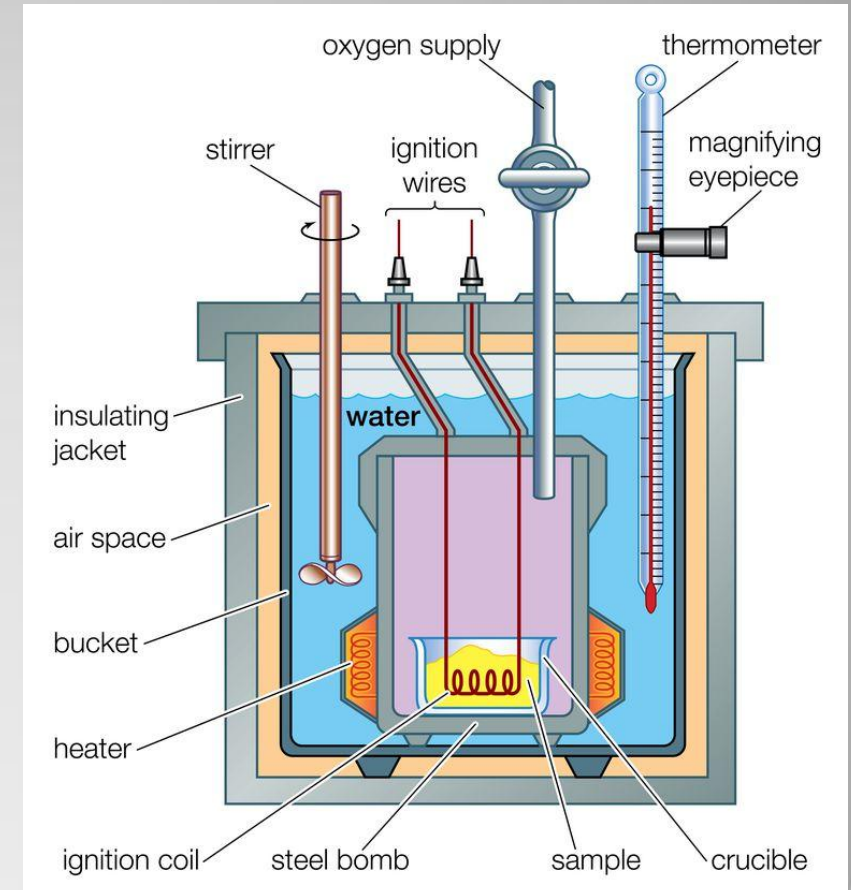
## ✓ **Θερμόμετρο ακριβείας**

Τα θερμόμετρα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στο θερμιδόμετρο και στον κάδο και είναι διάφορων τύπων:

A. Υγρά θερμόμετρα τα οποία προσαρμόζονται στις απαιτήσεις της ASTM για τους 56C, 56F, 116C ή 117C και ελέγχονται για την ακρίβειά τους.

B. Θερμόμετρα Beckman καλύπτοντας μια κλίμακα 6°C με βαθμολόγηση ανά 0,01 του βαθμού του εκατοντάβαθμου. Και αυτά τα θερμόμετρα συνοδεύονται από πιστοποιητικά ελέγχου.

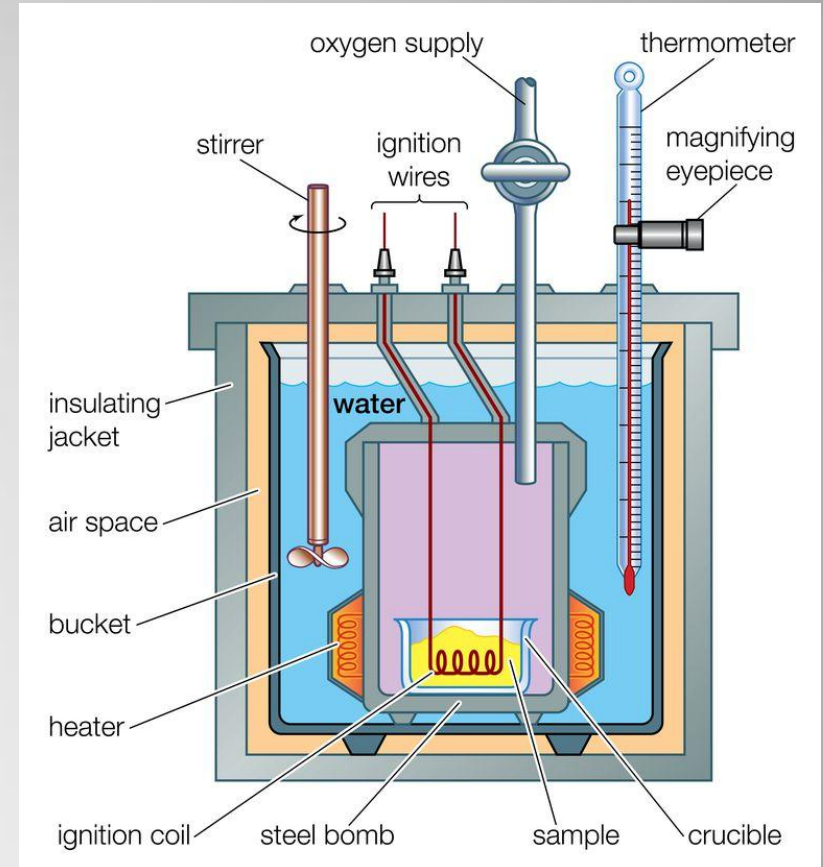
Γ. Άλλα θερμόμετρα με ακρίβεια της τάξης των 0,001°C. Στα θερμόμετρα πρέπει να γίνεται ελαφριά ανακίνηση πριν από κάθε ανάγνωση, για να αποφεύγονται σφάλματα από την προσκόλληση του μηνίσκου του υδραργύρου, ειδικά μάλιστα όταν η θερμοκρασία πέφτει



# Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

## ✓ Σύρμα ανάφλεξης

Χρησιμοποιείται σύρμα μήκους 100 mm (μετριέται πριν και μετά τη δοκιμή) και διαμέτρου 0,16 mm σιδερένιο (τομής No 34B) ή από κράμα νικελίου-χρωμίου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύρμα από πλατίνα ή παλλάδιο διαμέτρου 0,10 mm (τομής No 38B), το οποίο παρέχει σταθερή ποσότητα ενέργειας



# Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου – Εξοπλισμός και διαδικασία μέτρησης

## ✓ **Συσσωρευτής ανάφλεξης**

Παρέχει 6-16 V εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος στο σύρμα ανάφλεξης.

Χρησιμοποιείται επίσης αμπερόμετρο ή ειδικό φως για να δείχνει την διέλευση ρεύματος.

## ✓ **Ζυγός**

Για τη ζύγιση των δειγμάτων χρησιμοποιείται ζυγός με ευαισθησία 0,0001 g ο οποίος πρέπει να ελέγχεται περιοδικά

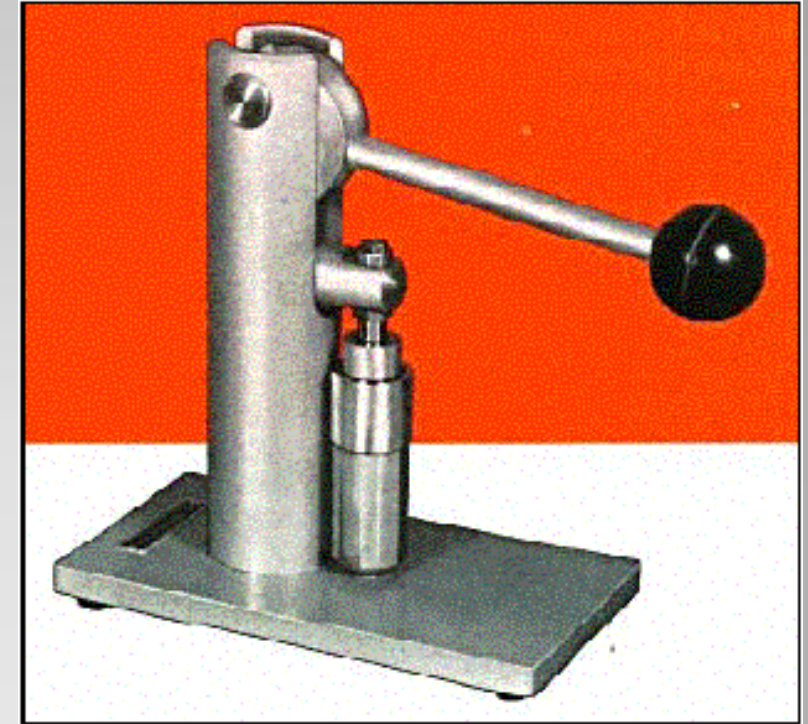


## Προετοιμασία

- ✓ Χώρος διεξαγωγής του πειράματος που να είναι προστατευμένος από ρεύματα αέρα και να διατηρείται σε ομοιόμορφη θερμοκρασία για τον απαιτούμενο χρόνο για τον υπολογισμό. Η συσκευή πρέπει επίσης να προστατεύεται από το φως του ήλιου και την ακτινοβολία. Πρέπει να γίνεται θερμοστατικός έλεγχος της θερμοκρασίας του δωματίου και της υγρασίας.

## Προετοιμασία

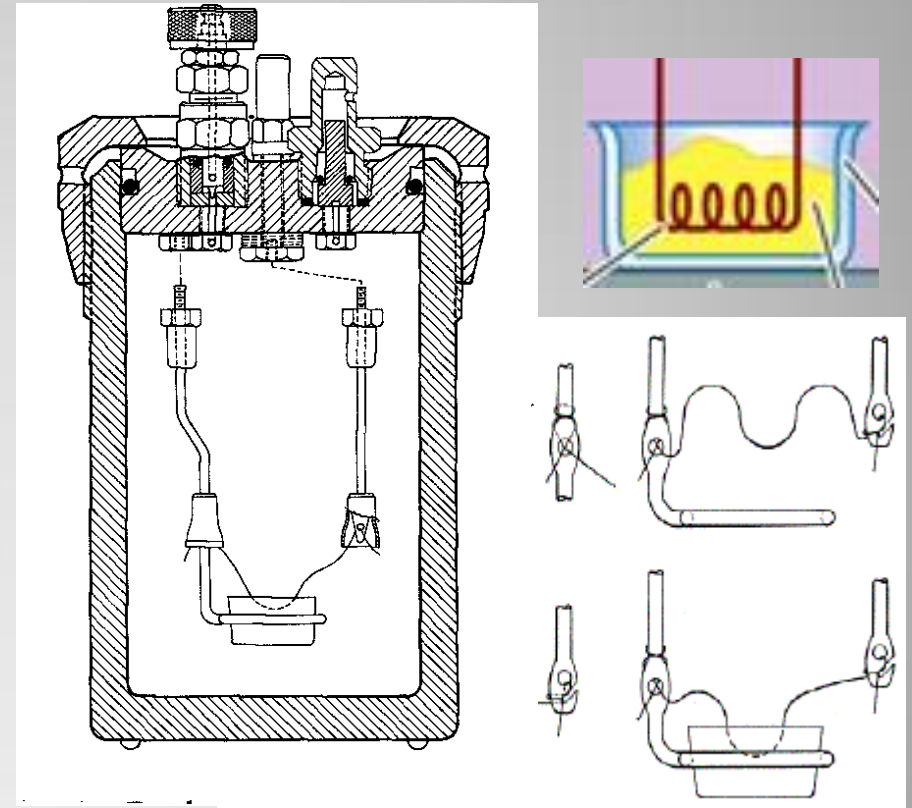
- ✓ **Προετοιμασία του Δείγματος:** Μετά από καλή ανάμιξη του τελικού δείγματος, ζυγίζουμε περίπου 1g (η ποσότητα εξαρτάται από τη φύση του δείγματος π.χ. 0,5g για δείγματα πιο υψηλής πυκνότητας) από αυτό στο χωνευτήριο που πρόκειται να καεί. Στη περίπτωση που το δείγμα είναι κονιώδες, προσθέτουμε μικρή ποσότητα πετρελαίου ούτως ώστε να αποφύγουμε την εκτίναξη του δείγματος κατά τη πλήρωση του όλμου με οξυγόνο. Επίσης, **αν υπάρχει** ο κατάλληλος εξοπλισμός, τα δείγματα αυτά είναι προτιμότερο να γίνονται δισκία. Μετά τη ζύγιση, το δείγμα τοποθετείται αμέσως μέσα στον όλμο ο οποίος κλείνεται.



Συσκευή μετατροπής του δείγματος σε δισκίο (ξηρά χαμηλής πυκνότητας δείγματα).

# Προετοιμασία

- ✓ **Προετοιμασία του όλμου:** Μετράμε συγκεκριμένο μήκος από το σύρμα ανάφλεξης (18cm περίπου) και, αφού διαμορφώσουμε σπείρα, ενώνουμε με αυτό τους ακροδέκτες του θερμοδόμετρου. Η σπείρα πρέπει να εφάπτεται στο δείγμα. Στη περίπτωση που το δείγμα γίνεται δισκίο, το σύρμα ενσωματώνεται σε αυτό και συνδέεται με τους ακροδέκτες. Θέτουμε  $0,5 \text{ cm}^3$  αποσταγμένου νερού στο πυθμένα του όλμου προκειμένου να κορεστεί σε υγρασία το οξυγόνο που θα χρησιμοποιηθεί για τη καύση
- ✓ Αφού ετοιμάσουμε τη βάση με το χωνευτήριο και το σύρμα το τοποθετούμε μέσα στον όλμο όπως φαίνεται στο σχήμα



**Προετοιμασία σύρματος ανάφλεξης**

## Προετοιμασία

- ✓ **Πλήρωση του όλμου με οξυγόνο:** Διαβιβάζουμε οξυγόνο από την οβίδα με αργό ρυθμό για να αποφύγουμε εκτίναξη του δείγματος, χωρίς να αποδιώξουμε τον αρχικά περιεχόμενο αέρα, μέχρι η πίεση να φτάσει τις 30atm. Με τον τρόπο αυτό, ο όλμος περιέχει αρκετό οξυγόνο για την πλήρη καύση του δείγματος, δηλαδή τουλάχιστον 5 gr ανά γραμμάριο δείγματος. Επίσης, η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει αρκετό άζωτο για τη πλήρη οξείδωση του θείου που περιέχεται στον άνθρακα.
- ✓ **Νερό του δοχείου θερμοδόμετρου:** Γεμίζουμε το δοχείο του θερμοδόμετρου με νερό τόσο, όσο χρειάζεται για να καλυφθεί ο όλμος. Η ποσότητα του νερού μετριέται με ογκομετρική φιάλη και είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό της σταθεράς του θερμοδόμετρου. Στη περίπτωση μας η ποσότητα αυτή είναι 2 λίτρα.
- ✓ **Ρεύμα Ανάφλεξης:** Συνδέεται συσσωρευτής ή μετασχηματιστής με ηλεκτρεγερτική δύναμη μικρότερη των 12 volts.

## Προετοιμασία

- ✓ **Πλήρωση του όλμου με οξυγόνο:** Διαβιβάζουμε οξυγόνο από την οβίδα με αργό ρυθμό για να αποφύγουμε εκτίναξη του δείγματος, χωρίς να αποδιώξουμε τον αρχικά περιεχόμενο αέρα, μέχρι η πίεση να φτάσει τις 30atm. Με τον τρόπο αυτό, ο όλμος περιέχει αρκετό οξυγόνο για την πλήρη καύση του δείγματος, δηλαδή τουλάχιστον 5 cal ανά γραμμάριο δείγματος. Επίσης, η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει αρκετό άζωτο για τη πλήρη οξείδωση του θείου που περιέχεται στον άνθρακα.
- ✓ **Νερό του δοχείου θερμοδόμετρου:** Γεμίζουμε το δοχείο του θερμοδόμετρου με νερό τόσο, όσο χρειάζεται για να καλυφθεί ο όλμος. Η ποσότητα του νερού μετριέται με ογκομετρική φιάλη και είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό της σταθεράς του θερμοδόμετρου. Στη περίπτωση μας η ποσότητα αυτή είναι 2 λίτρα.
- ✓ **Ρεύμα Ανάφλεξης:** Συνδέεται συσσωρευτής ή μετασχηματιστής με ηλεκτρεγερτική δύναμη μικρότερη των 12 volts.

# Προετοιμασία

Αυτή προσδιορίζεται μέσω της καύσης πρότυπων δειγμάτων. Είναι ίση με το βάρος της ουσίας, πολλαπλασιασμένο με τη θερμότητα καύσης ανά γραμμάριο αυτής και διαιρεμένο με τη διορθωμένη ανύψωση της θερμοκρασίας.

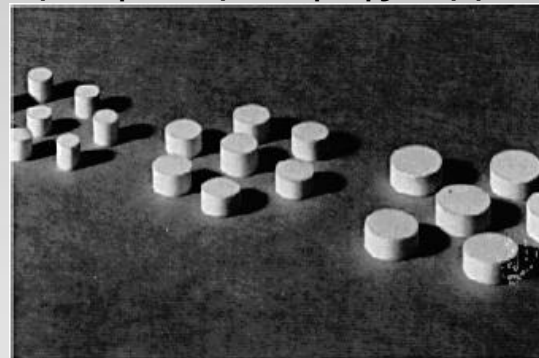
$$\underline{Q=K * \Delta t} \quad \text{(A)}$$

Όπου:

$Q$  = Θερμότητα καύσης ( $cal / g$ )

$K$  = Σταθερά θερμιδόμετρου ( $cal / g * ^\circ C$ )

$\Delta t$  = Μεταβολή Θερμοκρασίας



Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιείται με βενζοϊκό οξύ, ( $C_6H_5COOH$ ), το οποίο προτυποποιημένο σύμφωνα με το National Institute of Standards and Technology. Λόγω του ότι η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι μια πολύπλοκη υπόθεση, δε θα αναφερθούμε σε αυτή προς το παρόν.

Η σταθερά ( $K$ ) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ΑΘΔ στο όργανο του εργαστηρίου και στα παραδείγματα, είναι ο αριθμός **1347**.

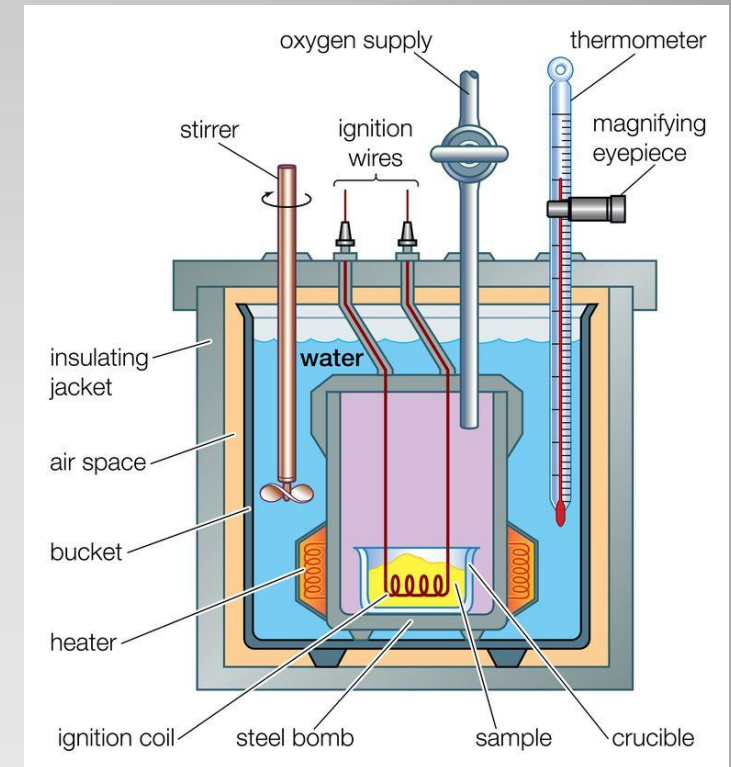
Το σύρμα ανάφλεξης έχει και αυτό κάποια θερμιδική αξία όταν καίγεται κατά τη διάρκεια του πειράματος. Για το λόγο αυτό έχει υπολογιστεί κάποιος συντελεστής ο οποίος πολλαπλασιάζεται με το μήκος του καμένου σύρματος:

$$\underline{0,41 * \Delta x} \quad \text{(B)}$$

όπου  $0,41$  ο συντελεστής του σύρματος και  $\Delta x$  η διαφορά στο μήκος του σύρματος σε  $mm$ .

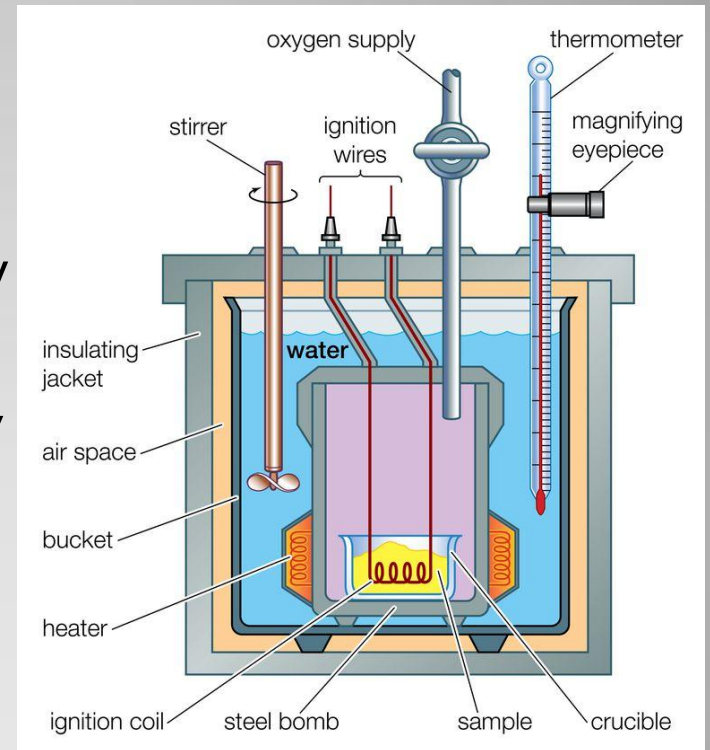
## Διαδικασία μέτρησης

- ✓ Αφού τοποθετήσουμε τον όλμο μέσα στο δοχείο με το νερό, ενώνουμε το καλώδιο που θα δώσει ρεύμα για την ανάφλεξη και τοποθετούμε το κάλυμμα του κάδου, τον αναδευτήρα και το θερμόμετρο, προσέχοντας να μην εφάπτονται με τον όλμο ή το δοχείο του όλμου. Δίνουμε ρεύμα στο σύστημα ανάδευσης και περιμένουμε για 5 λεπτά τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας. Κρατάμε τη τιμή αυτή σαν αρχική θερμοκρασία.
- ✓ Μετά το πέρας των 5 λεπτών, δίνουμε ρεύμα από το μετασχηματιστή μέχρι να δούμε τη θερμοκρασία να αρχίσει να ανεβαίνει. Περιμένουμε τη σταθεροποίησή της για να καταγράψουμε τη τελική θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία δεν ανεβαίνει 0,1 βαθμούς της κλίμακας του θερμομέτρου στη διάρκεια του ενός λεπτού, τότε κρατάμε τη προηγούμενη τιμή σαν τελική θερμοκρασία.



# Διαδικασία μέτρησης

- ✓ Αφού ολοκληρωθεί η καταγραφή των θερμοκρασιών, κλείνουμε τους σχετικούς διακόπτες παροχής ρεύματος και ανοίγουμε τη βαλβίδα του όλμου ώστε να φύγουν τα αέρια προϊόντα της καύσης. Έπειτα ξεβιδώνουμε το καπάκι και εξετάζουμε αν στο εσωτερικό του όλμου και του χωνευτηρίου υπάρχουν ίχνη άκαυστης ουσίας. Αν υπάρχουν η διαδικασία είναι άκυρη και πρέπει να επαναληφθεί. Αν είμαστε βέβαιοι για τη τελειότητα της καύσης του δείγματος, μετράμε το μήκος του εναπομείναντος σύρματος ανάφλεξης και κάνουμε τους σχετικούς υπολογισμούς για την ΑΘΔ.
- ✓ Στη περίπτωση που έχουμε χρησιμοποιήσει πετρέλαιο για την διευκόλυνση της μέτρησης, αφαιρούμε τη ΑΘΔ του πετρελαίου, η οποία έχει ήδη μετρηθεί εκ των προτέρων, από το συνολικό αποτέλεσμα που έχει προκύψει από τους υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τους τύπους (Α) και (Β).
- ✓ Μετά το τέλος του πειράματος ο όλμος καθαρίζεται με καθαρό νερό.



- **Ερωτήσεις**

- Από τι εξαρτάται η ποσότητα του δείγματος που ζυγίζουμε για τη καύση; Αν πρόκειται να μετρήσουμε πετρέλαιο, πόση ποσότητα θα ζυγίσουμε και γιατί.
- Σε πια από τα στάδια εκπόνησης του πειράματος υπάρχει πιθανότητα εκτίναξης του δείγματος και πως αυτή μπορεί να αντιμετωπισθεί;
- Πως θα σιγουρευτούμε για τη τελειότητα της καύσης του δείγματος;
- Πως γίνεται η βαθμονόμηση του οργάνου;
- Ποιος είναι ο σκοπός της τοποθέτησης μικρής ποσότητας νερού μέσα στον όλμο πριν από τη καύση του δείγματος;
- Ποια είναι η χρησιμότητα των δυο βαλβίδων του όλμου;
- Σε ποιες χρονικές στιγμές της μέτρησης καταγράφουμε θερμοκρασίες που μας χρησιμεύουν στην εκπόνησή της;
- Ποιους άλλους παράγοντες / σταθερές λαμβάνουμε υπόψη στον υπολογισμό της ΑΘΔ;

- **Βιβλιογραφική Έρευνα**

- Στο εργαστήριο έγινε περιγραφή της ΑΘΔ. Ποια είναι η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ) και ποιες οι διαφορές της με την ΑΘΔ;
- Ποια από τις δύο ΘΔ είναι σημαντική για το ενεργειακό ισοζύγιο;
- Να βρεθούν οι ΘΔ για τα παρακάτω: Diesel, Μαζούτ, Λιθάνθρακας, λιγνίτης, φυσικό αέριο.

- **Παράδειγμα**

- Σταθερά Θερμιδόμετρου: 1347
- Βάρος Δείγματος: 0.5067gr
- Βάρος πετρελαίου (βοηθητικό): 0.1012gr
- ΑΘΔ. Βοηθητικού πετρελαίου: 10550 kcal/gr
- Ανύψωση Θερμοκρασίας: 2,9 °F
- Σταθερά σύρματος ανάφλεξης: 2,3
- Τελικό μήκος σύρματος: 4cm
- Σύμφωνα με τα παραπάνω, **να υπολογισθεί η ΑΘΔ του δείγματος.**

**Για το σπίτι**