

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πάτρας
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: ΚΑΥΣΙΜΑ – ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΚΤΑΝΙΩΝ

Εισηγητής: Dr. Κ. Μαυρίδης

Εκπονήθηκε από τους σπουδαστές του τμήματος:
Καλογερόπουλο Χρήστο (1860)
Σβάρνα Σωτήριο (2064)

ΠΑΤΡΑ 2001

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πτυχιακή εργασία αυτή έχει σαν βασικό αντικείμενο τη μελέτη των καυσίμων, που αποτελεί αναγκαία ύλη για τη λειτουργία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται έννοιες και μεγέθη που χαρακτηρίζουν το καύσιμο. Τέτοια μεγέθη είναι η κατανάλωση καυσίμου, το χαρακτηριστικό πεδίο της κατανάλωσης, η αναγωγή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε Κανονικές Συνθήκες, η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου, καθώς και ο αριθμός οκτανίων και κετανίου.

Επίσης μελετώνται διάφορες μέθοδοι και συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των άνω μεγεθών, όπως ο δειγματολήπτης, ο διακόπτης μέτρησης εμβόλου, η ζυγαριά καυσίμου για υγραέριο και η μέθοδος **Junkers**.

Σημαντικό στοιχείο αποτελούν επίσης οι οι συνθήκες που επικρατούν μέσα στον θάλαμο καύσης ενός κινητήρα, κατά τη διάρκεια της καύσης του καυσίμου. Αυτή η κατάσταση χαρακτηρίζεται από δύο βασικά, κυρίως, μεγέθη. Την πίεση και τη θερμοκρασία.

Μελετώνται τρόποι μέτρησης των δύο αυτών μεγεθών, καθώς και τα αντίστοιχα όργανα μέτρησης, όπως τα θερμόμετρα αντιστάσεως, υγρών, ελατηριωτά υγρών, καθώς μηχανικά και ηλεκτρικά μανόμετρα.

Μέσα από την εργασία αυτή προτείνονται λύσεις για την αντιμετώπιση των διαφόρων προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί η μεγάλη προσπάθεια που καταβλήθηκε από τους συγγραφείς της εργασίας για την ολοκλήρωσή της, αλλά και η σημαντική συμβολή του εισηγητή καθηγητή, που ήταν καταλυτική για το περιεχόμενο και την εμφάνιση της παρούσας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΚΑΥΣΙΜΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	4
1.1.	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	4
1.1.1.	ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	5
1.1.2.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	6
1.1.3.	ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	8
1.2.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	14
1.2.1.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΚΤΑΝΙΩΝ.....	15
1.2.2.	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ.....	29
2.	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	36
2.1.	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ.....	36
2.2.	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	40
2.3.	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ.....	51
2.4.	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ.....	53
3.	ΠΙΕΣΗ.....	58
3.1.	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΙΕΣΟΜΕΤΡΑ.....	59
3.2.	ΠΙΕΣΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ.....	61
3.3.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ.....	73
3.4.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΡΟΠΙΚΟΥ ΕΚΘΕΤΗ.....	80
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86

ΚΑΥΣΙΜΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Το καύσιμο είναι αναγκαίο για την λειτουργία ενός κινητήρα ΜΕΚ. Κατά την καύση της στον κύλινδρο του κινητήρα παράγεται θερμότητα, που μόνο το $1/3$ της μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Το υπόλοιπο, (τουλάχιστον $2/3$ της ενέργειας θερμότητας) χάνεται μέσω της ψύξης - νερό ή αέρας - και ως καυσαέριο στο περιβάλλον.

Τα καύσιμα παράγονται κυρίως από αργό πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Η απόσταση του αργού πετρελαίου οδηγεί στην παραγωγή κλασματικών αποσταγμάτων. Κατ' αυτήν λαμβάνονται στις περιοχές θερμοκρασίας από $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ η βενζίνη, και από $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ το πετρέλαιο **DIESEL**. Το υπόλοιπο αποτελείται από βαρύ έλαιο. Παράλληλα με τα υγρά καύσιμα χρησιμοποιούνται επίσης και αέρια καύσιμα.

Σ' αυτά υπάγονται το φυσικό αέριο - αυτό περιέχει σχεδόν μόνο μεθάνιο και ένα μίγμα από προπάνιο και βουτάνιο. Εξ' αιτίας της διαφορετικής σύνθεσης των καυσίμων, αυτά παρουσιάζουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Έτσι, καίγεται βενζίνη στους κινητήρες ΟΤΤΟ και πετρέλαιο **DIESEL** στους κινητήρες **DIESEL**. Για την καύση του βαρέως ελαίου είναι κατάλληλος μόνο ο ειδικός γι' αυτό κατασκευασμένος, μεγάλος κινητήρας **DIESEL**. Το βαρύ έλαιο περιέχει πολύ θείο και είναι παχύρευστο, ως επί το πλείστον στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα προς τις ιδιότητες των καυσίμων, ο κατασκευαστής κινητήρων και ιδιαίτερα ο αγοραστής ενδιαφέρονται και για την κατανάλωση καυσίμου. Αυτός είναι που αποφασίζει για την οικονομικότητα του κινητήρα. Ακολούθως αρχικά θα συζητηθεί η μέτρηση της κατανάλωσης των καυσίμων και μετά ο καθορισμός μερικών σπουδαίων των καυσίμων.

1.1. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ένα από τα πιο σπουδαία στοιχεία ενός κινητήρα είναι η κατανάλωση καύσιμου. Συνήθως δίνεται σε **Kgr/h**. Η μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου βασίζεται στο ότι μετράται ο χρόνος, στον οποίο ο κινητήρας καταναλώνει ένα ορισμένο όγκο ή μια ορισμένη μάζα καυσίμου. Από το χρόνο και τον όγκο ή τη μάζα καυσίμου υπολογίζεται η κατανάλωση:

$$B = \frac{m}{t} \quad (1)$$

όπου:

B = κατανάλωση καυσίμου

m = μάζα καυσίμου

t = χρόνος μέτρησης

Η μάζα καυσίμου υπολογίζεται από τον όγκο:

$$m = \rho \cdot V \quad (2)$$

όπου:

ρ = πυκνότητα καυσίμου

V = όγκος καυσίμου

Η πυκνότητα του καυσίμου υπολογίζεται με το αραιόμετρο (ζυγαριά βύθισης) σχήμα 1. Η αρχή μέτρησής του βασίζεται στο ότι ένα διάκενο σώμα βυθισμένο σ' ένα υγρό, υφίσταται μια άνωση. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του υγρού, τόσο περισσότερο εξέρχεται ο λαιμός του αραιομέτρου. Επειδή η κατανάλωση καυσίμου δεν είναι κατάλληλη για σύγκριση διαφορετικών κινητήρων, καθορίστηκε ακόμα μία ιδιότητα: η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Αναφέρεται ως η κατανάλωση καυσίμου στην ωφέλιμη ισχύ του κινητήρα. Αυτή υπολογίζεται με την εξίσωση (3):

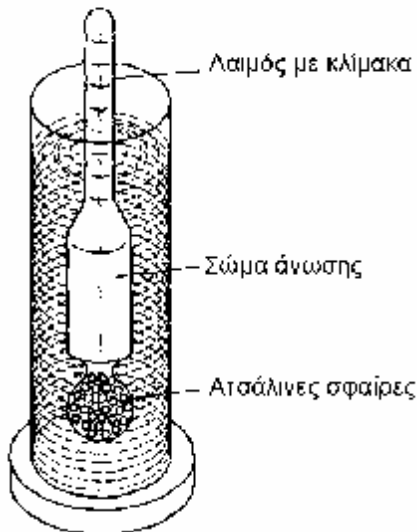
$$b_e = \frac{B}{P_e} \quad (3)$$

όπου:

b_e = ειδική κατανάλωση καυσίμου

B = κατανάλωση καυσίμου

P_e = ωφέλιμη ισχύς



Σχήμα 1: Αραιόμετρο

1.1.1. ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου ενός κινητήρα εξαρτάται επίσης από τις συνθήκες λειτουργίας, όπως: πίεση, θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα. Για ακριβείς μετρήσεις σύγκρισης πρέπει να μετατραπεί η ειδική κατανάλωση καυσίμου, ακριβώς όπως και η ωφέλιμη ισχύς, σε κανονικές συνθήκες, δηλαδή να αναχθεί. Οι κανονικές συνθήκες είναι:

- Πίεση αέρα: $P_r = 1.0 \text{ bar (750 Torr)}$
- Θερμοκρασία αέρα: $T_r = 300 \text{ K (27 } ^\circ\text{C)}$
- Σχετική υγρασία αέρα: $\Phi_r = 60 \%$

Η εξάρτηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας μπορεί να εξηγηθεί ως ακολούθως: Όταν π.χ. πέφτει η

πίεση του αέρα, ελαττώνεται η ενδεικνυόμενη ισχύς του κινητήρα, ενώ η απόδοση τριβής παραμένει σχεδόν σταθερή. Η μικρότερη ενδεικνυόμενη ισχύς έχει πιθανόν σαν αποτέλεσμα μια μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Αυτή είναι όμως ποσοστιαία λιγότερη απ' ό,τι η ελάττωση της ωφέλιμου ισχύος, που φυσικά εκφράζει η διαφορά μεταξύ της ενδεικνυόμενης ισχύος και της απόδοσης τριβής. Ως εκ τούτου, ο αριθμητής στην εξίσωση για την ειδική κατανάλωση καυσίμου (κατανάλωση καυσίμου) ελαττώνεται λιγότερο από τον παρονομαστή (ωφέλιμη απόδοση) και αυξάνεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Την εξίσωση για την αναγωγή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου παίρνει κανείς από τον κατά DIN κανονισμό **6271**

$$B_r = B_x \frac{a}{k} \quad (4)$$

όπου:

B_r = αναγόμενη ειδική κατανάλωση καυσίμου

B_x = από μετρήσεις εξακριβωθείσα ειδική κατανάλωση καυσίμου

a = αδιάστατος συντελεστής

k = αδιάστατος συντελεστής

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου του τετράχρονου κινητήρα **DIESEL** από το παράδειγμα **3**, εξακριβώθηκε σε κατάσταση περιβάλλοντος **0,933 bar, 20 °C** και **80%** σχετικής υγρασίας προς **220 gr/kWh**. Το όριο απόδοσης του είναι δεδομένο μέσω της σχέσης αέρα. Πόσο είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυτού του κινητήρα κάτω από κανονικές συνθήκες;

$\Lambda \quad \Upsilon \quad \Sigma \quad H$

$$B_r = B_x * a / k$$

Οι τιμές για το a , k παίρνονται ως εξής:

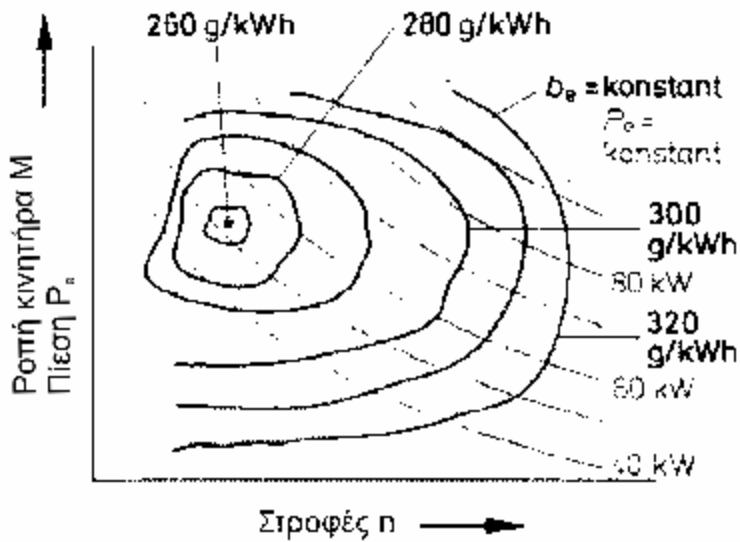
$a = 0,942$, $k = 0,951$. Έτσι λαμβάνει κανείς:

$$B_r = 220 \text{ g / kWh} * 0,942 / 0,951 = 218 \text{ g / kWh}$$

Κάτω από κανονικές συνθήκες ανέρχεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου στα **218 g / kWh**.

1.1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

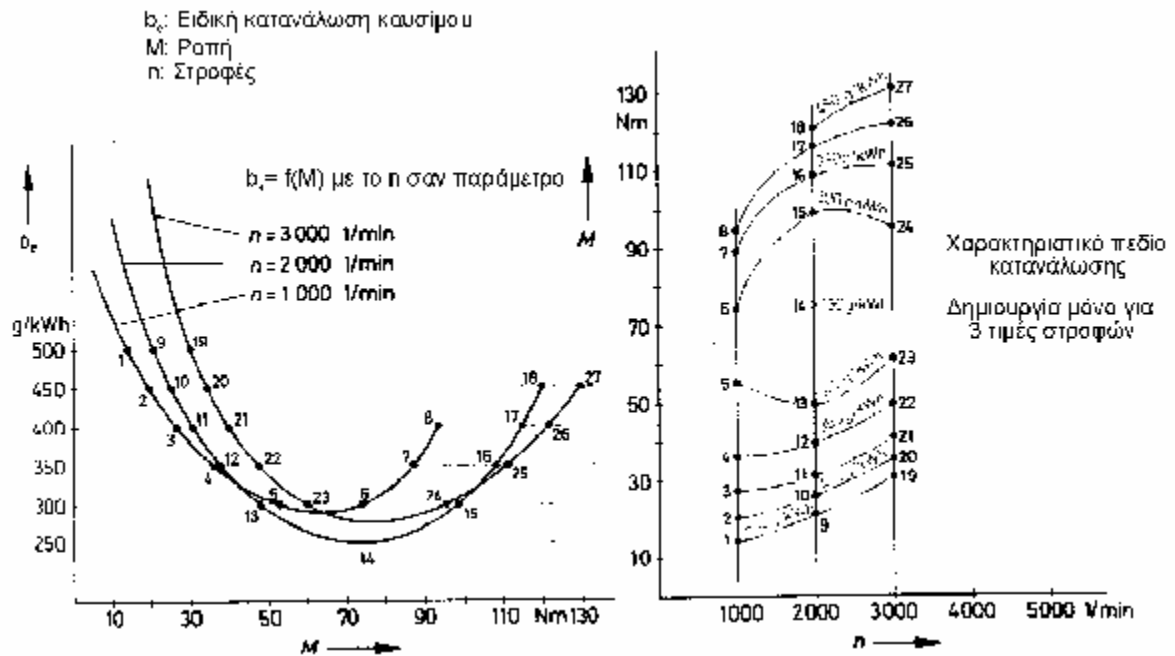
Στο χαρακτηριστικό πεδίο κατανάλωσης παριστάνεται η μέση ωφέλιμη πίεση ή η ροπή σαν συνάρτηση του αριθμού στροφών με παράμετρο την ειδική κατανάλωση καυσίμου. Δημιουργείται μια εικόνα παρόμοια της κάτοψης ενός κοχυλιού. Γι' αυτό αυτές οι καμπύλες ονομάζονται επίσης κοχυλοειδείς. Το διάγραμμα εκτός από καμπύλες σταθεράς ειδικής κατανάλωσης καυσίμου περιέχει καμπύλες σταθερής ωφέλιμης ισχύος. Από το χαρακτηριστικό πεδίο (σχήμα **2**) προκύπτει καθαρά ότι ο κινητήρας μπορεί να αποδώσει κάτω από εντελώς διαφορετική ειδική κατανάλωση καυσίμου, την ίδια ωφέλιμη απόδοση. Γι' αυτό θα πρέπει να προσπαθεί κανείς πάντα να λειτουργεί τον κινητήρα με την χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 2: Χαρακτηριστικό πεδίο κατανάλωσης

Κατά το σχεδιασμό ενός κινητήρα το χαρακτηριστικό πεδίο κατανάλωσης προσφέρει πολύτιμες υπηρεσίες. Έτσι θα κατασκευάσει κανείς π.χ. ένα όχημα, ώστε ο κινητήρας στην κανονική λειτουργία του να δουλεύει κατά το δυνατόν κοντά στην χαμηλότερη κατανάλωση. Για την παραγωγή του χαρακτηριστικού πεδίου κατανάλωσης μετράται αρχικά η κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα με μεταβολή της ροπής και σταθερό αριθμό στροφών. Από τα αποτελέσματα μέτρησης υπολογίζεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου και σημειώνεται σε συνάρτηση της μέσης ωφέλιμης πίεσης ή της ροπής περιστροφής με παράμετρο τον αριθμό στροφών (σχήμα 3). Ο υπολογισμός της μέσης ωφέλιμης πίεσης από την ροπή περιστροφής, πραγματοποιείται από τον τύπο (5):

$$P_e = \frac{M \cdot 2\pi}{V_h z \cdot i} \quad (5)$$



Σχήμα 3: Δημιουργία του χαρακτηριστικού πεδίου κατανάλωσης

Έτσι προκύπτουν οριζόντιες γραμμές σταθερής ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Τα σημεία τομής μεταξύ των οριζοντίων και των καμπυλών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου μεταφέρονται στο χαρακτηριστικό πεδίο κατανάλωσης και λαμβάνονται έτσι οι κοχλοειδείς καμπύλες. Υπολογίζεται επίσης για ορισμένες επιλεγμένες τιμές της ωφέλιμης ισχύος, η ροπή περιστροφής σε συνδυασμό με τον αριθμό στροφών και καταγράφονται οι καμπύλες της ισχύος στο χαρακτηριστικό πεδίο κατανάλωσης (τύπος (6)):

$$M = \frac{P_e}{2\pi n} \quad (6)$$

όπου:

M = ροπή περιστροφής

P_e = ωφέλιμη ισχύς

n = αριθμός στροφών

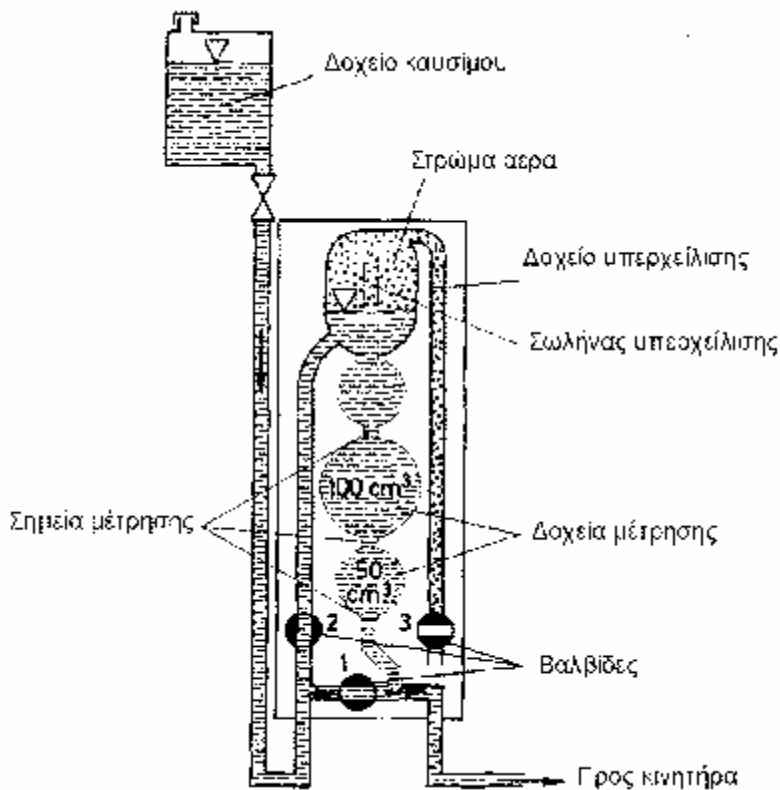
1.1.3. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

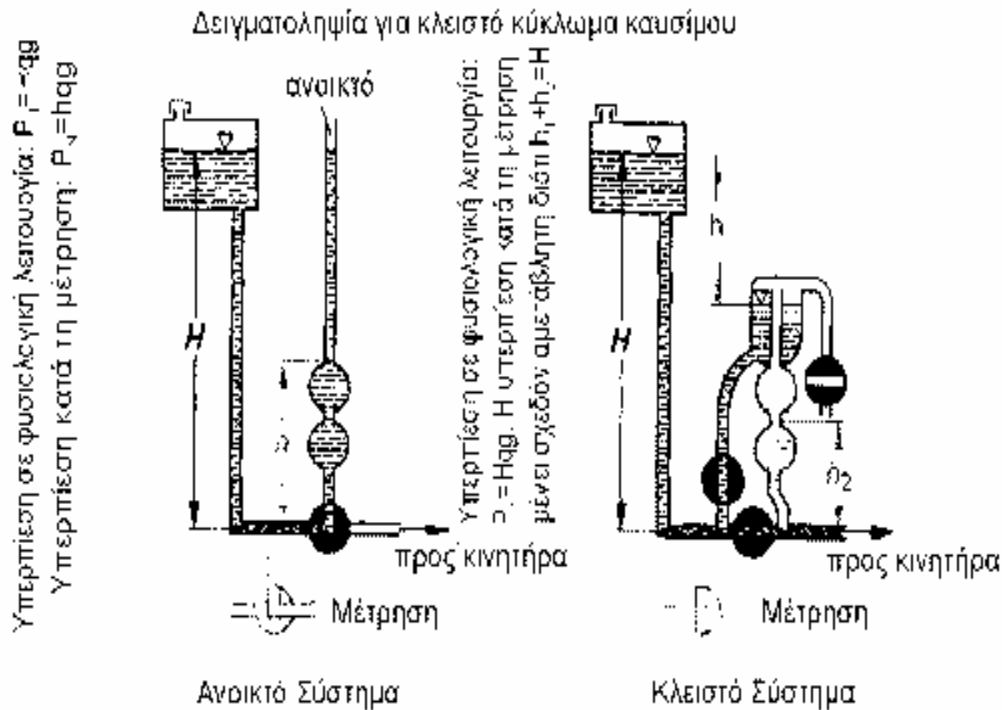
Η μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου βασίζεται στο ότι μετράται ο χρόνος, στον οποίο ο κινητήρας καταναλώνει ένα καθορισμένο όγκο καυσίμου ή μια ορισμένη μάζα καυσίμου. Από τη μάζα και το χρόνο, υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗΣ

Εκτός από το δειγματολήπτη, που επιτρέπει μόνο δειγματοληπτικές μετρήσεις, απαιτούνται ένα χρονόμετρο και ένα αραιόμετρο. Στο σχήμα 4 παριστάνεται ένας δειγματολήπτης, ο οποίος αποτελείται από δύο γυάλινα δοχεία, το δοχείο μέτρησης και το δοχείο υπερχειλίσης, και κυκλώματα σύνδεσης

με τρεις κρουνούς. Το δοχείο μέτρησης σχηματίζεται ως επί το πλείστον από δυο γυάλινες σφαίρες διαφορετικού μετρήσιμου όγκου. Έτσι είναι δυνατόν επιλεγεί ο προς μέτρηση όγκος ώστε κατά τη διάρκεια της χρονομέτρησης με το χέρι, η διάρκεια μέτρησης να ανέρχεται περίπου στο ένα λεπτό. Η διάρκεια μέτρησης δεν θα έπρεπε να είναι λιγότερη, ούτως ώστε το λάθος κατά την εκκίνηση και τερματισμό του χρονομέτρου να μην επηρεάζει τόσο πολύ τη μέτρηση. Για να θέσει κάποιος σε λειτουργία το δειγματολήπτη, αφήνει μέσω των κρουνών **1** και **2** να εισρεύσει καύσιμο από το δοχείο του καυσίμου.





Σχήμα 4: Δειγματολήπτης

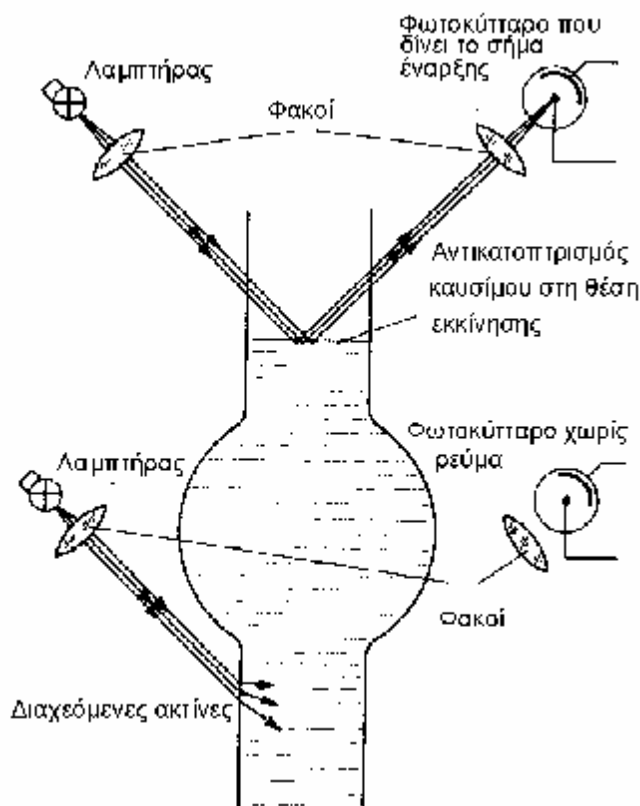
Τότε ο κρουνός **3** παραμένει κλειστός. Ο αέρας που βρίσκεται στο δοχείο εκτοπίζεται από το καύσιμο στο δοχείο υπερχειλίσης. Η πίεση στο στρώμα αέρα αυξάνει με την αυξανόμενη στάθμη του καυσίμου. Μόλις η πίεση στο στρώμα αέρα γίνει η ίδια με την πίεση του καυσίμου δεν αυξάνει πλέον η στάθμη του καυσίμου. Στην αντιμετρηση είναι αναγκαίο η στάθμη να βρίσκεται μερικά χιλιοστά πάνω από το ανώτατο σημείο. Εάν δε φθάσει αυτό το σημείο, τότε αφήνεται να βγει λίγος αέρας μέσω μικρού ανοίγματος του κρουνού **3**. Η συσκευή είναι τώρα έτοιμη για λειτουργία. Στην αντιμετρηση κλείνει ο κρουνός **1**. Ο κινητήρας καταναλώνει καύσιμο και η στάθμη πέφτει στο δοχείο μέτρησης. Μετράται ο χρόνος, τον οποίο χρειάζεται η στάθμη του καυσίμου για να περάσει ανάμεσα σε δυο σημεία μέτρησης. Με ελαττωμένη στάθμη καυσίμου στο δοχείο μέτρησης, αυξάνει η στάθμη στο δοχείο υπερχειλίσης, μέχρις ότου το καύσιμο να διαρρεύσει από το δοχείο υπερχειλίσης στο δοχείο μέτρησης. Αυτή η υπερχειλιση επιτρέπεται όμως να συμβεί μόνο όταν έχει τελειώσει η μέτρηση. Το στρώμα αέρα είναι πολύ μικρό αν νωρίτερα έχει υπερχειλίσει καύσιμο. Το στρώμα αέρα μπορεί να αυξηθεί όταν ανοίχθει με μειωμένη στάθμη ο κρουνός **3**. Τότε ξανααπορροφάται αέρας στο δοχείο υπερχειλίσης. Ο περιγραφόμενος δειγματολήπτης κατασκευάζεται για ένα κλειστό κύκλωμα. Παράλληλα υπάρχει ο δειγματολήπτης για ένα ανοικτό σύστημα καυσίμου. Το κλειστό κύκλωμα φέρνει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με το ανοικτό κύκλωμα:

1. Το καύσιμο δεν μπορεί να χυθεί στο χώρο δοκιμής.
2. Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει με υπερπίεση καυσίμου.
3. Η πίεση καυσίμου παραμένει κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας μέτρησης σχεδόν σταθερή.

4. Η εισροή καυσίμου δεν διακόπτεται όταν ξεχνιέται η αλλαγή σε κανονική λειτουργία μετά τη μέτρηση.

Το τελευταίο σημείο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για κινητήρες **DIESEL**. Έχουμε εισροή αέρα στο κύκλωμα καυσίμου, με αποτέλεσμα την δυσκολία επαναλειτουργίας του κινητήρα. Η μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου με το δειγματολήπτη μπορεί επίσης να αυτοματοποιηθεί αρκεί στον κρουνό **1** να προσαρμοστεί μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Η θέση σε λειτουργία και το κλείσιμο του χρονομέτρου γίνεται μέσω ηλεκτρονικών παλμών, οι οποίοι τίθενται σε λειτουργία, από τη στάθμη του καυσίμου κατά τη διαρροή τους, διαμέσου των σημείων μέτρησης, άμεσα. Για την παραγωγή των παλμών υπάρχουν διαφορετικές δυνατότητες, εκ των οποίων μία φαίνεται στο σχήμα **5**. Οι ακτίνες φως της λάμπας αντανακλώνται στην ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου, έτσι ώστε να πέφτουν στα φωτοκύτταρα. Μέσω αυτού του τρόπου, του δημιουργηθέντος ρεύματος φως, δίδεται το σήμα για τη θέση λειτουργίας, δηλαδή σταμάτημα του αυτόματου χρονομέτρου.

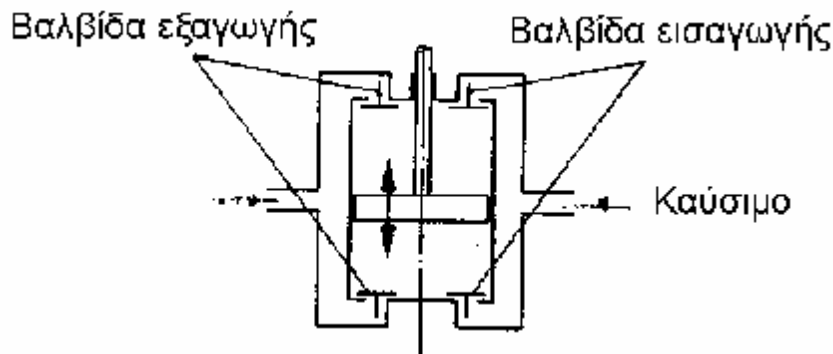
Κατά τη μεταβολή της στάθμης του καυσίμου, μέσω του κάτω σημείου μέτρησης ρυθμίζεται επιπλέον η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, έτσι ώστε ο κύλινδρος μέτρησης να γεμίζει και πάλι με καύσιμο. Αυτή η μέτρηση γίνεται μέσω της χρήσης ενός κουμπού, όπου κλείνει την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και αρχίζει να μειώνεται η στάθμη του καυσίμου.



Σχήμα 5: Αυτόματη καθοδήγηση της μέτρησης χρόνου μέσω φωτοκύτταρου στο δειγματολήπτη

ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΜΒΟΛΟΥ

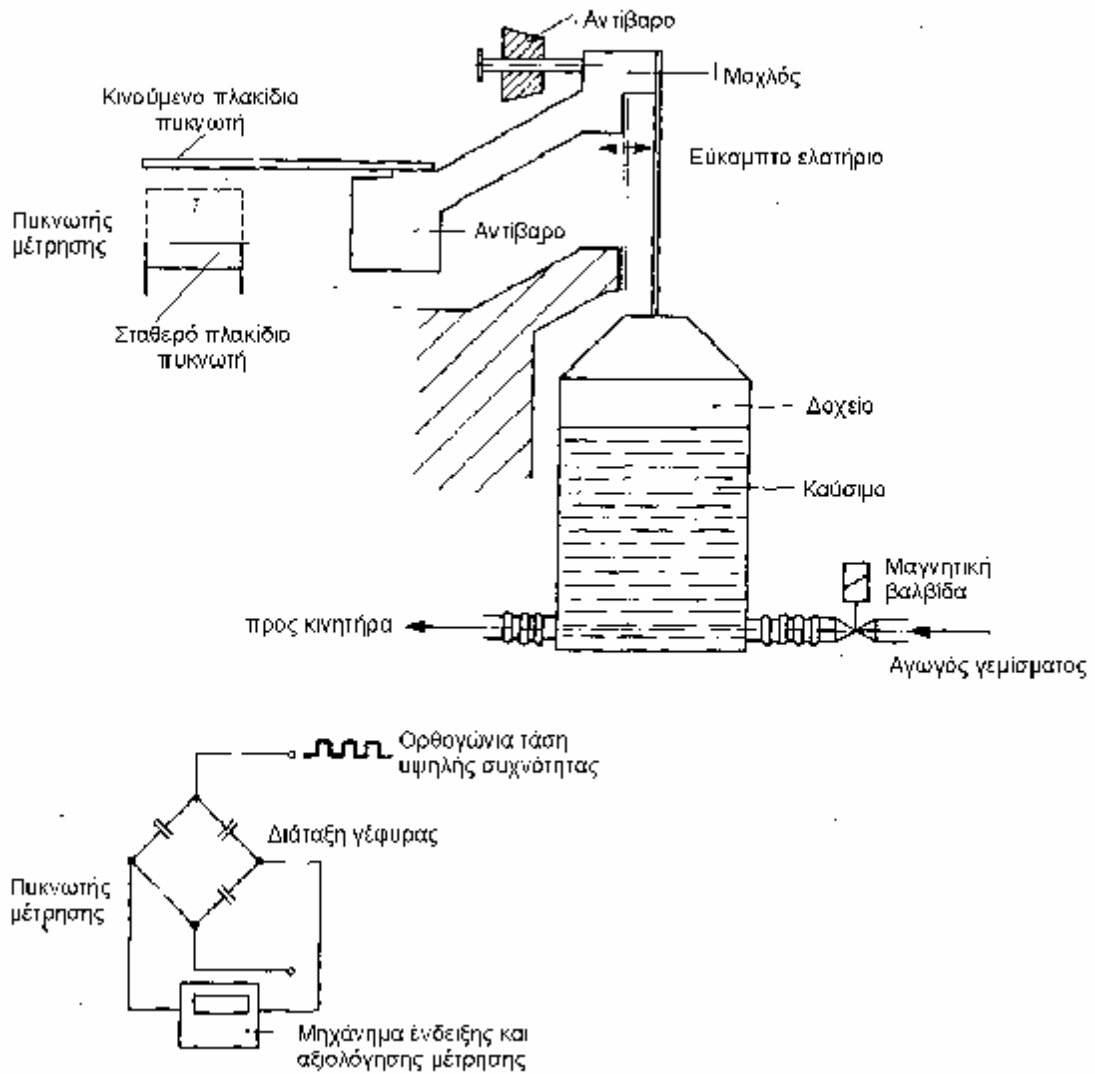
Με τον δειγματολήπτη είναι δυνατές μόνο δειγματολογικές μετρήσεις. Μια συνεχής μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου δεν μπορεί να γίνει επειδή μετά από κάθε μέτρηση, ο κύλινδρος μέτρησης πρέπει πάλι να γεμίζεται με καύσιμο. Ο διακόπτης μέτρησης εμβόλου απεναντίας επιτρέπει μια συνεχή μέτρηση κατανάλωσης, ακόμα και για έναν μεγάλο χρόνο μέτρησης. Ανήκει, όπως και ο δειγματολήπτης, στις συσκευές μέτρησης όγκου. Στον κινητήρα ΟΤΤΟ συνδέεται πριν από τον εξαερωτή (καρμπυρατέρ) και στον κινητήρα **DIESEL** πριν από την αντλία έγχυσης. Λειτουργεί επίσης και σε πιέσεις περισσότερων **bar**. Ο τρόπος εργασίας του διακόπτη μέτρησης εμβόλου επεξηγείται στο σχήμα **6**. Το έμβολο μετακινείται μέσω της εισρέουσας ποσότητας καυσίμου. Μαγνητικές βαλβίδες αφήνουν το καύσιμο να εισέλθει εναλλακτικά μια φορά κάτω από το έμβολο. Αυτές οι μαγνητικές βαλβίδες ρυθμίζονται από το έμβολο σε ένα νεκρό σημείο μέσω ενός μοχλού και ενός ρελέ. Σε κάθε διαδρομή εμβόλου ανταποκρίνεται ένας ακριβώς καθορισμένος όγκος καυσίμου. Από ένα μετρητή μετριοούνται οι διπλές διαδρομές. Εκτός αυτού, ανάβει μια λάμπα, η οποία κατά την καθοδική διαδρομή του εμβόλου σβήνει. Μέσω αυτού είναι δυνατόν να συλλάβει κανείς τις μεμονωμένες διαδρομές. Σε πηγές λαθών οι οποίες μπορούν να σταματήσουν με τη βαρομετρική μέτρηση μέσω μιας ζυγαριάς. Κατά τη μέτρηση του όγκου πρέπει επιπλέον να καθορισθεί η πυκνότητα της κατανάλωσης καυσίμου. Η μέτρηση πυκνότητας με το αραιόμετρο προσφέρει σωστές τιμές μόνο αν η θερμοκρασία του καυσίμου κατά την διάρκεια της μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου και της πυκνότητας, είναι η ίδια και όταν αυτή, εκτός των άλλων, συμφωνεί με τη θερμοκρασία μέτρησης του αραιομέτρου.



Σχήμα 6: Βαλβίδα (διακόπτης) μέτρησης

Η ζυγαριά καυσίμου (σχήμα 7) εργάζεται αυτόματα. Το καύσιμο εισρέει μέσω του αγωγού εισροής στο δοχείο και κατόπιν στον κινητήρα. Μόλις πρέπει να αρχίσει η μέτρηση κλείνεται η μαγνητική βαλβίδα και η καύσιμη ύλη ρέει από το δοχείο στη μηχανή. Το καύσιμο στο δοχείο λιγοστεύει και το εδκαμπο ελατήριο λυγίζει και εκτρέπεται προς τα αριστερά. Αυτή η κίνηση μεταφέρεται με το μοχλό στην κινούμενη πλάκα πυκνωτή. Η χωρητικότητα του πυκνωτή, που βρίσκεται σε μια γεφυρωτή σύνδεση αλλάζει και προκαλεί ένα σήμα στην γέφυρα. Αυτό το σήμα επεξεργαζόμαστε ηλεκτρικά έτσι ώστε να είναι δυνατός ο απ' ευθείας υπολογισμός της μάζας του καταναλωθέντος καυσίμου σε **Kgr/h**. Υπάρχει δυνατότητα μέτρησης τόσο της κατανάλωσης καυσίμου πάνω από ένα

χρονικό διάστημα (από λίγα λεπτά μέχρι μερικές εκατοντάδες δευτερολέπτων) όπως επίσης και της στιγμιαίας κατανάλωσης.

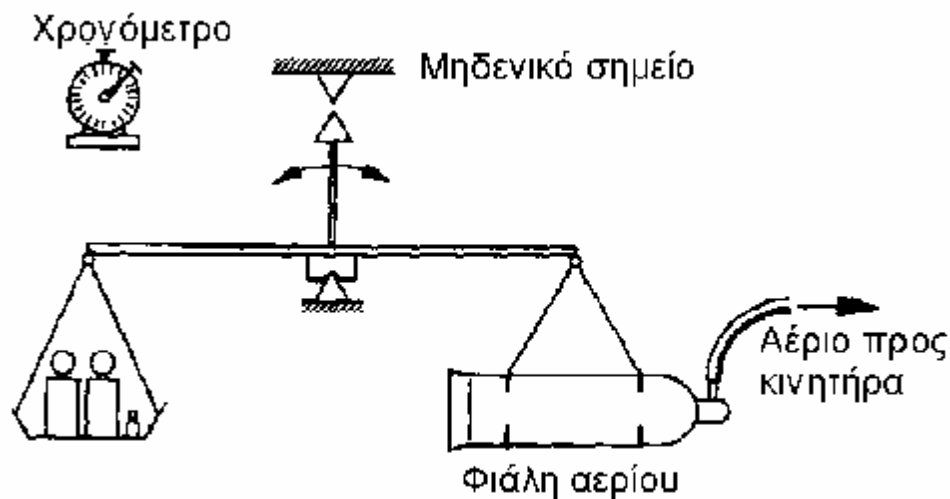


Σχήμα 7: Ζυγός καυσίμου

ΖΥΓΑΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΙΑ ΥΓΡΑΕΡΙΟ

Οι παραπάνω αναφερθέντες τρόποι για τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για υγρό καύσιμο. Στη μέτρηση κατανάλωσης από υγροποιημένα αέρια τα οποία διατίθενται σε ατσάλινες φιάλες σε μια πίεση από περίπου **12 bar**, χρησιμοποιείται η βαρομετρική μέθοδος, σε κάπως τροποποιημένη μορφή (σχήμα 8). Η φιάλη αερίου προσαρμόζεται πάνω σε μια ζυγαριά. Το υγροποιημένο αέριο μέσω του ευκαμπτου σωλήνα στον κινητήρα. Πριν αρχίσει η μέτρηση αντισταθμίζεται η ζυγαριά, έτσι ώστε η πλευρά με τη φιάλη αερίου να είναι λίγο βαρύτερη. Ο δείκτης βρίσκεται δεξιά από το μηδενικό σημείο. Επειδή ο κινητήρας

καταναλώνει συνεχώς αέριο, ο δείκτης μετακινείται αργά προς την κατεύθυνση του μηδενικού σημείου. Κατά το πέρασμα μέσω του μηδενικού σημείου, τίθεται το χρονόμετρο σε λειτουργία. Τώρα παίρνει κανείς, από την πλευρά που είναι τα βάρη, τόσο βάρος, όσο απαιτείται για να μετρηθεί μάζα αερίου. Ο δείκτης μετακινείται πάλι προς τα δεξιά και πλησιάζει ξανά στο μηδενικό σημείο. Τη στιγμή που φθάνει στο μηδενικό σημείο, σταματάει και το χρονόμετρο. Άρα ο κινητήρας έχει καταναλώσει τόσο αέριο, όσο το υπολοιπόμένο βάρος. Από το χρόνο μέτρησης και τη μάζα του αερίου υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 8: Ζυγός καυσίμου για υγροποιημένο αέριο

1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Για τον κατασκευαστή μηχανών είναι πολύ σοβαρό να γνωρίζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες των καυσίμων, γιατί αυτά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό συχνά την κατασκευή. Η μεγάλη ποσότητα θείου στο πετρέλαιο εγκυμονεί μεγάλο κίνδυνο για διάβρωση στις μηχανές και πρέπει να το αντιμετωπίσει κανείς με την ανάλογη κατασκευή. Η χαμηλή ρευστότητα του πετρελαίου απαιτεί κατασκευαστικά μέτρα, τα οποία να επιτρέπουν το ψεκασμό χωρίς κανένα πρόβλημα. Από την καμπύλη ζέσεως της βενζίνης παίρνει κανείς το μέρος εκείνο των ενώσεων υδρογονανθράκων που έχουν υψηλό βαθμό ζέσεως, το οποίο ειδικότερα σε κρύα μηχανή συμβάλει στην αραίωση των λιπαντικών. Ακολούθως θα εξεταστεί ο προσδιορισμός ορισμένων χαρακτηριστικών στοιχείων των καυσίμων.

1.2.1. ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΚΤΑΝΙΩΝ

Τα οκτάνια είναι μια μονάδα μέτρησης της βενζίνης, σε σχέση με το μέτρο (όριο) συμπίεσης ενός μίγματος αερίου - καυσίμου. Προσδιορίζεται με τη βοήθεια μιγμάτων σύγκρισης από ισοοκτάνιο (C_8H_{18}) και επτάνιο (C_7H_{16}). Στο ισοοκτάνιο, το οποίο αντέχει στην αυτανάφλεξη δόθηκε ο αριθμός οκτανίων **100** και στο επτάνιο, που είναι εύκολο στην αυτανάφλεξη, δόθηκε το νούμερο **0**. Ένα συγκριτικό μίγμα π.χ. από **80%** ισοοκτάνιο και από **20%** επτάνιο έχει αριθμό οκτανίων **80**. Ένα καύσιμο συμπεριφέρεται, σε σχέση με την αντοχή στην αυτανάφλεξη, σε αναλογία με τον αριθμό οκτανίων ανάλογου συγκριτικού μίγματος από ισοοκτάνιο και επτάνιο. Διακρίνουμε τέσσερα (**4**) είδη αριθμών οκτανίων:

- 1) **Research** - αριθμός οκτανίων (**ROZ**)
- 2) Αριθμός οκτανίων για μηχανές (**MOZ**)
- 3) **Front** - αριθμός οκτανίων (**FOZ**)
- 4) Οδικός αριθμός οκτανίων (**SOZ**)

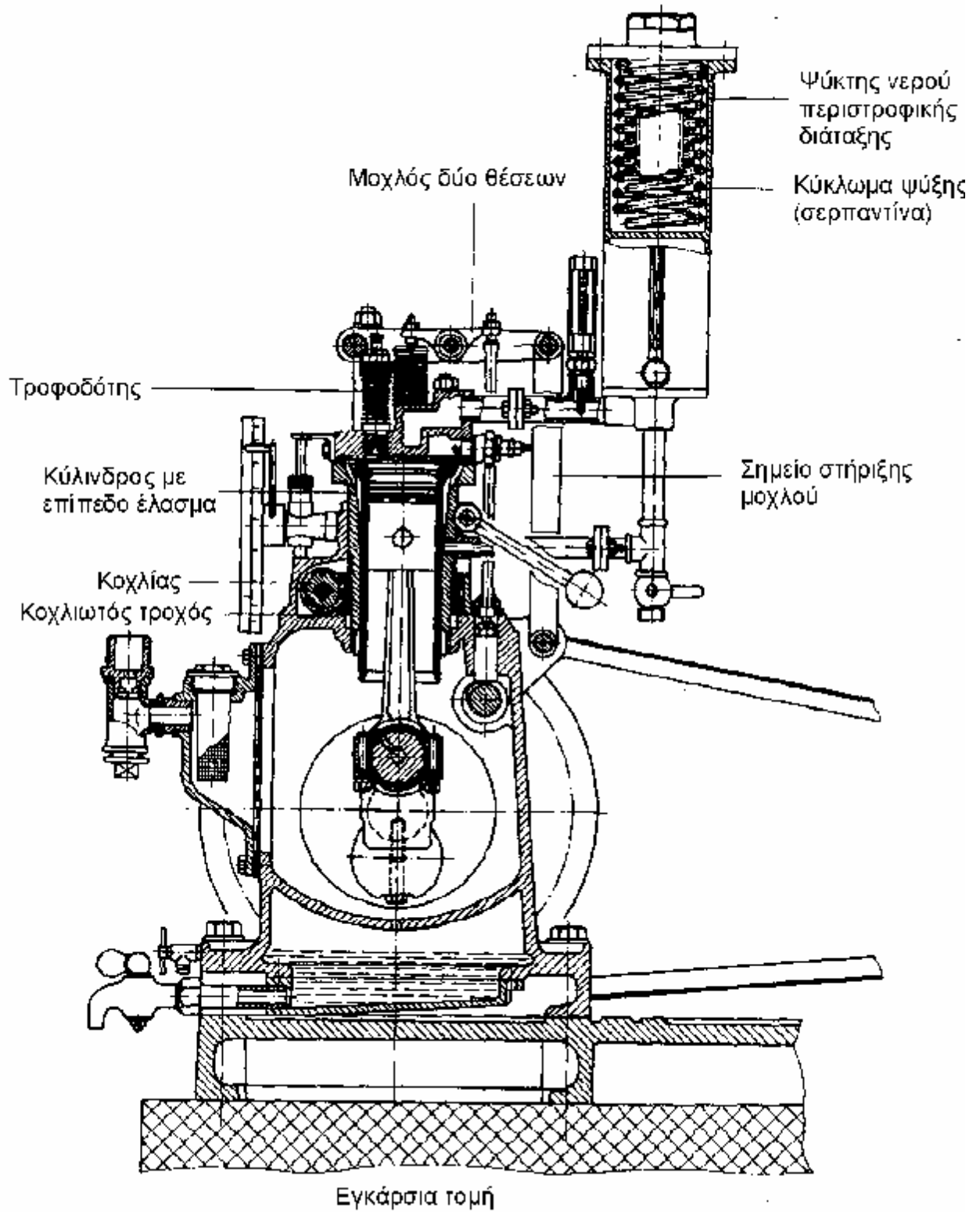
Οι τρεις πρώτοι αριθμοί οκτανίων προσδιορίζονται σε μια ειδικά για αυτήν τη δουλειά κατασκευασμένη μηχανή ελέγχου. Ο **SOZ** προσδιορίζεται στις μηχανές παραγωγής κατά την οδήγηση στο δρόμο.

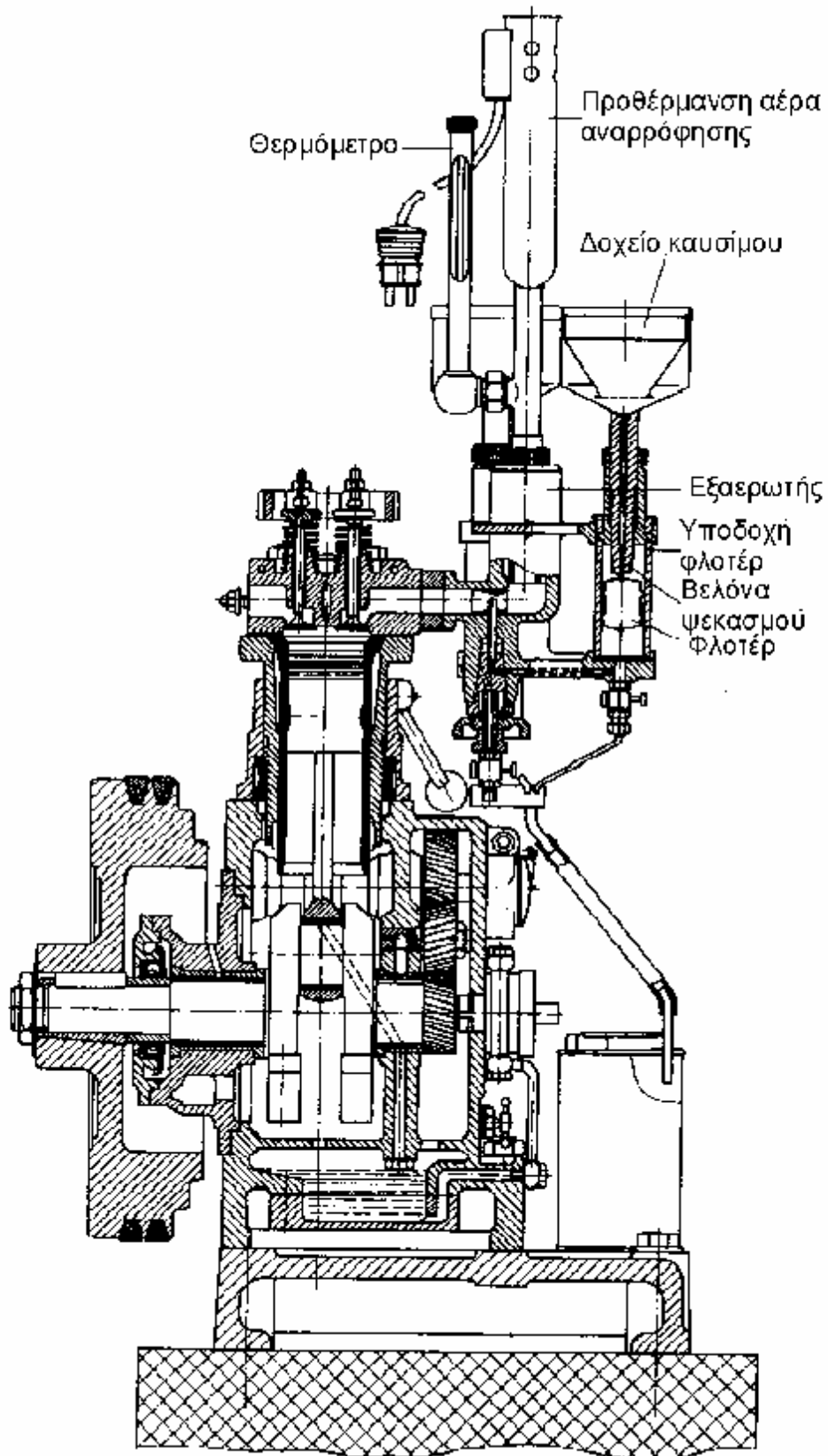
1.2.1.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΚΤΑΝΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο προσδιορισμός των **ROZ**, **MOZ** & **FOZ** είναι καθορισμένος στην **DIN - Norm 51756**. Προκύπτει σε μια μηχανή ελέγχου. Για τον ορισμό του αριθμού οκτανίων έχουν άδεια οι μηχανές ελέγχου **CFR (Cooperative Fuel Research** της επιτροπής της αμερικανικής κοινότητας των κατασκευαστών μηχανών) και **BASF (Badische Anilin und Soda - Fabrik)**. Στο σχήμα **9** απεικονίζεται μια μηχανή **BASF** ελέγχου. Είναι μια μηχανή **OTTO** μονοκύλινδρη, τετράχρονη με ψύξη ατμού και ειδικό καρμπυρατέρ. Με μια διάμετρο κυλίνδρου **65 mm** και με διαδρομή εμβόλου **100 mm** έχει όγκο εμβολισμού **332 cm³** και αποδίδει στις **600 1/min** στροφές περίπου **0.6 kW** και με **900 1/min** στροφές περίπου **0.9 kW**. Ο λόγος συμπίεσης με τη μηχανή ελέγχου εν λειτουργία, μεταβάλλεται με μια χειροκίνητη μανιβέλα ανάμεσα στα όρια **4** έως **12**. Εδώ ο κύλινδρος μαζί με την κεφαλή του, που είναι εφοδιασμένος με χαμηλό σπείρωμα, μετακινείται προς τα επάνω ή προς τα κάτω, μέσω ενός κοχλία και ενός κοχλιωτού τροχού. Η σύνδεση του διωστήρα είναι έτσι κατασκευασμένη ώστε κατά τη μετατόπιση του κυλίνδρου, το διάκενο των βαλβίδων να μη μεταβάλλεται. Η μηχανή ελέγχου είναι εξοπλισμένη με ψύκτη εξάτμισης. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η θερμοκρασία του νερού ψύξης να διατηρείται **100 °C** χωρίς καμία ιδιαίτερη κατασκευή. Η μηχανή ελέγχου παίρνει το καύσιμό της από ένα πλωτήρα - καρμπυρατέρ με τρία γυάλινα χωρίσματα, τα οποία συνδέονται κατ' επιλογή. Μέσα στο περίβλημα του πλωτήρα η σύνδεση του μίγματος καυσίμου - αέρος αλλάζει με την μετατόπιση ενός βελονοειδούς ακροφυσίου και συνεπώς της επιφάνειας του καυσίμου. Συγχρόνως γυρίζει κανείς το δοχείο του καυσίμου με το ακροφύσιο. Υπάρχει η δυνατότητα να ζεστάνει κανείς τον αέρα, που εισχωρεί στο καρμπυρατέρ και να ζεστάνει το μίγμα πριν να εισχωρήσει στον κύλινδρο

της μηχανής. Η μηχανή ελέγχου μπορεί να εργασθεί με σταθερό ή με μεταβαλλόμενο σημείο χρονισμού ανάφλεξης. Η αλλαγή του σημείου χρονισμού ανάφλεξης ρυθμίζεται σε σχέση με λόγο συμπίεσης. Στην εκκίνηση και στην πέδηση της μηχανής ελέγχου συμβάλλει μια ηλεκτρική μηχανή, η οποία είναι συνδεδεμένη μέσω ενός ιμάντα που μεταδίδει την κίνηση. Στην εκκίνηση λειτουργεί η ηλεκτρική μηχανή και θέτει σε λειτουργία τον κινητήρα και κατά την λειτουργία του κινητήρα ελέγχου συμπεριφέρεται σαν ηλεκτρική γεννήτρια. Η θέση της τροχαλίας είναι δυνατόν να αλλαχθεί, έτσι ώστε ο κινητήρας ελέγχου να μπορεί να λειτουργήσει με **600 1/min** ή **900 1/min** στροφές.

α)

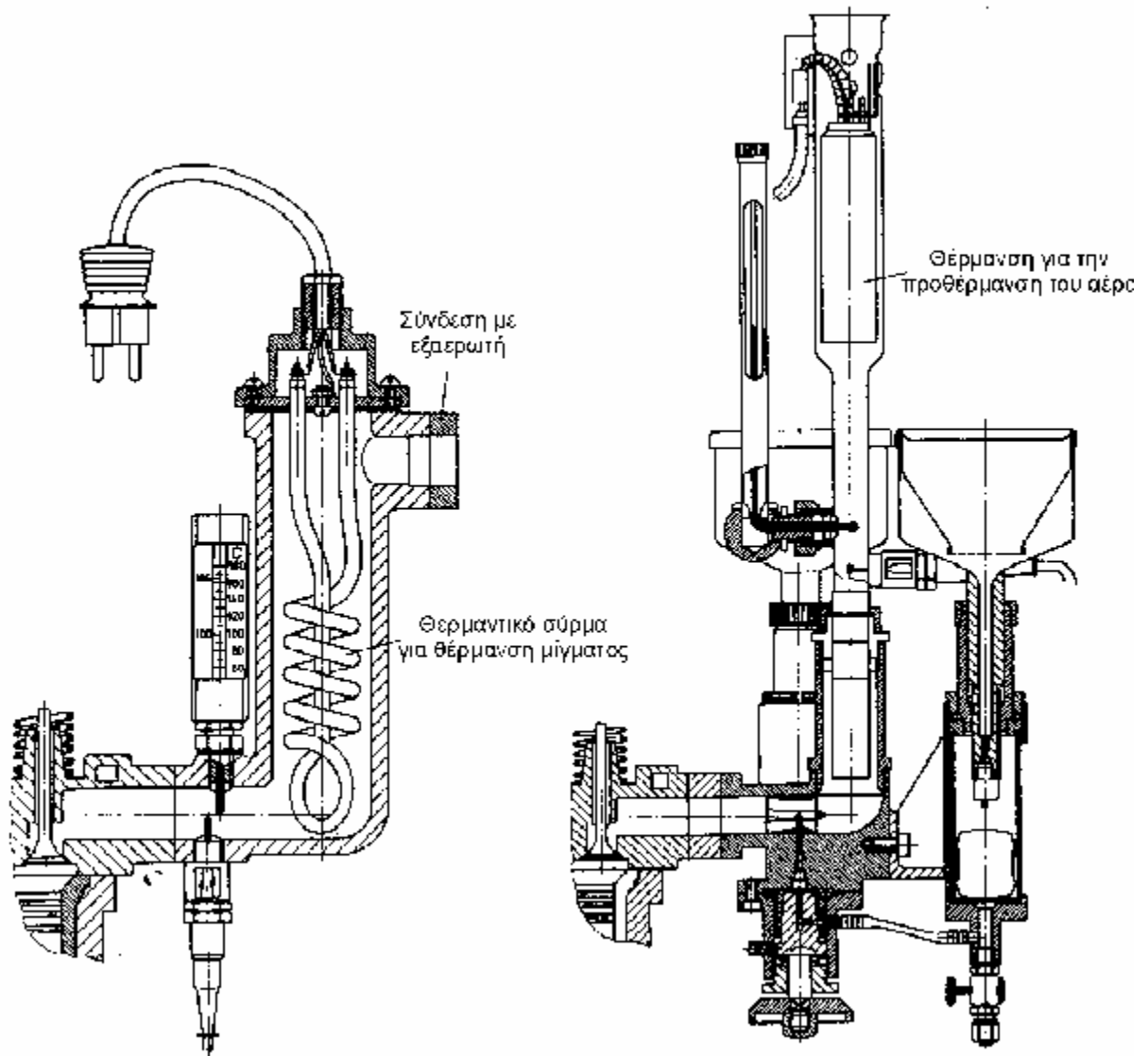




Τομή κατά μήκος

β)

γ)



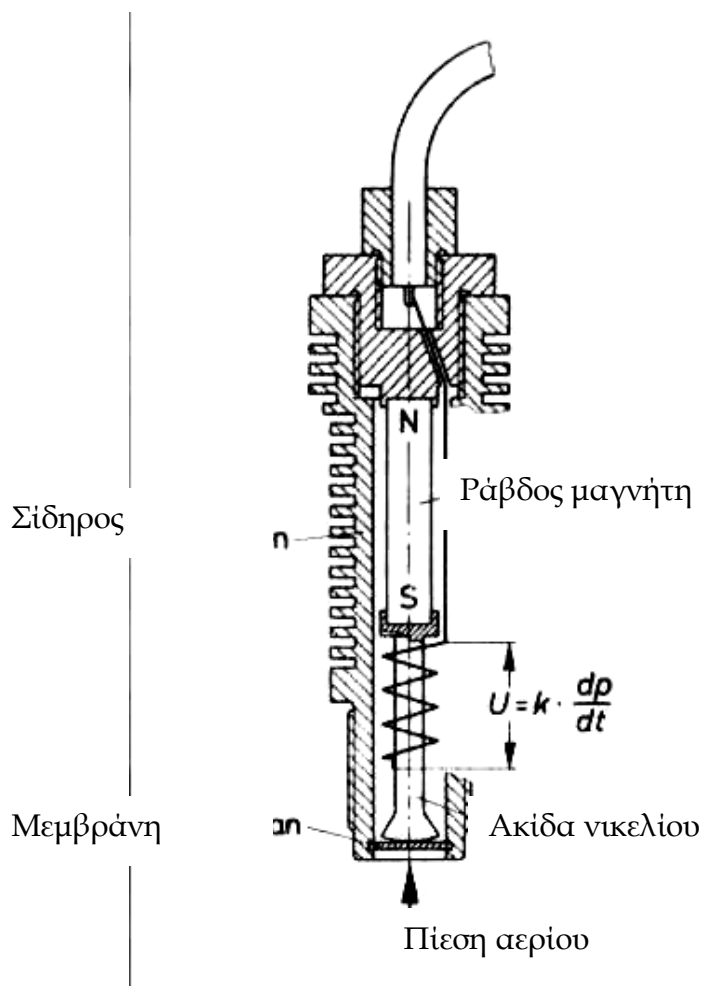
Σχήμα 9: Κινητήρας ελέγχου της **BASF** (εταιρεία **Ruf**)

Ο αριθμός των οκτανίων προσδιορίζεται στον κινητήρα ελέγχου εν λειτουργία με καθορισμό του κτυπήματος κατά την προανάφλεξη. Για να μην πάθει ζημιά ο κινητήρας του όλες οι διαστάσεις του είναι ενισχυμένες.

Κατ' αρχήν θερμαίνεται ο κινητήρας ελέγχου για μια (1) περίπου ώρα. Μετά ρυθμίζεται ο ενισχυτής και με τη βοήθεια του μίγματος βαθμονόμησης ελέγχεται και ενδεχομένως επαναρυθμίζεται. Κατόπιν τοποθετείται η βενζίνη στο δοχείο του καυσίμου και η σύνδεση του μίγματος μεταβάλλεται με το βελονοειδές ακροφύσιο, έως ότου επέλθει το ανώτατο κτύπημα. Η ένταση του κτυπήματος εξαρτάται από τη σύνθεση του μίγματος καυσίμου - αέρα. Επειδή για τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίων η τιμή της ανώτατης έντασης του

κτυπήματος της βενζίνης πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των τιμών των δυο συγκριτικών μειγμάτων, είναι σκόπιμο τη μεγαλύτερη απόκλιση για τη βενζίνη να τη ρυθμίσει κανείς στις **50** γραμμές, δηλαδή στο μέσο της κλίμακας μέτρησης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβολή του λόγου συμπίεσης. Κατά τη διάρκεια της ακολουθούμενης μέτρησης, δεν πρέπει πλέον να αλλαχθεί ο προσδιορισμένος λόγος συμπίεσης. Για να βρούμε τώρα ακριβώς την ανώτατη ένταση του κτυπήματος της βενζίνης, σχεδιάζεται η καμπύλη του σχήματος **10**. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι καμπύλες για τα μείγματα συσχέτισης κατά τον ίδιο τρόπο.

Επειδή μεταξύ της ένδειξης του μετρητή κτυπήματος και του αριθμού οκτανίων δεν υπάρχει ακριβής αναλογία, επιτρέπεται τα δυο μίγματα συσχέτισης να διαφοροποιούνται το πολύ κατά δυο (**2**) μονάδες του αριθμού οκτανίων, έτσι ώστε κατά τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίων της βενζίνης με ευθεία παρεμβολή, να μείνει το λάθος όσο το δυνατόν αμελητέο. Αυτό σημαίνει, ότι πρέπει να γνωρίζεις κανείς περίπου τον αριθμό οκτανίων, όταν θα ήθελε να βρει γρήγορα τον ακριβή αριθμό δια μέσου του συνδιασμού με τα μίγματα συσχέτισης. Κατά την παρασκευή των μιγμάτων συσχέτισης θα πρέπει να προσέχεται, ότι το ισοοκτανίο με το κανονικό επτάνιο να αναμειγνύονται



Σχήμα **10**: Δότης για τη μέτρηση της δύναμης κρούσης (εταιρεία **Ruf**)

επίσης ομοιόμορφα, διαφορετικά προκύπτουν λανθασμένες μετρήσεις. Η εκτίμηση των καμπυλών πραγματοποιείται γραφικά στο σχήμα 11 ή υπολογιστικά. Για τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίων χρειάζονται τα μέγιστα των καμπυλών. Κατ' αυτόν τον τρόπο παράγεται η ακόλουθη αναλογική εξίσωση:

$$\frac{OZ_B - OZ_{V_1}}{OZ_{V_2} - OZ_{V_1}} = \frac{V_{1max} - B_{max}}{V_{1max} - V_{2max}}$$

Απ' αυτό παίρνει κανείς τον τύπο για τον υπολογισμό των οκτανίων (7):

$$OZ_B = \frac{V_{1max} - B_{max}}{V_{1max} - V_{2max}} (OZ_{V_2} - OZ_{V_1}) + OZ_{V_1} \quad (7)$$

Όπου έχουμε:

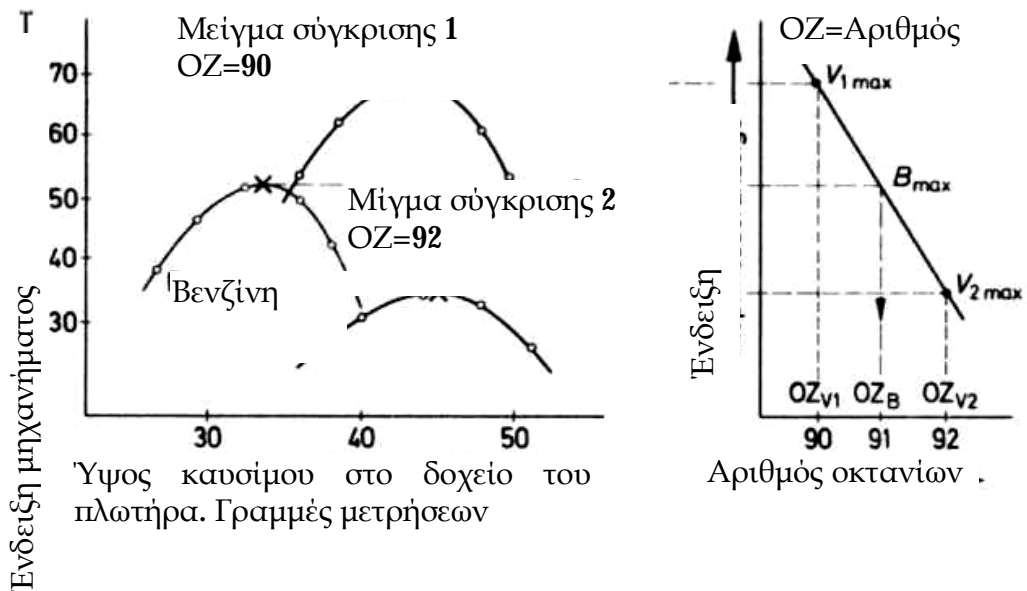
OZ_B : Αριθμός οκτανίων της βενζίνης

OZ_V : Αριθμός οκτανίων του μείγματος συσχέτισης

B_{max} : Μέγιστη ένδειξη κτυπήματος της βενζίνης

V_{max} : Μέγιστη ένδειξη κτυπήματος του μίγματος συσχέτισης

Οι τιμές του αριθμού οκτανίων που προσδιορίζονται γραφικά ή υπολογιστικά στρογγυλοποιούνται. Ο **Research** αριθμός οκτανίων και ο **Front** - αριθμός οκτανίων προσδιορίζονται κατά τον ίδιο τρόπο. Κατά τον προσδιορισμό του **FOZ** εξετάζεται μόνο το μέρος εκείνο του καυσίμου σε σχέση με τη συμπεριφορά του στο κτύπημα, το οποίο (καύσιμο) βράζει στους **100 °C**.



Σχήμα 11: Γραφικός προσδιορισμός του αριθμού οκτανίων

Κατά τον προσδιορισμό του **ROZ** και **MOZ** διαχωρίζονται οι συνθήκες κίνησης του **CFR** - δοκιμαστικού κινητήρα, απ' αυτές του **BASF** - δοκιμαστικού κινητήρα.

Στον πίνακα 1 δίνονται συνθήκες κίνησης του **BASF** κινητήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

	MOZ	ROZ
Αρ. Στροφών (1/min)	900	600
Ανάφλεξη πριν του Άνω Νεκρό Σημείο (°KW)	26 σε ε = 5.1 24 σε ε = 5.5 22 σε ε = 6.0 19 σε ε = 7.2 17.5 σε ε = 8.0	Σταθερά 13
Θερμοκρασία μίγματος (°C)	165	
Θερμοκρασία αέρα (°C)		52

Ένας μηχανισμός μετατόπισης θέτει την ανάφλεξη αυτόματα σε εξάρτηση με τον λόγο συμπίεσης. Οι συνθήκες κίνησης κατά τον προσδιορισμό του **MOZ** απαιτούν να είναι το καύσιμο πιο ενισχυμένο στο **ROZ**. Αφού προσδιοριστεί ο αριθμός οκτανίων με τις δυο μεθόδους, προκύπτουν για το ίδιο καύσιμο διαφορετικές τιμές. Τα σημερινά πρατήρια βενζίνης πετυχαίνουν **Research** - αριθμό οκτανίων περίπου **92** μονάδων για την κανονική βενζίνη (με ή χωρίς μόλυβδο) και **98** μονάδων για τη σούπερ βενζίνη χωρίς μόλυβδο. Ο αριθμός οκτανίων του κινητήρα είναι χαμηλότερος περίπου κατά **10** μονάδες.

1.2.1.2. ΕΥΡΕΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΚΤΑΝΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕ ΟΖ>100

Όταν προσδιοριζόταν ο αριθμός οκτανίων του ισοοκτανίου με **100** δεν υπολόγιζε κανείς ότι θα μπορούσαν να υπάρξουν καύσιμα, των οποίων ο αριθμός οκτανίων να είναι μεγαλύτερος απ' αυτόν του ισοοκτανίου. Με το πέρασμα των ετών προέκυψαν καύσιμα, τα οποία είχαν μεγαλύτερη αντοχή κτυπήματος απ' ότι είχε το ισοοκτάνιο. Έπρεπε λοιπόν να αναπτυχθεί μια νέα μέθοδος, για να μπορεί κανείς και γι' αυτά τα καύσιμα να προσδιορίσει τον αριθμό οκτανίων. Σαν μείγμα σύγκρισης δεν μπορούσε πλέον να χρησιμοποιηθεί το ισοοκτάνιο με το κανονικό οκτάνιο. Γι' αυτό αντικαταστάθηκε το κανονικό οκτάνιο με τον τετρααιθυλιούχο μόλυβδο **Pb(C₂H₅)₄** (είναι ένα άχρωμο, λιπαρό με γλυκίζουσα μυρωδιά υγρό, άκρως δηλητηριώδες), το οποίο αναμειγνύεται με τη βενζίνη και παίζει το ρόλο του φρένου στους κραδασμούς. Ο αριθμός **research** και ο αριθμός οκτανίων του κινητήρα καθορίζονται με την ίδια διαδικασία, αλλά με διαφορετικές συνθήκες του κινητήρα. Οι συνθήκες αυτές στους **CFR** και **BASF** κινητήρες, είναι ίδιες εκτός από τη θερμοκρασία ανάμιξης. Στον πίνακα **1** δείχνονται οι εκάστοτε καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα. Στο μηχανισμό του κινητήρα θέτουμε την ανάφλεξη στην αυτόματη θέση, έτσι ώστε να εξαρτάται από τον λόγο συμπίεσης ε. Για τον καθορισμό των **MOZ** προαπαιτείται περισσότερο καύσιμο απ' ότι στα **ROZ**, στην εξακρίβωση του μέγιστου αριθμού κτυπημάτων σε κάθε μια από τις δύο μεθόδους. Έτσι προκύπτουν για το ίδιο καύσιμο ίδιες μετρήσεις

με διαφορετική συμπίεση. Για το λόγο αυτό, με τη χρήση της μεθόδου του κινητήρα, η συμπίεση είναι μικρότερη απ' ό,τι με τη μέθοδο **Research**.

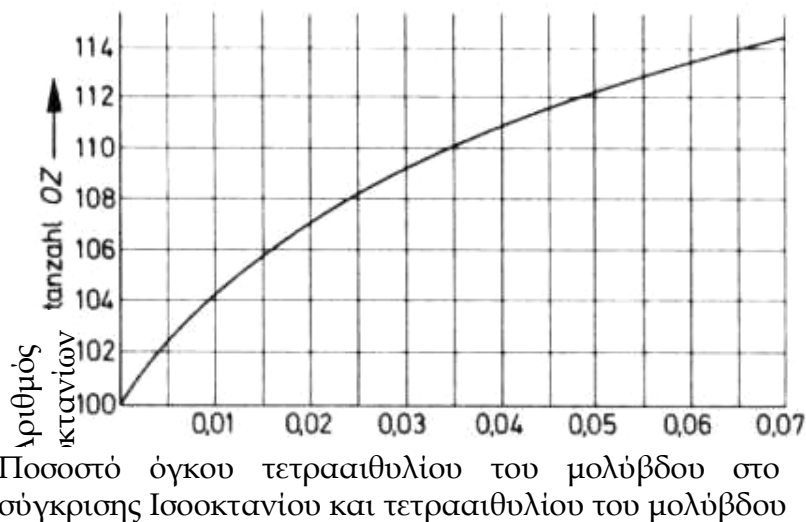
Οι σημερινές βενζίνες που πουλάνε στα πρατήρια καυσίμων, φθάνουν έναν αριθμό οκτανίων **Research** περίπου **92**. Για τον υπολογισμό του αριθμού οκτανίων ως λειτουργία της περιεκτικότητας σε τετρααιθυλιούχο μόλυβδο, στο συγκριτικό μίγμα, υπάρχουν διάφορες προτάσεις. Στο σχήμα **12** φαίνεται γραφικά η αλληλεπίδραση αυτών. Στη επαφή με τον τετρααιθυλιούχο μόλυβδο **Pb(C₂H₅)₄** και των μιγμάτων του, θα πρέπει να είμαστε εξαιρετικά προσεκτικοί και να ακολουθούμε τις οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή. Για εργαστηριακούς λόγους ο ρευστός μόλυβδος συσκευάζεται σε ειδικά κουτιά, με περιεκτικότητα **1013 cm³**, στα οποία το μέρος του **Pb(C₂H₅)₄** είναι **600 cm³**. Για καλύτερες μετρήσεις και ακίνδυνη χρήση, παρασκευάζουμε διάφορα μίγματα από ρευστό μόλυβδο και βενζίνη. Κατά τη διαδικασία αυτή αναμιγνύουμε το βασικό μίγμα με λίγα **cm³** ισοοκτανίου, έτσι ώστε να προκύψει το συγκριτικό μίγμα.

ΠΑΡΑΔΕΓΜΑ 2

Αρχικά χρησιμοποιούμε ένα βασικό μίγμα με περιεκτικότητα **5%**, στο οποίο αναμιγνύουμε **84,4 cm³** ρευστό μόλυβδο με **915,6 cm³** βενζίνης και μας προκύπτουν **1000 cm³** βασικού μίγματος. Η απόδειξη ότι το μίγμα αυτό έχει περιεκτικότητα **5%** σε **Pb(C₂H₅)₄** μας δίνει ο εξής υπολογισμός:

$$84,4 \text{ cm}^3 * 600 / 1013 = 50 \text{ cm}^3$$

Στη συνέχεια θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα μίγμα με **OZ = 107**



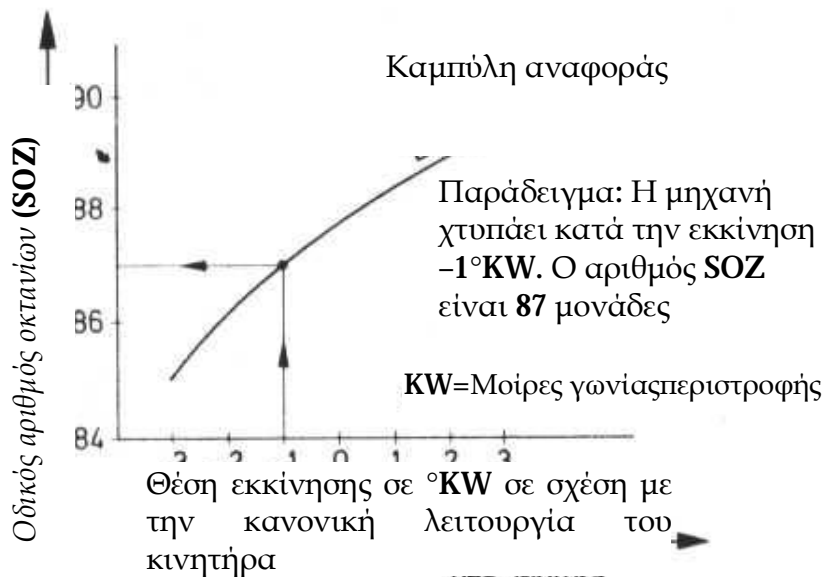
Σχήμα 12: Ποσοστό τετρααιθυλιούχου μολύβδου στο μίγμα σύγκρισης για αριθμούς οκτανίων άνω των **100**

Από το σχήμα 12 διαβάζουμε ότι το συγκριτικό μίγμα θα πρέπει να περιέχει **0,02%** του όγκου του $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ και ο όγκος του ισοοκτανίου να είναι **100 cm³**. Σ' αυτό προστίθεται **0,02 cm³ Pb(C₂H₅)₄**. Αυτός ο όγκος είναι ο:
 $1000 * 0,02 \text{ cm}^3 / 50 = 0,4 \text{ cm}^3$

Αναμιγνύονται **0,4 cm³** βασικού μίγματος περιεκτικότητας 5% με **100cm³** ισοοκτανίων και μας προκύπτει το συγκριτικό μίγμα **OZ = 107**. Το μικρό σφάλμα που υπάρχει σ' αυτό τον τρόπο είναι αμελητέο.

1.2.1.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΟΚΤΑΝΙΩΝ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ SOZ

Ο **SOZ** ανιχνεύεται με τον τρόπο **Modified Union Method**. Αρχικά καθορίζεται στο σχήμα 13 η ειδική καμπύλη. Ο ζεστός κινητήρας τροφοδοτείται με διάφορα μίγματα ισοοκτανίου και κανονικού επτανίου υπό πλήρες φορτίο.

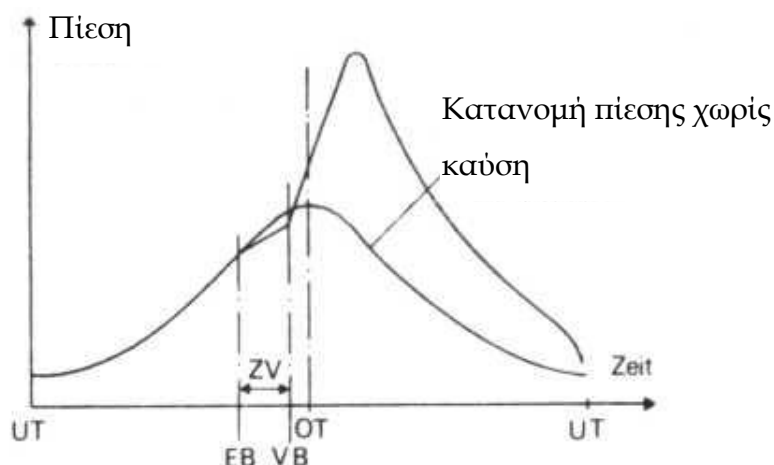


Σχήμα 13: Καμπύλη αναφοράς για τον οδικό αριθμό οκτανίων (SOZ)

Κατά τη λειτουργία, οι μοίρες της προπορείας ανάφλεξης μεταβάλλονται μέχρις ότου ακουστούν τα κτύπημα. Ο αριθμός οκτανίων των συγκριτικών μιγμάτων, όπως για παράδειγμα του **SOZ**, σημειώνονται ως λειτουργίες της ρύθμισης της ανάφλεξης κατά την οποία ο κινητήρας μόλις αρχίζει να παρουσιάζει κτύπημα. Στη συνέχεια ο κινητήρας τροφοδοτείται με βενζίνη με τον ίδιο τρόπο, που τροφοδοτήθηκε με το συγκριτικό μίγμα. Ανιχνεύεται πάλι η ρύθμιση της ανάφλεξης, στην οποία αρχίζει το κτύπημα. Έπειτα από την ειδική καμπύλη διαβάζουμε τον αριθμό **SOZ**. Για την ίδια βενζίνη προκύπτουν σε διαφορετικούς κινητήρες, διαφορετικές τιμές **SOZ**.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΤΑΝΙΟΥ

Ο αριθμός κετανίων είναι ένα μέγεθος που δείχνει την αναφλεκτικότητα



EB=Απαρχή έγχυσης **VB**=Απαρχής καύσης

ZV=Καθυστέρηση ανάφλεξης

Σχήμα 14: Καθυστέρηση ανάφλεξης σε κινητήρα **DIESEL**

του πετρελαίου. Παρασκευάζεται από συγκριτικά μίγματα από κετάνιο ($C_{16}H_{34}$) και α-μεθυλοναφθαλίνη ($C_{11}H_{10}$). Εφόσον το κετάνιο πήρε τον αριθμό κετανίου **100** και η α-μεθυλοναφθαλίνη τον αριθμό κετανίου **0**, έχουμε την εξής αντιστοιχία για παράδειγμα:

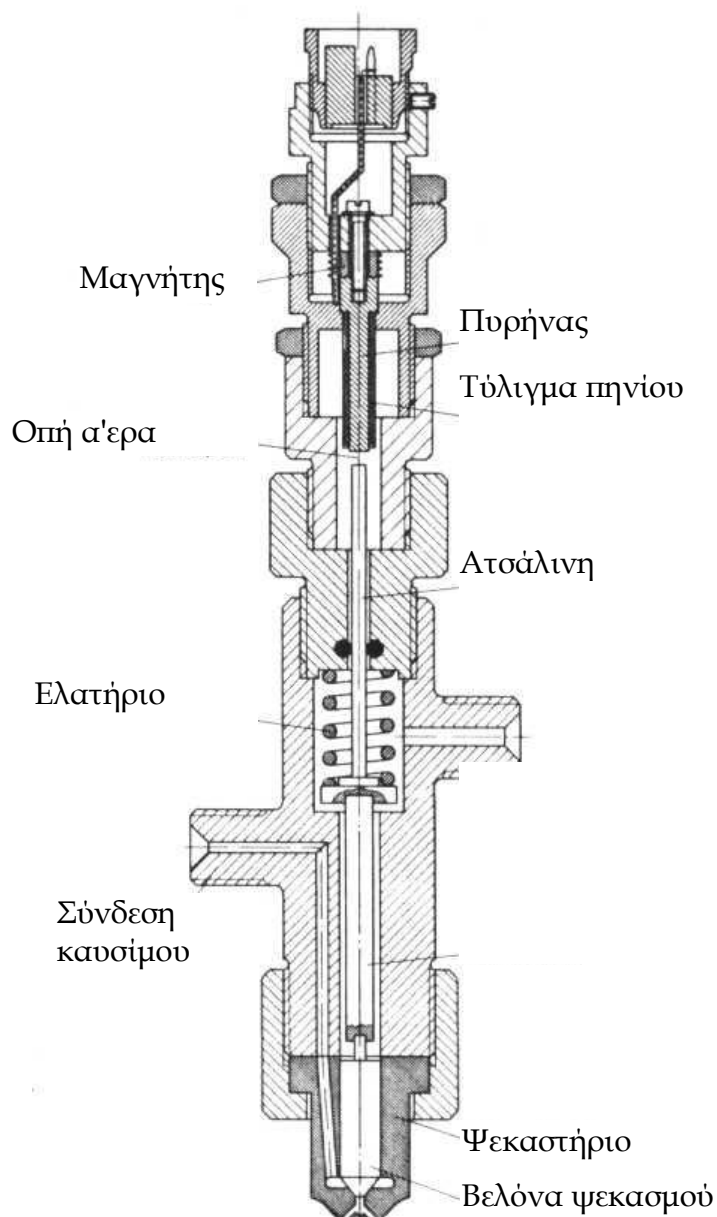
Μίγμα με ογκομετρική ποσότητα κετανίου **45** και α-μεθυλοναφθαλίνη **55**, μας δίνει αριθμό κετανίου **45**. Ο αριθμός κετανίου του πετρελαίου **Diesel** δίδει την αναφλεκτικότητα, που αντιστοιχεί στο συγκριτικό μίγμα από κετάνιο και α-μεθυλοναφθαλίνη.

Ένα καλά αναφλέξιμο καύσιμο έχει μία στιγμιαία καθυστέρηση ανάφλεξης. Στον κινητήρα **DIESEL** αυτή η καθυστέρηση έχει οριστεί ως η χρονική στιγμή μεταξύ της αρχής της έγχυσης ως την αρχή της καύσης (σχήμα **14**).

Ως αρχή της καύσης χαρακτηρίζεται το σημείο της καμπύλης όπου παρατηρείται απότομη ανοδική αύξηση της πίεσης. Η καθυστέρηση της ανάφλεξης πολλές φορές μας δίνεται σε $^{\circ}KW$ αντί του συνηθισμένου **sec**. Όταν συμβαίνει αυτό πρέπει επιπρόσθετα να γνωρίζουμε και τον αριθμό στροφών, γιατί η τιμή $^{\circ}KW$ (μοίρας γωνίας στροφάλου) εξαρτάται από τον αριθμό στροφών. Για τον καθορισμό του αριθμού κετανίου, η καθυστέρηση της ανάφλεξης είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος.

1.2.1.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΕΤΑΝΙΟΥ ΣΕ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Ο αριθμός κετανίου έχει τυποποιηθεί κατά **DIN-NORM 51773**. Σε αντίθεση με τον αριθμό οκτανίων δεν έχει καθοριστεί συγκεκριμένος δοκιμαστικός κινητήρας. Είναι κατάλληλος κάθε κινητήρας **DIESEL**, ο οποίος επιτρέπει την ακριβή μέτρηση του σημείου έγχυσης και αρχής της καύσης. Με το πέρασμα των ετών όμως, έχει καθοριστεί ένας συγκεκριμένος δοκιμαστικός



Σχήμα 15: Δότης της βελόνας ψεκασμού

κινητήρας για τη μέτρηση του αριθμού κετανίων. Αυτός είναι ένας υδρόψυκτος, μονοκύλινδρος, τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας με σταθερή ή μεταβλητή

σχέση συμπίεσης και απ' ευθείας έγχυση στο στροβιλοθάλαμο. Για τη μέτρηση της αναφλεκτικότητας υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι. Στη Γερμανία και στην Αμερική επικράτησε η μέθοδος με σταθερή καθυστέρηση ανάφλεξης και μεταβλητό λόγο συμπίεσης. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε την ανίχνευση του αριθμού κετανίων με την μέθοδο **1952/54** της **BASF** διάταξης ελέγχου πετρελαίου. Ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία του στη Γερμανία για τον καθορισμό του αριθμού κετανίου. Είναι ένας μονοκύλινδρος, τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας, με θάλαμο καύσης στροβιλισμού και έχει σύστημα ψύξης - εξάτμισης.

Έχει δ'ιάμετρο κυλίνδρου **95 mm** και διαδρομή εμβόλου **120 mm** και ο κυβισμός του ανέρχεται σε **850 cm³**. Η σχέση συμπίεσης είναι σταθερή $\epsilon = 18,5$. Λειτουργεί με σταθερό αριθμό στροφών $n = 1/\text{min}$.

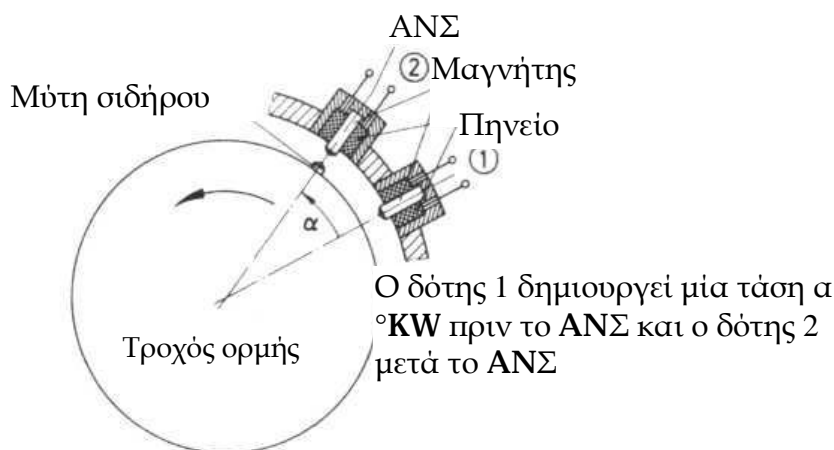
Για την εκκίνηση και τη φόρτιση χρησιμοποιείται ένας ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος μετρά την ισχύ του κινητήρα σαν ηλεκτρική ισχύς δικτύου. Η αντλία έγχυσης έχει ένα ρυθμιστή για τον ακριβή όγκο έγχυσης του καυσίμου. Ένας διακόπτης στην αντλία έγχυσης επιτρέπει την αλλαγή του χρόνου έγχυσης. Το καύσιμο εισέρχεται από την αντλία έγχυσης από δύο εισόδους σε γυάλινα δοχεία, που έχουν καλιμπραριστεί με δύο σφαίρες μετρήσεων. Για τη μέτρηση της αρχής της έγχυσης, τραβάμε την βελόνα από το κομβίο έγχυσης (σχήμα **15**). Στη βελόνα του κομβίου βρίσκεται στερεωμένος ένας χαλύβδινος πείρος, ο οποίος προεξέχει από το κομβίο. Με τη βοήθεια ενός επαγωγικού δότη, ο οποίος αποτελείται από τύλιγμα πηνίου με σιδερένιο πυρήνα, πραγματοποιείται το σήκωμα της βελόνας του κομβίου, που έχει σαν αποτέλεσμα το ξεκίνημα της έγχυσης. Ένας δεύτερος επαγωγικός δότης βρίσκεται στην κυλινδροκεφαλή και κατά το ξεκίνημα της καύσης μας δίνει ένα σήμα τάσης. Η χρονική στιγμή μεταξύ των δύο σημάτων που δόθηκαν είναι η χρονική καθυστέρηση. Για να μπορεί το μηχάνημα να μας δίνει τιμές σε $^{\circ}\text{KW}$, θα πρέπει η χρονική διαφορά των σημάτων στον ηλεκτρονικό μετρητή να μετατραπούν σε $^{\circ}\text{KW}$. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια δύο επαγωγικών δοτών (σχήμα **16**), τα οποία βρίσκονται στερεωμένα πάνω στο σφόνδυλο.

Ο ένας δότης είναι έτσι προσαρμοσμένος ώστε να δείχνει το Άνω Νεκρό Σημείο του εμβόλου. Στην περιφέρεια του σφονδύλου βρίσκεται ένας μικρός πείρος, ο οποίος όταν διέρχεται από τους δύο δότες δίνει δύο διαφορετικά σήματα. Η χρονική διαφορά των δύο σημάτων μας δίνει την ακριβή γωνία στροφάλου, στον οποίο είναι προσαρμοσμένοι οι δότες. Μ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια σχέση για τον ηλεκτρικό μετρητή μεταξύ του χρόνου και της γωνίας στροφάλου. Έτσι όλες οι χρονικές διαφορές μπορούν να γραφούν ως $^{\circ}\text{KW}$. Με τη βοήθεια των τεσσάρων δοτών μπορούμε σε συνάρτηση της καθυστέρησης της ανάφλεξης και της έναρξης της έγχυσης να κάνουμε τη μέτρηση στο Άνω Νεκρό Σημείο. Στο σύστημα αναρροφήσεως του κινητήρα υπάρχει πίσω από το φίλτρο του αέρα ένα κομβίο, που μετράει το ρεύμα του ρευστού. Μ' ένα μετρητή κενού μετράται η υποπίεση στη μικρότερη τομή της διαμέτρου του κομβίου. Πίσω από το κομβίο υπάρχει μια μεταβλητή δικλεια. Με κλείσιμο της δικλεις περιορίζουμε την ποσότητα του αέρα που αναρροφάται, και επομένως την πίεση στον κύλινδρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση της ανάφλεξης του καυσίμου. Χαμηλή πίεση σημαίνει μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης. Όταν

λιγότερος αέρας διαρρέει το κομβίο, η υποπίεση μειώνεται. Για τον καθορισμό του αριθμού κετανίου η υποπίεση λαμβάνεται ως συγκριτικό μέγεθος.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΕΤΑΝΙΟΥ

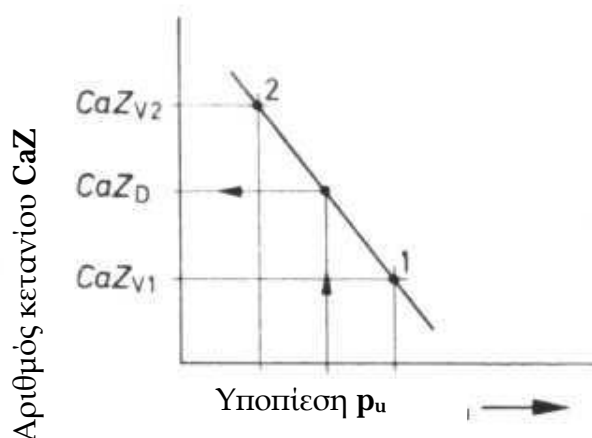
Αρχικά προθερμαίνουμε τον κινητήρα για μία ώρα. Στη συνέχεια γεμίζουμε το δοκιμαστικό σωλήνα με το πετρέλαιο που θέλουμε να εξετάσουμε και ρυθμίζουμε την ποσότητα καύσης στην αντλία έγχυσης. Οι προδιαγραφές



Σχήμα 16: Δότης στον τροχό ορμής

μετρήσεων απαιτούν **20 cm³** καυσίμου σε **150 sec**, με μια διακόμανση της τάξης του **5%** για την κατανάλωση.

Ρυθμίζεται η έναρξη της έγχυσης με τη βοήθεια του ρυθμιστή έγχυσης σε **20 °KW** πριν το Άνω Νεκρό Σημείο. Στο τέλος η ρυθμιστική δικλείδα κλείνει για καθυστέρηση ανάφλεξης **20 °KW**. Τότε η καύση γίνεται ακριβώς, όταν το έμβολο βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο. Οι ενδείξεις του μετρητή κενού καταγράφονται και μας δίνουν τον αριθμό κετανίου. Με την ίδια ακριβώς διαδικασία δοκιμάζουμε δύο συγκριτικά μίγματα κετανίου και α-μεθυλοναφθαλίνης. Οι αριθμοί κετανίου και των δύο μιγμάτων δεν κάνει να διαφέρουν από **4 μονάδες**. Αυτή η προϋπόθεση θα πρέπει να ισχύει λόγω του ότι τα αποτελέσματα θα πρέπει να έχουν μία ευθύγραμμη σχέση, μεταξύ του αριθμού κετανίου και της υποπίεσης. Στην πραγματικότητα ο αριθμός κετανίου δεν μετατρέπεται ακριβώς ποσοστιαία σε σχέση με την υποπίεση. Με τη βοήθεια της μετρούμενης υποπίεσης ο αριθμός κετανίου υπολογίζεται είτε με την γραφική μέθοδο, είτε υπολογιστικά. Κατά τη γραφική διαδικασία εγγράφουμε τον αριθμό κετανίου του συγκριτικού μίγματος πάνω από την υποπίεση και συνδέουμε τα δύο σημεία με μια ευθεία (σχήμα 17). Από το βοηθητικό σχήμα μπορούμε να πάρουμε τον αριθμό κετανίου. Ο τύπος για την υπολογιστική λύση προκύπτει από την ισότητα:



Σχήμα 17: Γραφικός προσδιορισμός του αριθμού κετανίουθ (CaZ)

$$\frac{CaZ_D - CaZ_{V1}}{CaZ_{V2} - CaZ_{V1}} = \frac{P_{V1} - P_D}{P_{V1} - P_{V2}}$$

Άρα έχουμε τον τύπο (8):

$$CaZ_D = \frac{P_{V1} - P_D}{P_{V1} - P_{V2}} (CaZ_{V2} - CaZ_{V1}) + CaZ_{V1} \quad (8)$$

όπου:

CaZ_D = Αριθμός κετανίου του πετρελαίου καύσης

CaZ_V = Αριθμός κετανίου του συγκριτικού μίγματος

P_D = Υποπίεση του πετρελαίου καύσης

P_V = Υποπίεση του συγκριτικού μίγματος

Οι τιμές του αριθμού κετανίου που προκύπτουν είτε από τον υπολογισμό, είτε από τη γραφική μέθοδο στρογγυλοποιούνται σε ολόκληρες μονάδες.

1.2.2. ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ

Η ειδική θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου είναι η θερμική ποσότητα που απελευθερώνεται κατά την ειδική καύση $1 \text{ Kgr (1m}^3\text{)}$ σε Κανονικές Συνθήκες, όταν τα προϊόντα της καύσης εξισωθούν με την θερμοκρασία του μίγματος (καύσιμου - αέρα), πριν από την καύση (25°C). Το νερό στα καυσάερια σε μορφή ατμών συμπεριλαμβάνεται. Την ειδική θερμογόνο δύναμη την χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της θερμογόνου τιμής του μίγματος. Κατά την τυποποίηση **DIN - Norm 51900** η ανίχνευση της ειδικής θερμογόνου δύναμης, γίνεται με την θερμιδομετρική οβίδα. Μας εξυπηρετεί για τον

καθορισμό της θερμογόνου τιμής ρευστών και στερεών καυσίμων υλών και μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί και για βενζίνη ή πετρέλαιο **Diesel**.

ΜΕΘΟΔΟΣ JUNKERS

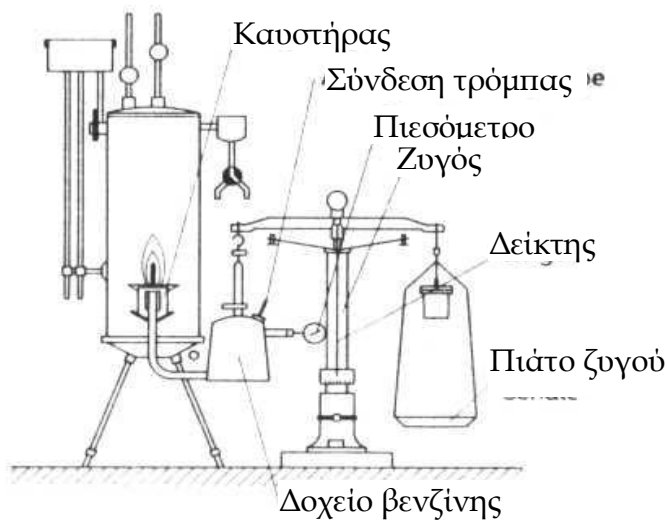
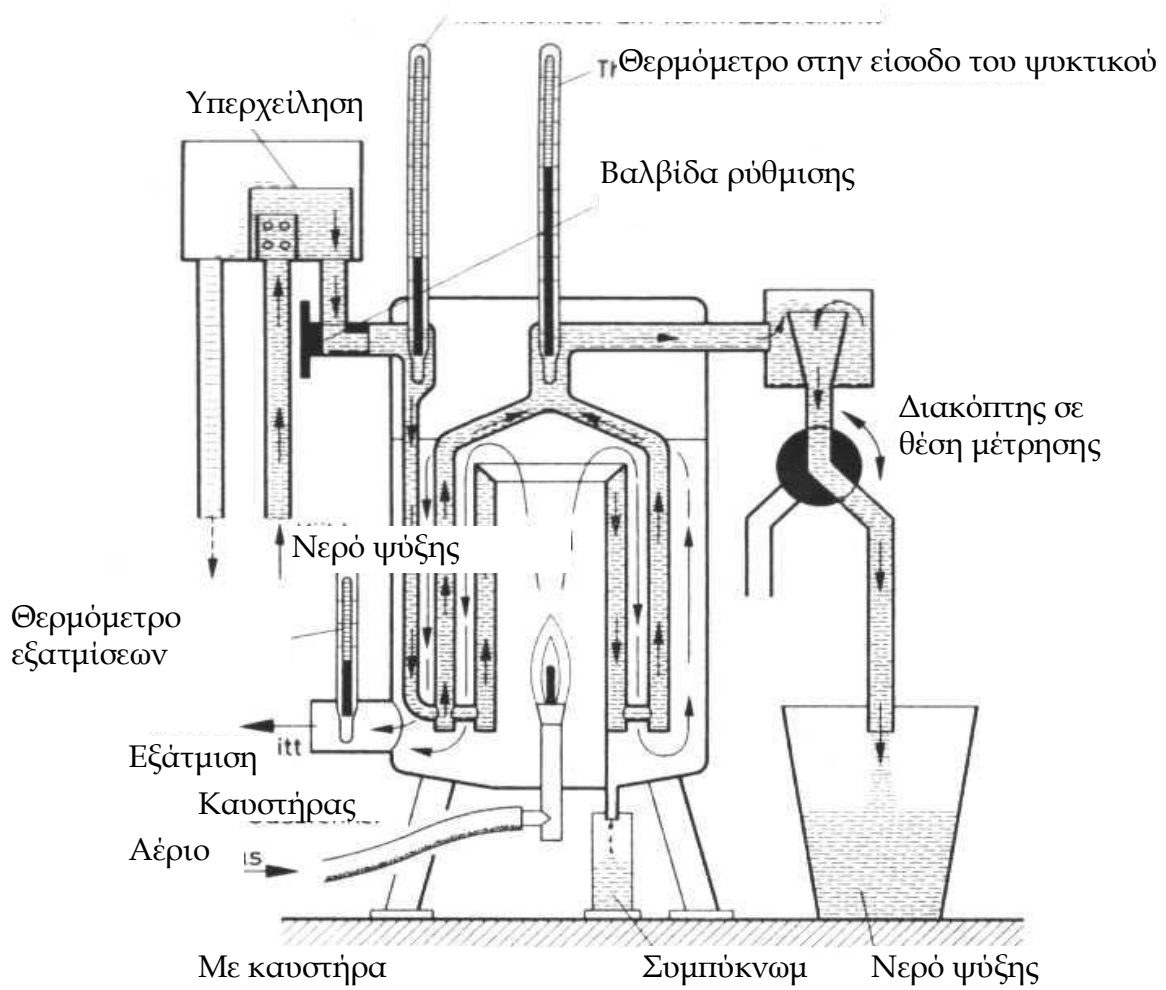
Για αέρια ή ρευστά καύσιμα η ειδική θερμογόνος δύναμη μπορεί να καθοριστεί και με το θερμιδόμετρο **Junkers**. Η διαδικασία αυτή δεν έχει τυποποιηθεί, αλλά χρησιμοποιείται πολύ τακτικά. Στο σχήμα **18** παρουσιάζεται ένα σκίτσο του θερμιδόμετρου **Junkers**. Καύσιμα σε αέρια κατάσταση τοποθετούνται σ' ένα καυστήρα αερίων και τα ρευστά, αντίστοιχα σε καυστήρα ρευστών. Ο καυστήρας αερίων λειτουργεί όπως ένα καμινέτο. Αρχικά ο καυστήρας προθερμαίνεται από μια φλόγα οινοπνεύματος. Μόλις φθάσει τη θερμοκρασία εξάτμισης της βενζίνης η δεξαμενή καυσίμου με τη βοήθεια μιας αντλίας αέρα εισέρχεται σε μια κατάσταση υποπίεσης **0,4 bar**. Η βενζίνη ρέει προς το ζεστό καυστήρα, εξατμίζεται, αναφλέγεται στη συνέχεια και κατόπιν καίγεται. Η σωλήνωση της βενζίνης στον καυστήρα έχει τέτοια ροή, ώστε να υπάρχει πάντα επαρκής ποσότητα βενζίνης σε αέρια κατάσταση στην καύση. Έτσι μένει σταθερή η πίεση στη δεξαμενή, χωρίς να ξαναχρησιμοποιηθεί η αντλία. Ο καυστήρας παίρνει τον αέρα που απαιτείται για την καύση από το περιβάλλον. Η φλόγα με αλλαγή της πίεσης της δεξαμενής μπορεί να ρυθμιστεί. Τα ζεστά αέρια δίνουν τη θερμότητά τους στο νερό ψύξης που βρίσκεται στο θερμιδόμετρο και εξέρχονται απ' αυτό με την ίδια θερμότητα, που εισέρχεται ο αέρας καύσης. Με τον τρόπο αυτόν διασφαλίζεται η απορρόφηση από το νερό ψύξης όλων των ποσοτήτων θερμότητας που παράγονται κατά την καύση. Η ροή του νερού ψύξης ρυθμίζεται, έτσι ώστε τα εξωτερικά τοιχώματα της δεξαμενής να έχουν θερμοκρασία δωματίου. Έτσι εμποδίζεται η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.

Κατά τη διεκπεραίωση των μετρήσεων πρέπει να καθοριστούν τα εξής μεγέθη:

- Βάρος της ποσότητας καυσίμου
- Βάρος της ποσότητας νερού ψύξης που εκρέει
- Βάρος της ποσότητας του νερού που εξατμίστηκε
- Θερμοκρασία εισροής και εκροής του νερού ψύξης

Κατά τη διαδικασία αυτή είναι σκόπιμο η θερμοκρασία του νερού ψύξης να λαμβάνεται σε ίσα χρονικά διαστήματα, κατά τη μέτρηση, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της ειδικής θερμογόνου δύναμης. Για να προκύψει ο μετρούμενος χρόνος από τη σχέση των τύπων του υπολογισμού της ειδικής θερμογόνου δύναμης, επιλέγεται η ίδια διάρκεια μέτρησης για την ποσότητα του καυσίμου, του νερού ψύξης και του υγροποιημένου νερού. Δηλαδή, και οι τρεις μετρήσεις ξεκινούν και τελειώνουν συγχρόνως. Για αέρια καύσιμα καθορίζεται ο καταναλισκόμενος όγκος του αερίου με τη βοήθεια ενός υγρού μετρητή αερίων και μετράται συγχρόνως πίεση και θερμοκρασία αερίου. Με τη γνωστή καταστατική εξίσωση των αερίων $P V = n R T$, υπολογίζεται είτε η ποσότητα των αερίων, είτε ο όγκος της τυποποίησης. Για ρευστά καύσιμα η ποσότητα που έχει καεί ανιχνεύεται με την βοήθεια μιας ζυγαριάς. Αρχικά ρυθμίζεται η ζυγαριά, έτσι ώστε η πλευρά στην οποία

κρέμεται η δεξαμενή με τη βενζίνη να είναι ελαφρώς πιο βαριά. Στη συνέχεια, μόλις αρχίσει η κατανάλωση του καυσίμου, ελαφραίνει η δεξαμενή και οι μετρήσεις του νερού ψύξης, της ποσότητας του υγροποιημένου νερού και της εισρεόμενης και εκρεόμενης ποσότητας του νερού ψύξης ξεκινούν μόλις ο δείκτης της ζυγαριάς μόλις περάσει από το μηδενικό σημείο σε ίσα χρονικά διαστήματα. Στη συνέχεια τοποθετείται ένα βαρίδιο, που έχει το μέγεθος της μάζας του καυσίμου, στην πλευρά του δοχείου (δεξαμενής). Μόλις αρχίσει η κατανάλωση του καυσίμου ελαφραίνει η δεξαμενή και μόλις ο δείκτης της ζυγαριάς περάσει από το μηδενικό σημείο της τελειώνουν οι μετρήσεις.



Με καυστήρα

Σχήμα 18: Θερμιδόμετρο Junkers

Επειδή στο θερμιδόμετρο **Junkers** το νερό στα καυσαέρια είναι σε υγρή μορφή, υπολογίζονται αρχικά από τις τιμές μετρήσεων η ειδική θερμογόνος δύναμη, με τη βοήθεια της εξίσωσης (9):

$$H_o = \frac{WC(T_a - T_e)}{m_k} \quad (9)$$

όπου:

H_o = Ειδική θερμογόνος δύναμη

W = Μάζα νερού ψύξης που διέρρευσε κατά τη μέτρηση

C = Ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

T_a = Θερμοκρασία εκροής του νερού ψύξης

T_e = Θερμοκρασία εισροής του νερού ψύξης

m_k = Μάζα καυσίμου που καταναλώθηκε κατά τις μετρήσεις

Την ειδική θερμογόνο δύναμη την βρίσκουμε μετρώντας την θερμοκρασία εξάτμισης του υγροποιημένου νερού και αφαιρώντας το, από την ειδική θερμογόνο δύναμη. Με την βοήθεια της εξίσωσης (10), προκύπτει:

$$H_u = H_o - r \frac{W}{m_k} \quad (10)$$

όπου:

H_u = Κατώτερη θερμογόνος δύναμη

r = Μονάδα μέτρησης της θερμότητας εξάτμισης του νερού στους **25 °C**

W = Εισερχόμενη ποσότητα υγροποιημένου νερού κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

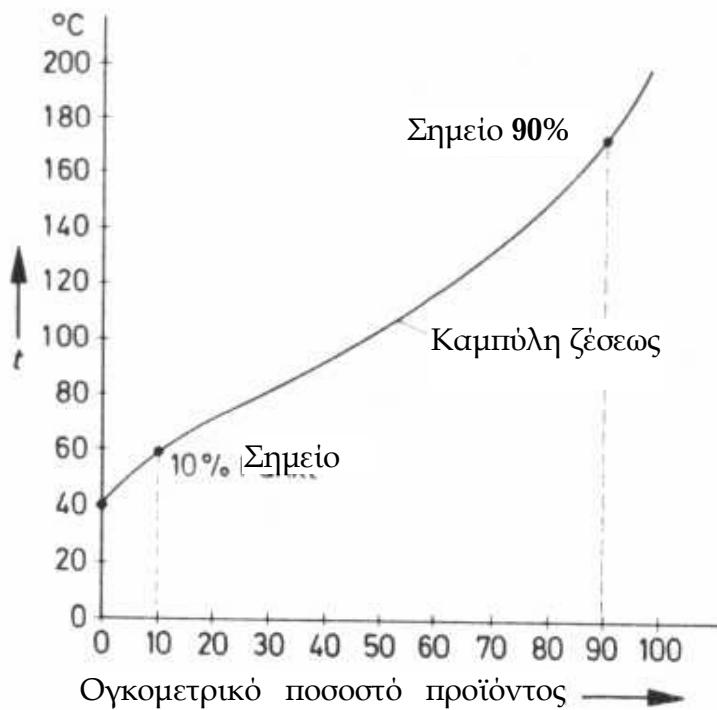
1.2.4 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΖΕΣΕΩΣ

Επειδή τα ρευστά καύσιμα προέρχονται από μίγμα διαφόρων υδρογονανθράκων δεν έχουν σημείο ζέσεως. Η εξάτμισή τους όμως, εξελίσσεται βάσει μιας καμπύλης ζέσεως (σχήμα 19). Αυτή η καμπύλη σημείου ζέσεως ή αλλιώς, κατά **DIN - Norm** εξέλιξη ζέσεως, δείχνει πόσο ποσοστιαίος όγκος καυσίμου σε πίεση περιβάλλοντος, σε σχέση με την θερμοκρασία, μετατρέπεται σε αέρια κατάσταση. Ο καθορισμός της εξέλιξης του σημείου ζέσεως για βενζίνη και πετρέλαιο καύσης γίνεται κατά **DIN - 51751**.

Η εξέλιξη του σημείου ζέσεως δίνει εξηγήσεις για τη συμπεριφορά των καυσίμων κατά την αποθήκευσή τους ή κατά τη χρήση τους. Έτσι, για παράδειγμα, τα καύσιμα για κινητήρες με καρμπυρατέρ είναι ευκολότερα, για να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

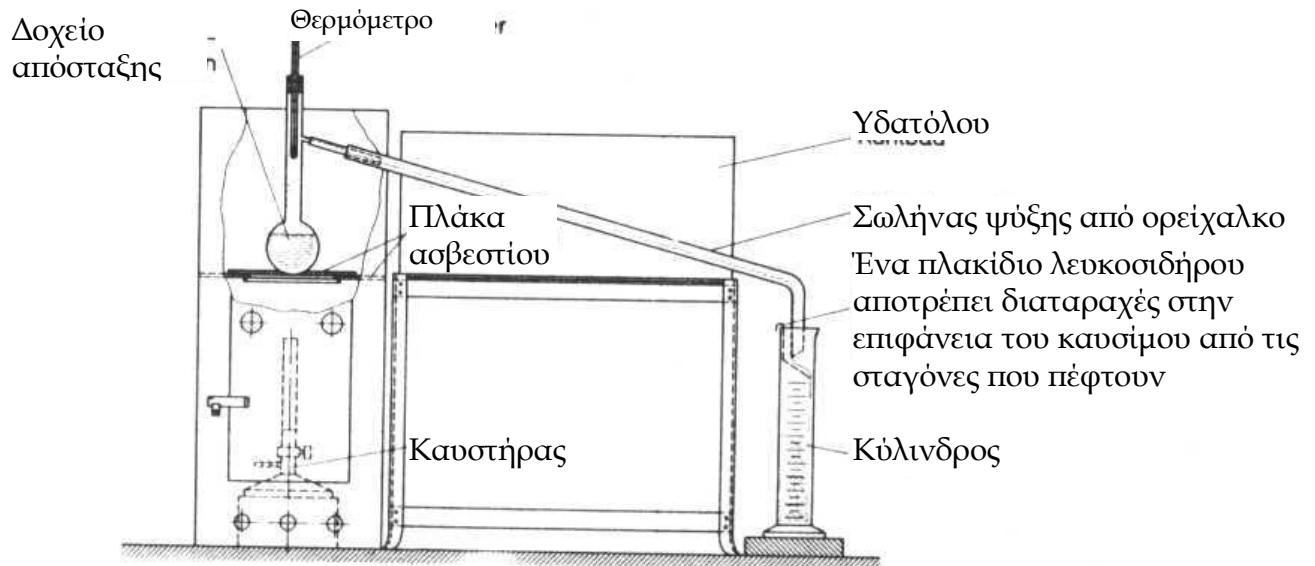
Ειδικότερα η βενζίνη το χειμώνα θα πρέπει να είναι μίγμα υδρογονανθράκων, οι οποίοι σε χαμηλή θερμοκρασία να εξατμίζονται, έτσι ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία αναφλέξιμου μίγματος με κρύο κινητήρα. Για εύκολη ανάφλεξη του κινητήρα, θα πρέπει το σημείο του **10%** - δηλαδή **10%** του όγκου του καυσίμου να έχει εξατμιστεί - να βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Στο σημείο του **90%** η θερμοκρασία δεν θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλή, επειδή έτσι θα υπάρχει κίνδυνος το ρευστό καύσιμο να διαρρεύσει από τον κύλινδρο και να μπει στο λάδι λιπανσης και να περιορίσει την

αποτελεσματικότητά του. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τη γρήγορη καταστροφή των κινούμενων μερών του κινητήρα.



Σχήμα 19: Πορεία ζέσεως βενζίνης

Στην τυποποίηση κατά **DIN - Norm** υπάρχουν απαιτήσεις και στην εξέλιξη του σημείου ζέσεως στα καύσιμα. Η καμπύλη του σημείου ζέσεως της βενζίνης ξεκινά περίπου στους **40 °C** και τελειώνει περίπου στους **200 °C**. Στο πετρέλαιο κίνησης το σημείο ζέσεως ξεκινά περίπου στους **200 °C** και τελειώνει στους **360 °C**. Για τον καθορισμό της εξέλιξης του σημείου ζέσεως χρησιμοποιείται ένα μηχάνημα απόσταξης, που φαίνεται στο σχήμα **20**. Αποτελείται από ένα γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα, ο οποίος δέχεται το δείγμα του καυσίμου. Ο σωλήνας θερμαίνεται μ' ένα καμινέτο ή ηλεκτρικά. Στο λαιμό του δοκιμαστικού σωλήνα βρίσκεται ένα θερμόμετρο, απ' όπου παίρνουμε το εκάστοτε σημείο ζέσεως. Το εξατμιζόμενο καύσιμο περνά από το σωλήνα ψύξης, που γίνεται σταγονίδια και πέφτει στον κύλινδρο μετρήσεων. Ο σωλήνας ψύξης βρίσκεται μέσα σε μια δεξαμενή ψύξης, όπου βρίσκεται νερό σε κατάσταση πάγου ή αιθυλογλυκόλη (για υψηλότερες απαιτήσεις ψύξης), ανάλογα με την προδιαγραφόμενη θερμοκρασία. Στην κλίμακα του κυλίνδρου μετρήσεων λαμβάνουμε τον εκάστοτε εξατμισμένο όγκο του καυσίμου.



Σχήμα 20: Όργανο απόσταξης για υγρά καύσιμα σύμφωνα με το DIN 51751

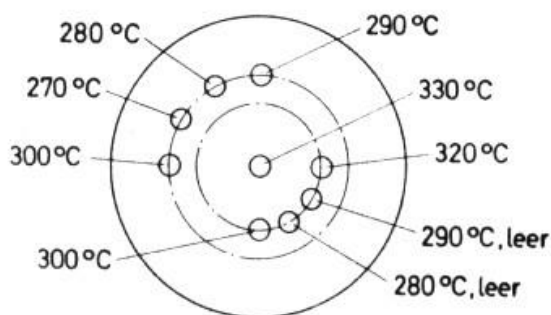
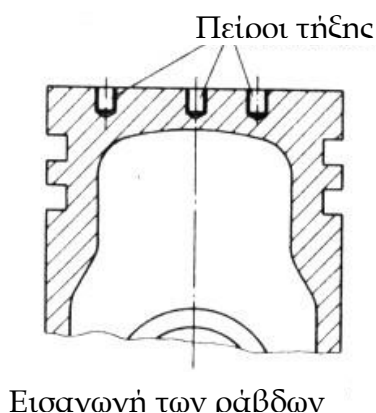
Για την καταγραφή της καμπύλης του σημείου ζέσεως, γεμίζουμε το δοκιμαστικό σωλήνα με 100 cm^3 με καύσιμο δοκιμής. Η θέρμανση ρυθμίζεται αρχικά, έτσι ώστε με θέρμανση $5 - 10 \text{ min}$ να επιφέρει το αποτέλεσμα της ζέσεως. Σαν ξεκίνημα της ζέσεως χαρακτηρίζεται η θερμοκρασία που βρίσκεται στο δοκιμαστικό σωλήνα όταν η πρώτη σταγόνα πέσει στον κύλινδρο μετρήσεων. Για τη συνεχιζόμενη εξέλιξη της ταχύτητας δοκιμών υπάρχει προδιαγραφή να εξατμίζονται 5 cm^3 κάθε ένα λεπτό. Μόλις αρχίσει η ζέση λαμβάνονται οι πρώτες μετρήσεις. Κατά τη διαδικασία αυτή μπορούμε να πάρουμε δύο είδη μετρήσεων. Μπορούμε είτε να λάβουμε τη θερμοκρασία για συγκεκριμένες τιμές όγκου συμπυκνωμένου νερού στον κύλινδρο μετρήσεων, είτε για καθορισμένη τιμή θερμοκρασίας νερού. Και οι δύο διαδικασίες οδηγούν στην εξέλιξη του σημείου ζέσεως, που στην εκάστοτε περίπτωση η θερμοκρασία ζέσεως του καυσίμου εγγράφεται πάνω από τον όγκο του συμπυκνωμένου νερού. Η απόσταση έχει τελειώσει όταν φθάσουμε στο τελικό σημείο του σημείου ζέσεως. Αυτή είναι η μέγιστη θερμοκρασία, η οποία λαμβάνεται με προκαθορισμένο τρόπο θέρμανσης όταν εξατμίζονται 5 cm^3 της τελευταίας σταγόνας του καυσίμου. Επειδή η θερμοκρασία ζέσεως εξαρτάται από την πίεση, οι συγκριτικές μετρήσεις πρέπει να δεχθούν κάποια διόρθωση. Η συγκριτική πίεση ανέρχεται σε **760 Torr**. Ο τύπος γι' αυτή βρίσκεται στην τυποποίηση κατά **DIN - Norm**.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η μέτρηση της θερμοκρασίας στους κινητήρες κατατάσσεται στα κύρια καθήκοντα του μηχανικού που εργάζεται στις δοκιμές και στην ανάπτυξη. Το πολυσύνθετο των προβλημάτων μέτρησης αντιμετωπίζεται με διαφορετικά όργανα μέτρησης.

1.3. ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ

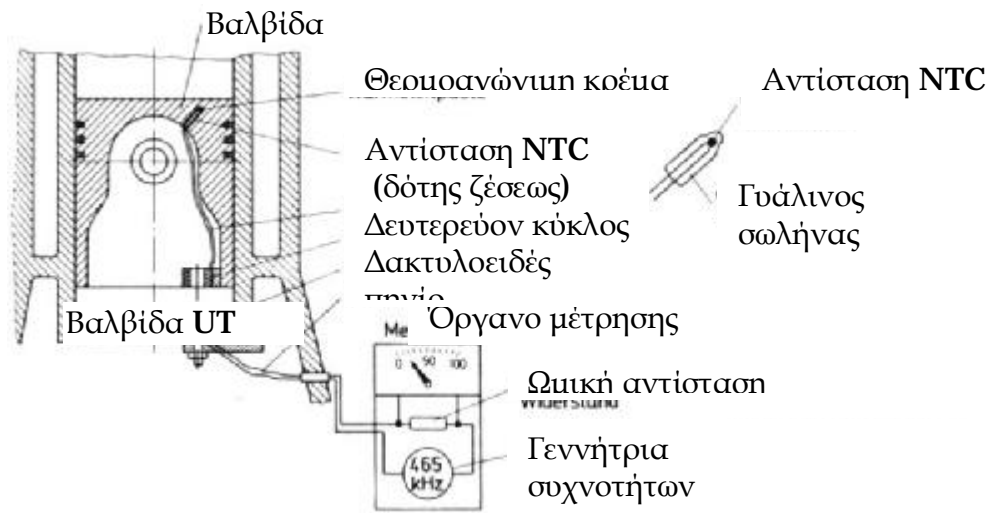
Ο κατασκευαστής χρησιμοποιεί τη γνώση της θερμοκρασίας του εμβόλου για τον καθορισμό του διακένου του εμβόλου και για την εξαγωγή πληροφοριών περί των ορίων επιβάρυνσης του κινητήρα. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του κινητήρα επιτυγχάνεται δύσκολα επειδή το έμβολο δημιουργεί στο εσωτερικό του κυλίνδρου μια ταλάντωση με μεγάλη επιτάχυνση (στην μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας με πείρους τήξης ή στον προσδιορισμό της θερμοκρασίας με τους θερμογaugούς αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εμβόλου). Η θερμομέτρηση με πείρους τήξης είναι περίπλοκη και χρονοβόρα, επειδή κάθε φορά συνδέεται με αποσύνδεση και επανασύνδεση του εμβόλου. Αρχικά οι πείροι τήξης τοποθετούνται στις έτοιμες οπές και συσφιγγονται, για να μην εκτοξευθούν προς τα έξω. Οι πείροι τήξης κατασκευάζονται από κράματα με γνωστό σημείο τήξεως. Σύμφωνα με το σχέδιο μέτρησης, π.χ. καταγραφή του θερμοκρασιακού πεδίου στη βάση του εμβόλου, τοποθετούνται και οι πείροι τήξης (σχήμα 21).



Εικόνα των πείρων μετά την λειτουργία του κινητήρα
 Κόκκινο: Ο πείρος εξακολουθεί να υφίσταται
 Μαύρο: Ο πείρος έχει λιώσει, η υποδοχή είναι κενή

Σχήμα 21 : Πείροι τήξης στη βάση του εμβόλου

Παράλληλα επιλέγονται τα σημεία τήξης τους να είναι περίπου ίδια με την αναμενόμενη θερμοκρασία. Μετά, συναρμολογείται το έμβολο και τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας. Ακολουθεί αποσυναρμολόγηση της κεφαλής του κυλίνδρου και εξέταση των πύρων τήξεως. Οι πύροι έχουν εν μέρει τακεί μέσα στις οπές τους. Από αυτή την εικόνα συμπεραίνεται η μέγιστη θερμοκρασία που παρουσιάστηκε στη λειτουργία του κινητήρα. Αυτή όμως η θερμοκρασία ισχύει για την εφ' άπαξ λειτουργία υπό επιβάρυνση. Για διαφορετικές επιβαρύνσεις του κινητήρα πρέπει να επαναληφθεί όλη η διαδικασία. Μια συνεχής θερμομέτρηση δεν είναι δυνατή.



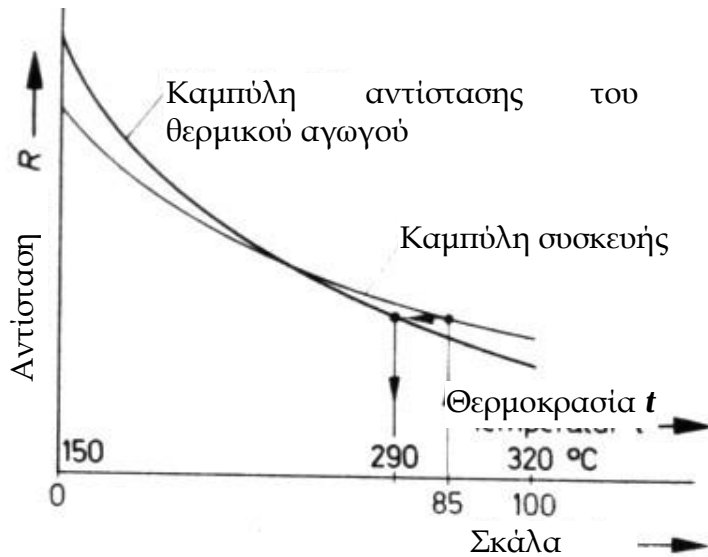
Σχήμα 22 : Σχήμα μέτρησης θερμοκρασίας εμβόλου

Για μια αδιάκοπη θερμομέτρηση χρησιμοποιεί κανείς τους θερμοαγωγούς - θερμομετρητές. Οι θερμοαγωγοί ανήκουν στην κατηγορία των ημιαγωγών, στους οποίους η ηλεκτρική αντίσταση γίνεται μικρότερη όταν αυξάνει η θερμοκρασία. Εξ' αυτού ονομάζονται επίσης αντιστάσεις **NTC** (**NTC = Negative Temperature Coefficient**). Όπως δηλώνει και το όνομα ημιαγωγός, η ικανότητα αγωγιμότητας του ηλεκτρικού ρεύματος βρίσκεται μεταξύ αυτής των αγωγών (μέταλλα) και αυτής των μη αγωγών (μονωτές). Η χαμηλότερη αγωγιμότητα προκύπτει από το μικρό αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων στο υλικό των ημιαγωγών. Στα μέταλλα, ο μεγάλος αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων προέρχεται από την εξωτερική στοιβάδα των ατόμων. Εκεί υφίσταται μόνο ένας χαλαρός δεσμός μεταξύ ηλεκτρονίου και ατόμου. Αντίθετα, στους ημιαγωγούς τα ηλεκτρόνια είναι πολύ πιο σταθερά συνδεδεμένα με το άτομο. Ανερχομένης της θερμοκρασίας αυξάνεται τόσο η δόνηση των ατόμων, ώστε μεμονωμένα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται από το δεσμό και καθιστούν δυνατή μια σημαντική ροή του ρεύματος. Η αντίσταση του ημιαγωγού μειώνεται με τη θερμοκρασία, σύμφωνα με εκθετική συνάρτηση. Οι θερμοαγωγοί κατασκευάζονται με σύντηξη μιγμάτων διαφόρων κόνεων σε υψηλή θερμοκρασία με προσθήκη συγκολλητικών. Τα μίγματα των κόνεων συντίθενται από οξειδία μετάλλων και άλατα μετάλλων. Επειδή κατά την παραγωγική διαδικασία δεν είναι δυνατή η εξασφάλιση της ομοιογένειας μεταξύ των θερμοαγωγών, πρέπει να υπολογισθεί μια ειδική για κάθε θερμοαγωγό καμπύλη θερμοκρασίας - αντίστασης.

Η περιοχή ένδειξης των θερμοαγωγών, εκτείνεται από **-100** μέχρι **350 °C**. Εξ' αυτού του λόγου είναι πολύ κατάλληλοι για τη θερμομέτρηση των εμβόλων. Ο θερμοαγωγός έχει περίπου το μέγεθος κεφαλής καρφίτσας. Για την προστασία του περιβάλλεται από υάλινο σωλήνα. Λόγω του μικρού του όγκου, απορροφά πολύ λίγη θερμότητα, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η θερμοκρασιακή κατάσταση του αντικειμένου μέτρησης. Στο σχήμα 22 αναπαριστάται μια συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας ενός εμβόλου. Ο θερμοαγωγός είναι συγκολλημένος με κόλλα υψηλής θερμοκρασίας σε μια μικρή οπή, η οποία φθάνει περίπου **1mm** κάτω από την επιφάνεια του εμβόλου. Για την καλή

μετάδοση της θερμότητας από το έμβολο στο θερμοαγωγό μεριμνά ένα επίχρισμα θερμοαγωγού πάστας στην άκρη του θερμοαγωγού. Από το θερμοαγωγό οδηγούνται δύο σύρματα στο δακτυλιοειδές πηνίο, που είναι σταθεροποιημένο στην κάτω πλευρά του άξονα του εμβόλου. Ο θερμοαγωγός και το πηνίο σχηματίζουν το δευτεροβάθμιο κύκλο ενός μετασχηματιστή. Ο πρωτοβάθμιος κύκλος συνίσταται από μια γεννήτρια υψηλής συχνότητας που παρέχει τάση με συχνότητα **465 kHz**, μια αντίσταση στην οποία μετράται η τάση και το ραβδοειδές πηνίο που έχει τοποθετηθεί στο καπάκι του κινητήρα. Στο Κάτω Νεκρό Σημείο, το δακτυλιοειδές πηνίο καλύπτει το ραβδοειδές πηνίο και επιτυγχάνεται έτσι μια σύζευξη μετασχηματιστή άνευ επαφής. Στο δευτεροβάθμιο πηνίο ρέει τότε ένα ρεύμα του οποίου το μέγεθος εξαρτάται από την αντίσταση του θερμοαγωγού και κατά συνέπεια από τη θερμοκρασία του. Ένα αντίστοιχο ρεύμα εμφανίζεται στον πρωτοβάθμιο πηνίο. Στην ωμική αντίσταση η τάση ανορθώνεται και μέσω οργάνου ένδειξης ανωτάτης τιμής οδηγείται σε έναν ενισχυτή και παίρνεται η ένδειξη με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου πηνίου. Εκτός αυτού, υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης ενός παλμογράφου και να γίνει έτσι ορατή στην οθόνη η εξέλιξη της τάσης. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας του εμβόλου, η αντίσταση του θερμοαγωγού μειώνεται και η ένδειξη στο περιστρεφόμενο πηνίο αυξάνεται. Επειδή όμως το περιστρεφόμενο πηνίο δεν έχει απ' ευθείας ένδειξη της θερμοκρασίας, αλλά μόνο μια κλίμακα από **0** μέχρι **100**, πρέπει κανείς να την προσδιορίσει με τη βοήθεια μιας καμπύλης. Η καμπύλη που συνοδεύει το θερμοαγωγό δείχνει τη σχέση μεταξύ αντίστασης και θερμοκρασίας. Απαιτείται λοιπόν ακόμη η σχέση μεταξύ της αντίστασης με τη διαβάθμιση του περιστρεφόμενου πηνίου. Αυτή η λειτουργία ονομάζεται **καμπύλη οργάνου**. Στο σχήμα **23** φαίνεται πώς με τη βοήθεια των δύο καμπυλών προσδιορίζεται η θερμοκρασία του εμβόλου.

Για τη σχεδίαση της καμπύλης του οργάνου χρησιμοποιείται μια συσκευή η οποία προσομοιώνει τη διαδικασία της μέτρησης στο έμβολο, με δακτυλιοειδές πηνίο, ραβδοειδές πηνίο κλπ. Εδώ ο θερμοαγωγός αντικαθίσταται από μια ομάδα αντιστάσεων με δεκαδική υποδιαίρεση. Για τη διερεύνηση των καμπυλών του οργάνου χρησιμοποιούνται διάφορες αντιστάσεις και καταγράφεται η ένδειξη του δείκτη. Η προαναφερθείσα διαδικασία για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός εμβόλου είναι κατάλληλη για συνεχείς μετρήσεις επειδή η μετάδοση των μετρήσεων γίνεται χωρίς φθορές και αλλαγές στην αντίσταση των επαφών, όπως γινόταν με παλαιότερα όργανα που λειτουργούσαν με θερμοστοιχεία.



Σχήμα 23 : Προσδιορισμός της θερμοκρασίας εμβόλου

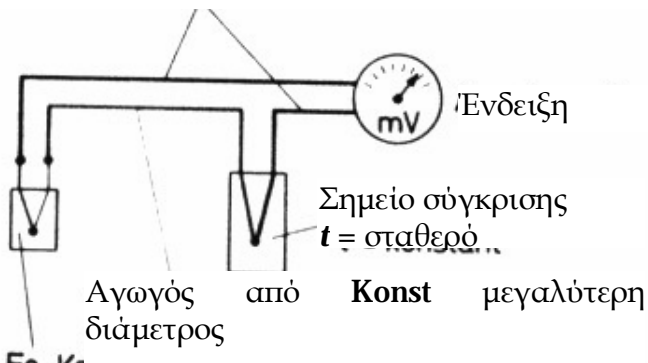
Ο αισθητήρας έχει πολύ μικρές διαστάσεις, έτσι ώστε θερμοκρασίες που μεταβάλλονται γρήγορα να μπορούν να μετρηθούν χωρίς καθυστέρηση. Σε μικρούς όμως κινητήρες, η εγκατάσταση του οργάνου μέτρησης στο έμβολο δημιουργεί μερικά προβλήματα εξ' αιτίας του περιορισμένου χώρου.

1.4. ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

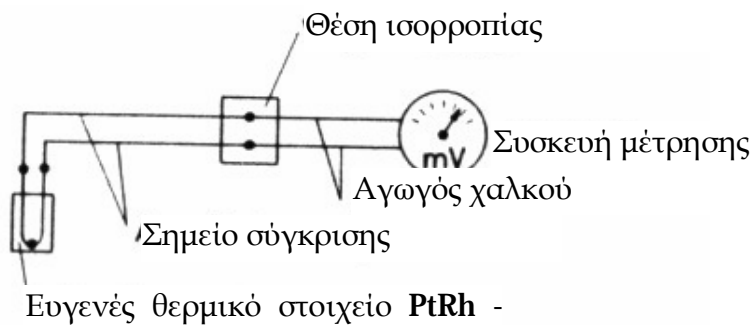
Ο τομέας εφαρμογής των θερμοστοιχείων στη θερμομέτρηση κινητήρων, είναι πολύ μεγάλος. Με τα θερμοστοιχεία μπορούν να μετρηθούν όλες οι θερμοκρασίες που εμφανίζονται στον κινητήρα, επειδή η περιοχή εφαρμογής των επεκτείνεται από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η διεξαγωγή της μέτρησης είναι πολύ απλή και είναι δυνατή χωρίς την ανάγκη ξένων πηγών ρεύματος. Τα θερμοστοιχεία μπορούν να κατασκευασθούν σε πολύ μικρές διαστάσεις, έτσι ώστε στο σημείο μέτρησης να απάγουν πολύ λίγη θερμότητα. Δεν προσδιορίζονται μόνο μέσες θερμοκρασίες αλλά και ακριβείς μετρήσεις σημείων, έτσι ώστε να καθορίζονται θερμοκρασίες πεδίων. Εκτός αυτών, τα θερμοστοιχεία είναι κατάλληλα για τον προσδιορισμό διακυμενόμενων θερμοκρασιών. Η μετάδοση επίσης των τιμών μέτρησης σε μεγάλες αποστάσεις, μπορούν να διεξαχθούν με ευκολία.

Η σχηματική παράσταση μιας συσκευής μέτρησης με θερμοστοιχείο φαίνεται στο σχήμα 24. Δύο σύρματα από διαφορετικά μέταλλα ή

Αγωγοί εξισόρπησης από σίδηρο



Fe-Konst Θερμικό στοιχείο, μικρότερη διάμετρος σύρματος

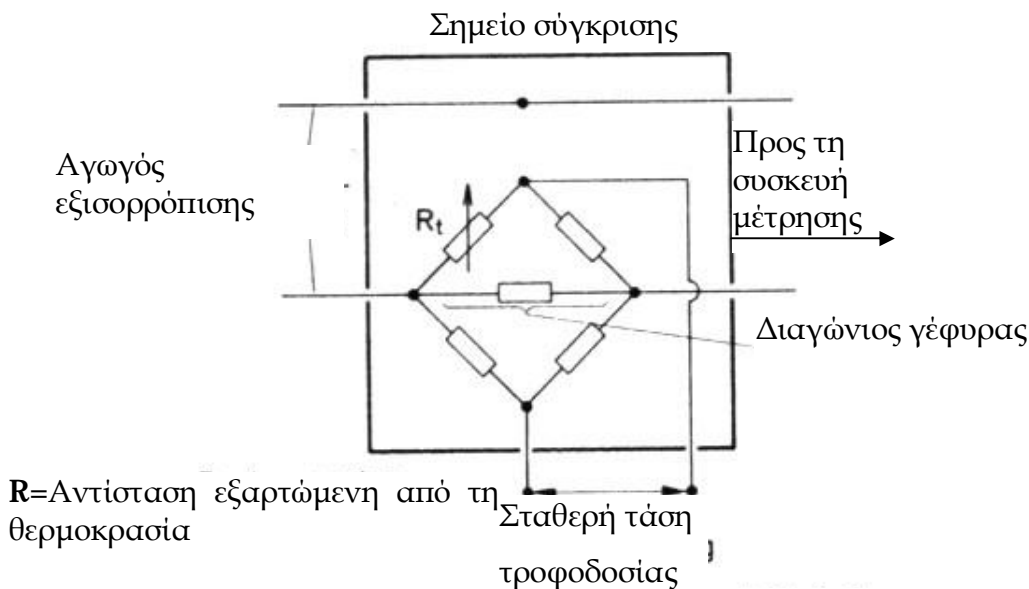


Σχήμα 24 : Θερμικά στοιχεία

κράματα μετάλλων, συγκολλούνται στις άκρες τους. Σε αυτό τον αγωγό παρεμβάλλεται ένα μιλιβολτόμετρο. Στα σημεία σύνδεσης των συρμάτων εμφανίζονται τάσεις επαφής οι οποίες αυξάνουν με την άνοδο της θερμοκρασίας. Αν κρατήσει κανείς τα δύο σημεία επαφής σε διαφορετικές θερμοκρασίες προκύπτει μια διαφορά τάσεως, την οποία δείχνει το μιλιβολτόμετρο. Στην πράξη χρησιμοποιεί κανείς μόνο λεπτά και σχετικά κοντά σύρματα. Σε αυτά συνδέονται οι επονομαζόμενοι **αγωγοί εξισορρόπησης**, από υλικά των οποίων η θερμική τάση δεν επηρεάζει την θερμομέτρηση. Στα μη ευγενή θερμοστοιχεία π.χ. Σιδήρου - Κωνσταντινίου ο αγωγός εξισορρόπησης αποτελείται από το ίδιο υλικό, όπως το θερμοστοιχείο, επειδή το κόστος δεν είναι πολύ υψηλό. Η διατομή των συρμάτων είναι μεγαλύτερη από αυτήν του θερμοστοιχείου, προκειμένου να παραμένει χαμηλή η πώση τάσεως. Εξ' αιτίας της υψηλής τιμής των υλικών χρησιμοποιούνται στα ευγενή θερμοστοιχεία π.χ. Πλατίνας, Ροδίου - Πλατίνας, αγωγοί εξισορρόπησης από μέταλλα τα οποία στους $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ συμπεριφέρονται ως προς τη θερμική τους τάση όπως το συνδεδεμένο θερμοστοιχείο. Ο αγωγός εξισορρόπησης οδηγείται στο σημείο σύγκρισης, το οποίο διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία. Από εκεί κατευθύνεται ένας απλός αγωγός χαλκού στο όργανο ένδειξης, ένα μιλιβολτόμετρο. Η θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης διατηρείται είτε στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ όταν χρησιμοποιείται νερό με πάγο για σταθερή θερμοκρασία, είτε στους $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ όταν χρησιμοποιείται συσκευή με θερμοστάτη. Αν δεν ενδιαφέρει απολύτως η ακρίβεια της μέτρησης μπορεί κανείς να παραλείψει το σημείο σύγκρισης. Αυτό

πλέον θα είναι το ίδιο το όργανο μέτρησης και μεταβάλλει τη θερμοκρασία του με αυτή του μιλλιβολτομέτρου. Αυτό δεν έχει μεγάλη σημασία ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες. Περαιτέρω υπάρχει η δυνατότητα να εξισώσει κανείς ηλεκτρικά τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο σημείο σύγκρισης. Επ' αυτού χρησιμοποιεί κανείς έναν ηλεκτρικό διακόπτη (γέφυρα αντισταθμίσεως) με μια θερμοεξαρτώμενη αντίσταση (σχήμα 25). Η γέφυρα συντονίζεται π.χ. έτσι ώστε σε θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, η διαγώνιος της γέφυρας να είναι χωρίς τάση. Όταν αποκλίνει η θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης από τους $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, τότε δημιουργείται μια τάση της διαγώνιου, η οποία επικαλύπτει την τάση μέτρησης (θερμική τάση) έτσι ώστε το όργανο να δείχνει την σωστή θερμοκρασία. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα θερμοστοιχεία, πρέπει να παρουσιάζουν ορισμένες ιδιότητες.

- Μεγάλη θερμική τάση, αυξανόμενη κατά το δυνατόν αναλογικά με τη θερμοκρασία.
- Η θερμική τάση δεν επιτρέπεται να μεταβάλλεται ακόμη και κατά τη συνεχή λειτουργία. Θα πρέπει δε να είναι επαληθεύσιμη.
- Όμοια ζεύγη θερμικού σύρματος οφείλουν να δίνουν την ίδια τάση, προκειμένου να εξασφαλίζεται η αντικατάσταση των αισθητήρων μεταξύ τους.
- Το υλικό να επεξεργάζεται εύκολα.
- Μεγάλη ανθεκτικότητα στην οξείδωση και σε άλλες χημικές προσβολές.



Σχήμα 25 : Σημείο σύγκρισης με ηλεκτρική αντιστάθμιση θερμοκρασίας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τρία σημαντικότερα θερμοστοιχεία :

Σιδήρου - Κωνσταντινίου

Συντομογραφία : **Fe - Konst**

Χρώμα αναγνώρισης : Μπλε

Περιοχή θερμοκρασίας : Συνεχώς, μέχρι τους **700 °C**

Στιγμιαία, μέχρι τους **900 °C**

Το θετικό σκέλος αποτελείται από τεχνικώς καθαρό σίδηρο και το αρνητικό σκέλος από Κονσταντίνιο, ενός μίγματος από **55%** χαλκό και **45%** νικέλιο. Το όριο για τη μέγιστη διαρκή θερμοκρασία καθορίζεται από το σημείο ανάφλεξης των δύο μετάλλων. Ο πόλος σιδήρου είναι ευαίσθητος στην οξείδωση και ο πόλος κονσταντίου γίνεται εύθραυστος παρουσία αερίων θείου. Εξ' αυτού θεωρείται σκόπιμο σε θερμομετρήσεις αερίων να καλύπτεται το θερμοστοιχείο με ένα προστατευτικό σωλήνα.

Νικελίου, Χρωμίου - Νικελίου

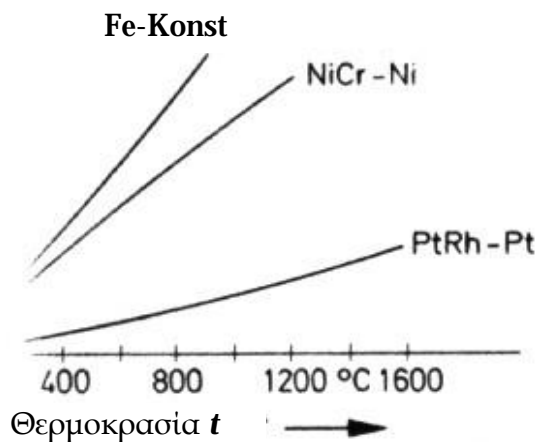
Συντομογραφία : **NiCr - Ni**

Χρώμα αναγνώρισης : Πράσινο

Περιοχή θερμοκρασίας Συνεχώς, μέχρι τους **1000 °C**,

:

Στιγμιαία, μέχρι τους **1200 °C**



Σχήμα 26 : Θερμικές τάσεις σε συγκριτική θερμοκρασία **0°C**

Το θετικό σκέλος αποτελείται από χρωμονικέλιο (**90%** νικέλιο και **10%** χρώμιο) και το αρνητικό σκέλος από νικέλιο (**95%** νικέλιο, **3%** μαγκάνιο και **2%** αλουμίνιο). Επειδή το θερμοστοιχείο είναι μεν ανθεκτικό στην οξείδωση, προσβάλλεται όμως από αναγωγικά και θειώδη αέρια, είναι απαραίτητος κατά τις μετρήσεις ένας προστατευτικός σωλήνας.

Πλατίνα, Ρόδιο - Πλατίνα

Συντομογραφία : **PtRh - Pt**

Χρώμα αναγνώρισης : Λευκό

Περιοχή θερμοκρασίας Συνεχώς, μέχρι τους **1300 °C**,

:

Στιγμιαία, μέχρι τους **1600 °C**

Το θετικό σκέλος αποτελείται από πλατίνα/ρόδιο (**90%** πλατίνα και **10%** ρόδιο) και το αρνητικό σκέλος από καθαρή πλατίνα. Εντός αναγωγικών αερίων και παρουσία ατμών θείου, πρέπει να εφαρμόζονται προστατευτικοί σωλήνες. Άνω των **1200 °C**, αρχίζει το ρόδιο να διαχέεται στο σκέλος της πλατίνας. Για να μη συμβεί αυτό θα πρέπει σε τέτοιες θερμοκρασίες τα δύο σκέλη να μονωθούν αεροστεγώς. Το θερμοστοιχείο πλατίνας/ροδίου - πλατίνας είναι το ακριβέστερο όλων των στοιχείων, συνεπεία της υψηλής καθαρότητας των χρησιμοποιούμενων υλικών.

Η θερμική τάση των τριών περιγραφέντων θερμοστοιχείων αναπαριστάται στο σχήμα **26**, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Στο φύλλο **DIN 43710** καθορίζονται οι θερμικές τάσεις και τα όρια σφάλματος. Σχετικά με τη διάκριση των θερμοστοιχείων ως σημειωθεί ότι το θετικό σκέλος αναφέρεται πρώτο και το άκρο του είναι βαμμένο κόκκινο .

Οι διατομές των θερμικών συρμάτων είναι κανονισμένες κατά το **DIN 43712**. Προκειμένου η απόκλιση της μέτρησης, λόγω απαγωγής της θερμότητας από το σημείο μέτρησης, να είναι αμελητέα και να καταγράφονται γρήγορα μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες, πρέπει να χρησιμοποιούνται σύρματα με τη μικρότερη δυνατή διατομή. Τα σύρματα προσφέρονται με ή χωρίς μόνωση. Πρέπει να είναι παλαιάς κατασκευής για να μη μεταβάλλεται η θερμική τάση. Στο σχήμα **27** παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα θερμοστοιχείων. Στα μη ευγενή στοιχεία, όπως Νικελίου/Χρωμίου - Νικελίου γίνεται μόνωση των δύο συρμάτων με μικρούς κεραμικούς σωληνίσκους. Ένα σκέλος μπορεί να μετασκευασθεί σε προστατευτικό σωλήνα. Αν χρησιμοποιηθεί προστατευτικός σωλήνας από κεραμικό τότε αρκεί η μόνωση του ενός σκέλους. Τα σκέλη των ευγενών θερμοστοιχείων όπως Πλατίνας/Ροδίου - Πλατίνας πρέπει να εισαχθούν σε μια ενιαία κεραμική μονωτική ράβδο με δύο οπές, προκειμένου να μονωθούν αεροστεγώς μεταξύ τους. Μέχρι περίπου **1200 °C** μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταλλικοί προστατευτικοί σωλήνες. Πέραν αυτού χρησιμοποιούνται μόνο κεραμικοί προστατευτικοί σωλήνες. Οι προστατευτικοί σωλήνες κανονίζονται κατά το **DIN 43720** (μεταλλικοί σωλήνες) και κατά το **DIN 43724** (κεραμικοί σωλήνες). Πρέπει να είναι με όσο το δυνατόν λεπτά τοιχώματα, προκειμένου να μην αλλοιώνεται το αποτέλεσμα.

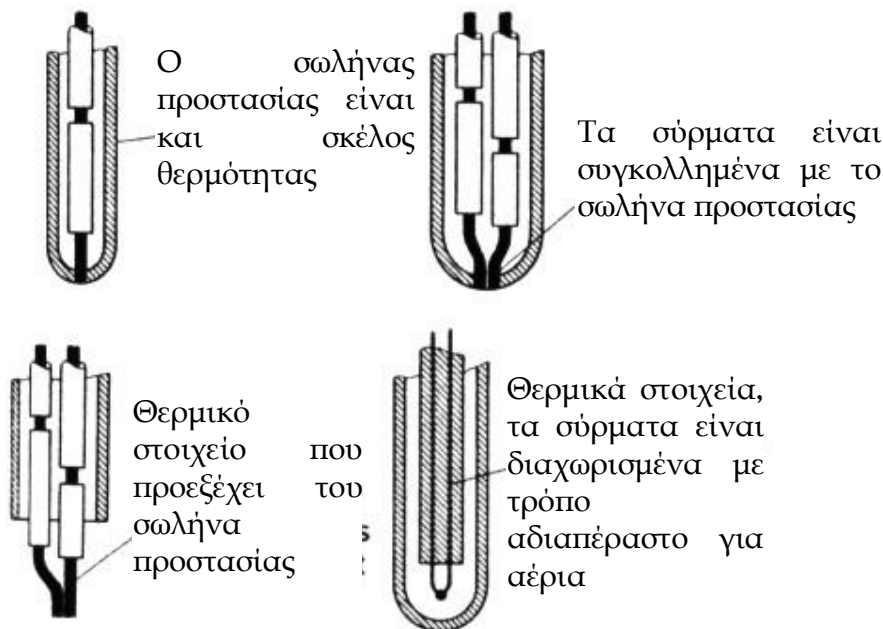
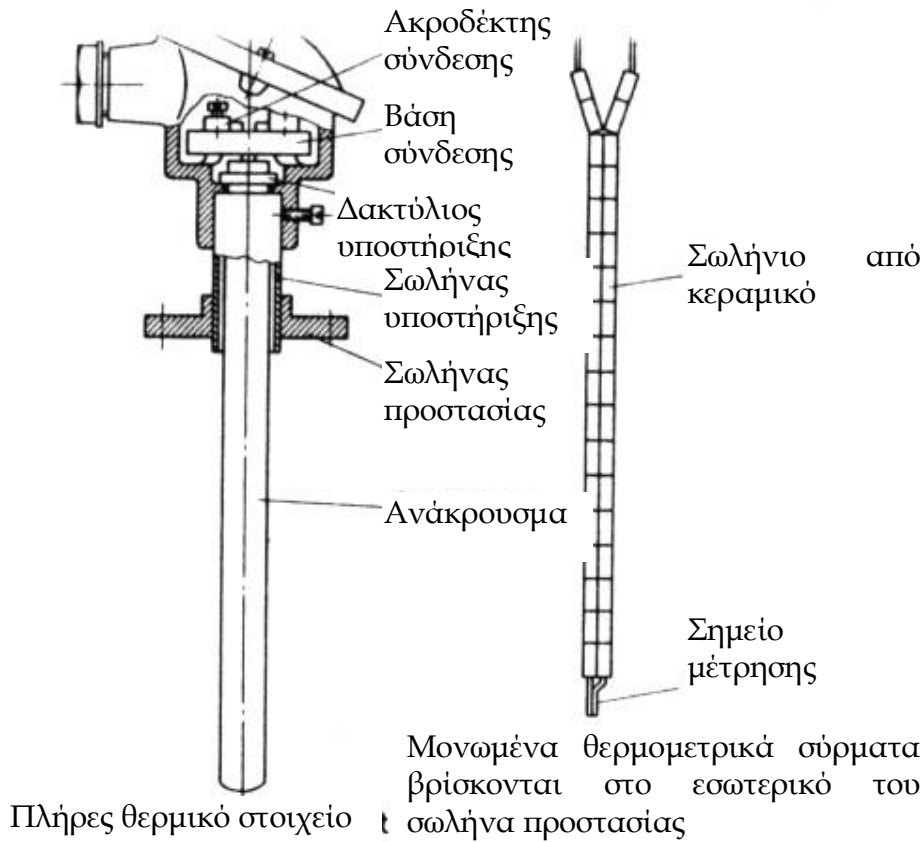
Κατά τη μέτρηση με θερμοστοιχεία, οι ακόλουθες πηγές σφαλμάτων μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το αποτέλεσμα, γι αυτό πρέπει κατά το δυνατόν να περιορισθούν:

- Ο θερμοαισθητήρας δεν είναι κατάλληλα εγκατεστημένος και δεν δέχεται την πραγματική θερμοκρασία του αντικειμένου της μέτρησης.
- Η θερμική τάση του υλικού του σύρματος κυμαίνεται μέσα στα όρια που καθορίζει το **DIN 43710**.
- Η θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της μέτρησης, δηλαδή δε συμφωνεί με τη θερμοκρασία αναφοράς του οργάνου.
- Η ηλεκτρική αντίσταση του θερμοστοιχείου, του αγωγού εξισορρόπησης και του αγωγού σύνδεσης με το όργανο ένδειξης, αποκλίνει από την τιμή βαθμονόμησης του οργάνου.

- Η ακρίβεια του οργάνου ένδειξης επηρεάζει επίσης και το σφάλμα μέτρησης.

Τα λάθος Νο. 1 μπορεί να αποφευχθεί με προσεκτική εγκατάσταση του θερμοστοιχείου. Πρέπει να φροντίσει κανείς να έλθει σε επαφή με το αντικείμενο της μέτρησης και να λάβει την θερμοκρασία του.

Αν το λάθος Νο. 2 φαίνεται μεγάλο σε σχέση με την επιθυμητή ακρίβεια, μπορεί κανείς να το μειώσει χρησιμοποιώντας ένα θερμοστοιχείο με τη μισή ανοχή.



Σχήμα 27 : Τύποι κατασκευής θερμικών στοιχείων

Το λάθος Νο. 3, θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο σημείο σύγκρισης, εξαλείφεται αν τοποθετηθεί σε νερό με πάγο ή σε μέταλλο θερμαινόμενο στους

50 °C, με σταθερή, θερμοστατικά ελεγχόμενη θερμοκρασία ή με ηλεκτρική θερμοκρασιακή αντιστάθμιση. Αν δεν συμφωνεί η θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης με αυτήν της αναφοράς του οργάνου, τότε γίνονται οι ακόλουθες διορθώσεις:

Ως γνωστόν, η μέτρηση της θερμοκρασίας με θερμοστοιχεία βασίζεται στη διαφορά των τάσεων επαφής από τον θερμοδότη και το σημείο σύγκρισης. Αν η συσκευή ένδειξης είναι βαθμονομημένη κατευθείαν σε °C, τότε η θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης έχει σα βάση της τους 20 °C. Σε αυτή την περίπτωση ο τύπος διορθώσεως είναι :

$$t = t_M + c(t_V - t_b) \quad (11)$$

όπου:

t = πραγματική θερμοκρασία

t_M = θερμοκρασία οργάνου

c = συντελεστής διορθώσεως

$c = 1$ για **Fe - Konst** και **NiCr-Ni** θερμοστοιχεία

$c = 0,5$ για **PtRh-Pt** θερμοστοιχεία

t_V = θερμοκρασία του σημείου σύγκρισης

t_b = θερμοκρασία αναφοράς

Οι προαναφερθέντες συντελεστές διορθώσεως αναπαριστούν τιμές κατά προσέγγιση. Ακριβέστερες τιμές μπορούν να ληφθούν από το σχήμα 28. Αν εξαρτάτο η θερμική τάση ακριβώς γραμμικά από τη θερμοκρασία, τότε ο συντελεστής διορθώσεως θα ήταν $c = 1$.

Αν η ένδειξη δεν είναι σε °C αλλά σε μιλλιβόλτ (mV), τότε έχουμε τον ακόλουθο τύπο διορθώσεως:

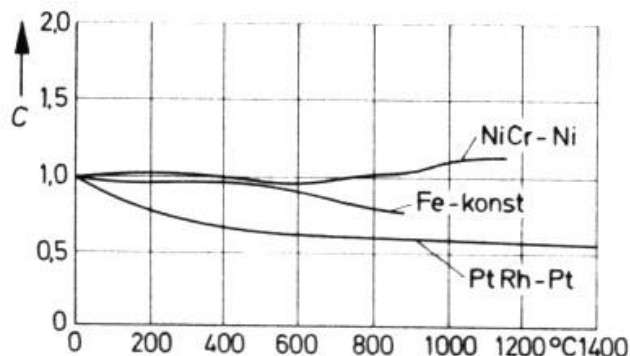
$$E = E_M + k(t_V - t_b) \quad (12)$$

E = πραγματική θερμική τάση

E_M = ένδειξη τάσης στο όργανο

k = συντελεστής διορθώσεως

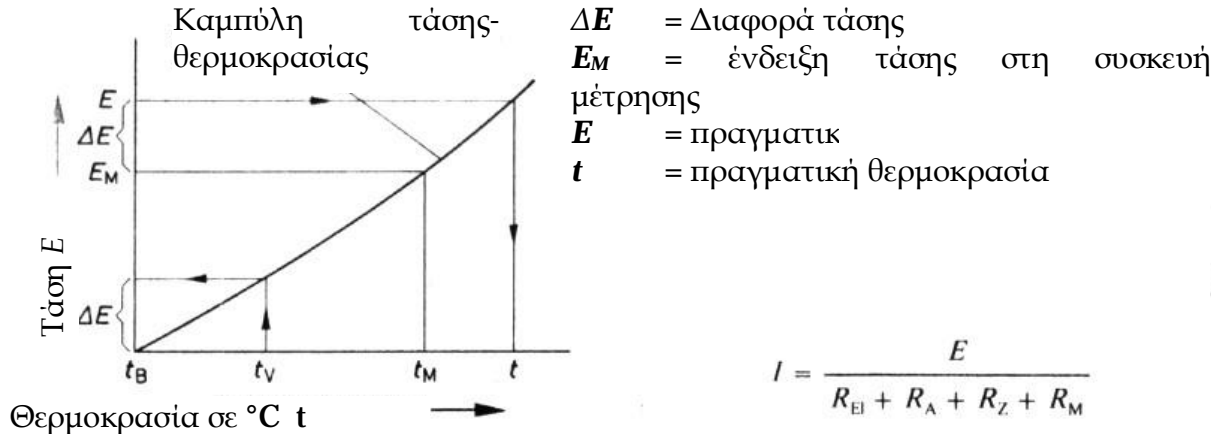
Το συντελεστή διορθώσεως k τον βρίσκουμε στο φύλλο **DIN 43710**.



Θερμοκρασία που δείχνει η συσκευή μέτρησης t_M

Σχήμα 28 : Διορθωτικός συντελεστής c για θερμικά στοιχεία σύμφωνα με το **DIN 43710** (τα σημεία σύγκρισης και η θερμοκρασία αναφοράς διαφέρουν)

Μια άλλη δυνατότητα διόρθωσης της τάσης, δείχνεται στο σχήμα 28α. Προς τούτο απαιτείται όμως η καμπύλη τάσης - θερμοκρασίας του θερμοστοιχείου.



Σχήμα 28α : Διόρθωση τάσης

Καταρχήν διαβάζεται η διαφορά τάσεως μεταξύ θερμοκρασίας σημείων συγκρίσεως και σχετικής θερμοκρασίας. Αυτές οι τιμές αθροίζονται αλγεβρικά με την ένδειξη τάσεως του οργάνου και έτσι προκύπτει η πραγματική τάση. Τότε μπορεί κανείς από αυτή την πραγματική τάση να υπολογίσει από την καμπύλη την πραγματική θερμοκρασία.

Για το λάθος Νο. 4 παρατηρούνται τα ακόλουθα:

Η αντίσταση του θερμοστοιχείου, του αγωγού εξισορρόπησης και του αγωγού προσαγωγής είναι βαθμονομημένη στην ένδειξη του οργάνου και μάλιστα με τιμή 20 Ω. Αν η πραγματική αντίσταση αποκλίνει από αυτή την τιμή, μπορεί κανείς με την εγκατάσταση μιας εξισορροπητικής αντίστασης να τη φέρει σε αυτή την τιμή. Και εδώ όμως υφίσταται η δυνατότητα με έναν τύπο διόρθωσης να διορθωθούν οι τιμές.

Ο τύπος διόρθωσης προκύπτει από τον εξής συλλογισμό. Η ένδειξη τάσεως του μιλιβολτομέτρου βασίζεται σε μια μέτρηση ρεύματος. Για το ρεύμα θέρμανσης ισχύει ο νόμος του **Ohm**, μπορεί κανείς να γράψει:

$$I = \frac{E}{R_{EI} + R_A + R_Z + R_M}$$

I = Ρεύμα θέρμανσης

E = πραγματική τάση θέρμανσης

R_{EI} = αντίσταση του θερμοστοιχείου

R_A = αντίσταση του αγωγού εξισορρόπησης

R_Z = αντίσταση του αγωγού προς το όργανο μέτρησης

R_M = Εσωτερική αντίσταση οργάνου μέτρησης.

Όταν το ρεύμα I διαρρέει μέσω του οργάνου μέτρησης, δείχνει σύμφωνα με τη βαθμονόμησή του την τάση E_M

$$E_M = I(R_M + R_e)$$

όπου:

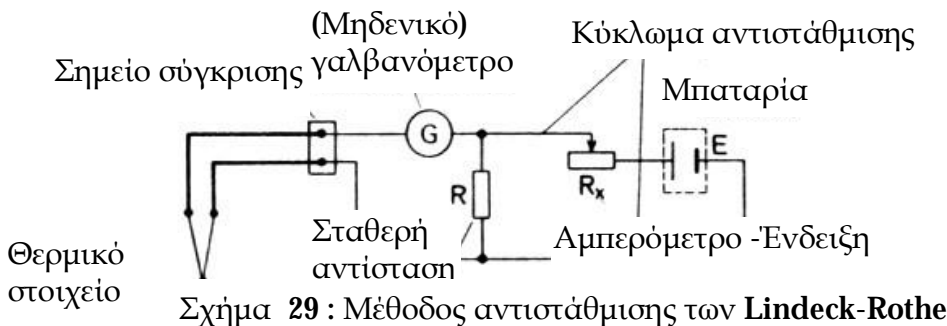
E_M = ένδειξη τάσεως στο όργανο μέτρησης

R_e = τιμή της αντίστασης στη βαθμονόμηση του οργάνου

Από τους δύο τύπους προκύπτει ο **τύπος διόρθωσης (13)**:

$$E = E_M \frac{R_{EI} + R_A + R_Z + R_M}{R_M + R_e} \quad (13)$$

Για να μπορέσουμε να πάρουμε λύση απαιτούνται οι τιμές των αντιστάσεων. Γνωστή είναι η εσωτερική αντίσταση του οργάνου μέτρησης και η αντίσταση βαθμονόμησης. Τις υπόλοιπες αντιστάσεις πρέπει κανείς είτε να τις λογαριάσει από γνωστούς τύπους της ηλεκτροτεχνίας είτε να τις μετρήσει μ' ένα ωμόμετρο. Η θερμική τάση καθώς και η θερμοκρασία μπορούν να μετρηθούν με διάφορες μεθόδους.



Η απλούστερη μέθοδος εφαρμόζεται με ένα γαλβανόμετρο. Ο δείκτης αυτού του οργάνου δείχνει απευθείας την τιμή σε μια κλίμακα είτε σε μιλιβόλτ είτε σε °C. Το όργανο θα πρέπει να έχει μια εσωτερική αντίσταση μεγαλύτερη κατά μια έως δύο μονάδες της δύναμης του **10** από την αντίσταση του αγωγού, προκειμένου οι μεταβολές στην αντίσταση να μην αλλοιώνουν σημαντικά την τιμή μετρήσεως. Σε αυτή την απλή μέθοδο μέτρησης μπορούν φυσικά να εμφανιστούν όλα τα λάθη τα οποία προαναφέρθηκαν.

Η μέθοδος αντιστάθμισης απαιτεί μεγαλύτερη δαπάνη σε όργανα μέτρησης (σχήμα 29). Έχει όμως το πλεονέκτημα, ότι στο κύκλωμα του θερμοστοιχείου δεν ρέει κανένα ρεύμα και έτσι εκλείπουν όλα τα συναφή σφάλματα. Μεταβολές στην αντίσταση του κυκλώματος του θερμοστοιχείου δεν επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αντιστάθμισης, οι οποίες λειτουργούν ημιαυτόματα.

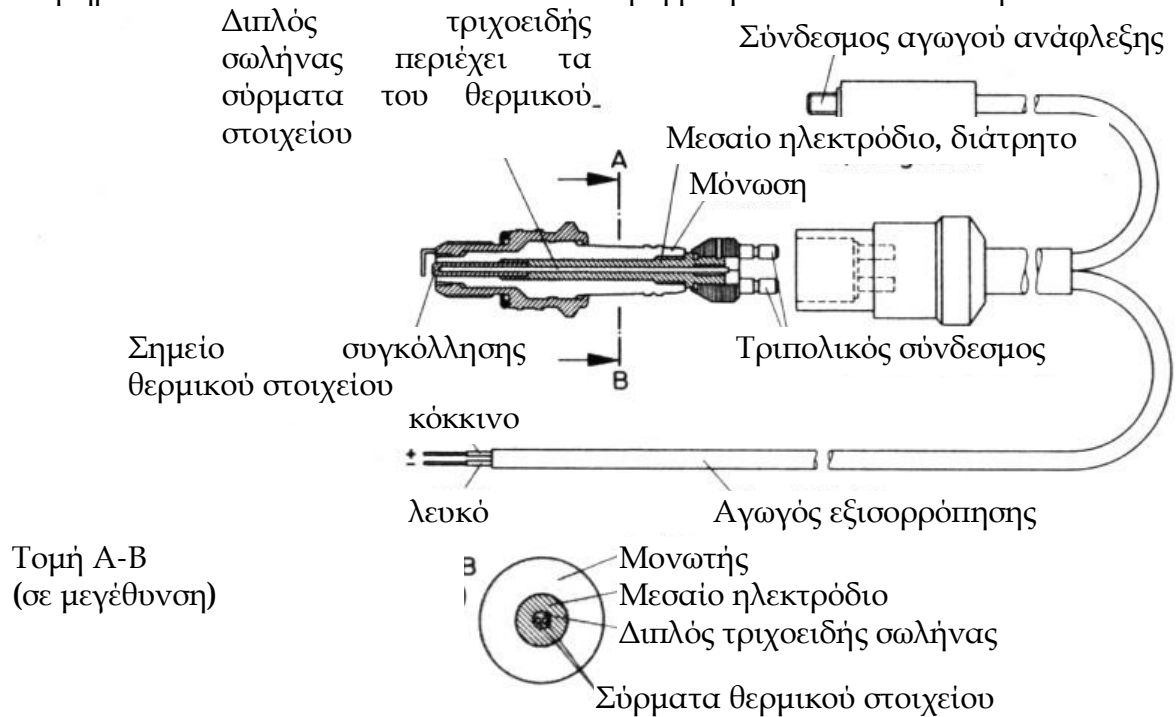
ΜΕΘΟΔΟΣ LINDECK - ROTHE

Εδώ θα περιγραφεί η μέθοδος **Lindeck - Rothe**, κατά την οποία η εξομάλυνση γίνεται δια χειρός. Κατά τη συνδεσμολογία αυτή μια αντισταθμιστική τάση αντιτάσσεται στη θερμική τάση, στη σταθερή αντίσταση **R**. Αυτή η αντισταθμιστική τάση παράγεται από μια εξωτερική πηγή τάσης **E**.

Στο κύκλωμα του θερμοστοιχείου βρίσκεται ένα μηδενικό γαλβανόμετρο. Μέσω μιας αντίστασης εξισορρόπησης R_x , ρυθμίζεται το ρεύμα εντός του αντισταθμιστικού κυκλώματος, έτσι ώστε το μηδενικό γαλβανόμετρο να δείχνει μηδέν. Τότε μέσα στο κύκλωμα του θερμοστοιχείου δεν ρέει ρεύμα και η τάση της σταθερής αντίστασης είναι η ίδια με τη θερμική τάση. Η τιμή του ρεύματος που διαρρέει στη συνέχεια το αντισταθμιστικό κύκλωμα, δίδεται από τον μετρητή ρεύματος A . Αυτό είναι ένα μέτρο για τη ζητούμενη θερμοκρασία.

Τα θερμοστοιχεία εφαρμόζονται πολύπλευρα στις θερμομετρήσεις κινητήρων. Μετρώνται τόσο οι θερμοκρασίες εξαρτημάτων όπως κύλινδροι, μπουζί, βαλβίδες εισαγωγής κ.α., όσο και ροές αερίων. Στη συνέχεια, περιγράφονται ένας θερμομετρικός βολβός της εταιρίας **Bosch** και το σημείο μέτρησης μιας βαλβίδας εισαγωγής σε ένα κινητήρα εσωτερικής καύσεως, αντιπροσωπευτικά για τις πολλές δυνατότητες εφαρμογής των θερμοστοιχείων.

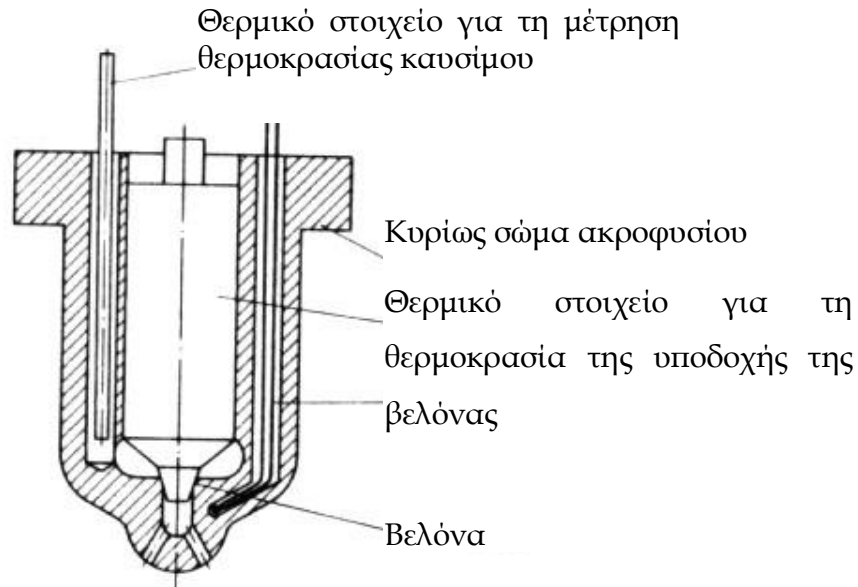
Ο θερμομετρικός βολβός (σχήμα 30) χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας στο μεσαίο ηλεκτρόδιο ενός μπουζί (αναφλεκτήρας) σ' έναν κινητήρα. Αυτή η θερμοκρασία είναι ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της σωστής τιμής θερμότητας ενός μπουζί. Για την απρόσκοπτη λειτουργία του κινητήρα θα πρέπει η θερμοκρασία στο άκρο του μπουζί (τέλος του μονωτήρα, μεσαίο ηλεκτρόδιο) να ανέρχεται σε **500** έως **850** °C. Η θερμοκρασία του μπουζί παρέχει περαιτέρω πληροφορίες περί της απόδοσης, της κατανομής του μίγματος και την εξέλιξη της καύσης στους κυλίνδρους ενός πολυκύλινδρου κινητήρα. Φυσικά είναι ανανκαία η τοποθέτηση βολβών σε κάθε κύλινδρο.



Σχήμα 30 : Μέτρηση θερμοκρασίας (εταιρεία **Bosch**)

Ο θερμομετρικός βολβός είναι ένα μπουζί στο οποίο προστέθηκε ένα θερμοστοιχείο πλατίνης/ροδίου - πλατίνης. Πλέον της σύνδεσης ενός καλωδίου

ανάφλεξης, διαθέτει μια θέση για τον αγωγό εξισορρόπησης, ο οποίος πρέπει να είναι μονωμένος από την τάση ανάφλεξης. Ο αγωγός εξισορρόπησης συνδέεται συνήθως κατευθείαν στο γαλβανόμετρο πηνίου χωρίς σημείο σύγκρισης. Το γαλβανόμετρο πρέπει να έχει εσωτερική αντίσταση **200 - 300 Ω**, προκειμένου τα σφάλματα μέτρησης από τις μεταβολές της αντίστασης στον αγωγό μέτρησης να περιορίζονται.



Σχήμα 31 : Θερμικά στοιχεία στο ακροφύσιο ψεκασμού

Στο σχήμα 31 φαίνεται η τοποθέτηση θερμοστοιχείων σε μία ακροφύσιο ψεκασμού. Τη στιγμή που το ένα θερμοστοιχείο μετρά τη θερμοκρασία του καυσίμου, το άλλο δείχνει τη θερμοκρασία στη βάση της ακίδας. Αυτή η θερμομέτρηση είναι σημαντική, επειδή όπως και στα μπουζί για την ομαλή λειτουργία της βαλβίδας είναι απαραίτητη και μια σταθερή περιοχή θερμοκρασίας. Σε πολύ υψηλή θερμοκρασία του ακροφυσίου το καύσιμο πυρολύεται και σχηματίζονται επικαθίσεις στις επιφάνειες της βαλβίδας. Εξ' αιτίας αυτού η βάση της ακίδας χάνει τη στεγανότητά της και η ακίδα τείνει να δυσλειτουργεί. Όταν παραμένει η θερμοκρασία χαμηλή, τότε μέσα στο ακροφύσιο σχηματίζονται συμπυκνώματα τα οποία μαζί με ενώσεις του θείου της καύσης, προκαλούν έντονη διάβρωση.

1.5. ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ

Τα θερμόμετρα αντιστάσεως ανήκουν όπως και τα θερμοστοιχεία στα ηλεκτρικά θερμόμετρα επαφής. Μετρούμενο μέγεθος είναι, η με τη θερμοκρασία, μεταβαλλόμενη αντίσταση. Η περιοχή μέτρησης των θερμομέτρων αντίστασης εκτείνεται από **-200** μέχρι **850 °C**. Είναι κατάλληλα για μετρήσεις θερμοκρασίας μεγάλης ακρίβειας. Έχουν όμως το μειονέκτημα, ότι είναι μεγάλου όγκου και εξ' αιτίας αυτού του λόγου δεν είναι κατάλληλα για σημειακές μετρήσεις και για

θερμοκρασίες που μεταβάλλονται γρήγορα. Εξαιρέση αποτελούν οι θερμοαγωγοί που εξετάστηκαν στο Κεφάλαιο 2.1. Σε αντίθεση με τα θερμοστοιχεία, τα θερμόμετρα αντιστάσεως χρειάζονται πάντοτε μια πηγή ρεύματος. Επίσης χρησιμοποιούνται στους κινητήρες για τη θερμομέτρηση του ψυκτικού και του λιπαντικού μέσου, καθώς και των αερίων.

Για την κατασκευή των θερμομέτρων αντίστασης, χρησιμοποιούνται συνήθως σύρματα από πλατίνα ή νικέλιο με διατομή **0,05** μέχρι **0,3 mm**. Τα υλικά αυτά με σύσταση τεχνικώς καθαρή, εκπληρούν άριστα όρους όπως γραμμική συνάρτηση της αντίστασης με την θερμοκρασία, υψηλό συντελεστής θερμότητας, εύκολη κατεργασία σε σύρματα και μεγάλη διάρκεια ζωής της γραμμικότητας της συνάρτησης της αντίστασης με τη θερμοκρασία. Ο **συντελεστής θερμότητας** εκφράζει πόσα Ω αυξάνει η αντίσταση για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας. Ενώ τα **θερμόμετρα πλατίνας** χρησιμοποιούνται για μετρήσεις από **-200 °C** μέχρι **800 °C**, τα αντιστοιχα νικελίου έχουν εφαρμογή μόνο για περιοχές από **-60 °C** μέχρι **180 °C**, επειδή άνω των **180 °C** αλλοιώνονται οι μετρήσεις, εξ' αιτίας της μεταβολής της υψής των.

Τρόπος μέτρησης

E = Πηγή τάσης

G = Γαλβανόμετρο με περιστρεφόμενο-πηνίο

R_A = αντίσταση εξομοίωσης

R_M = αντίσταση μέτρησης σε αισθητήρα θερμοκρασίας

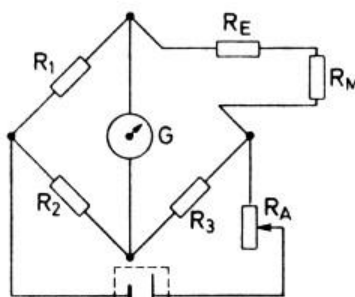
R_{SE} = αντίσταση κατεύθυνσης

R_E = αντίσταση ρύθμισης, βοηθάει στη ρύθμιση του μηδενικού σημείου.

Γι' αυτό πρέπει να ικανοποιείται η εξίσωση:

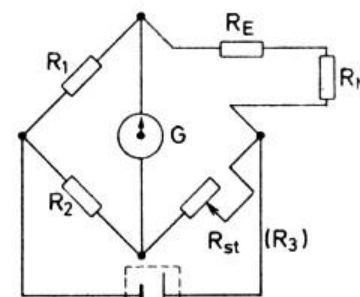
$$\frac{R_M + R_E}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_1, R_2, R_3 = \text{Σταθερές}$$



α) Μέθοδος
απόκλισης

αη



β) Μέθοδος

αντιστάθμισης

βη

Σχήμα 32 : Θερμόμετρα αντιστάσεως

Τα σύρματα περιτυλίγονται, ανάλογα με την περιοχή μέτρησης, σε διάφορα **φέροντα υλικά**. Εφαρμογή έχουν εδώ το χαρτόνι (μέχρι **120 °C**), μαρμαρυγία (μέχρι **350 °C**), ύαλος χαλαζία και σκληρυμένη ύαλος (μέχρι **550 °C**), και για ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες κεραμικό υλικό. Το περιτύλιγμα του σύρματος τοποθετείται εντός προστατευτικού σωλήνα.

Για τη θερμομέτρηση με θερμόμετρα αντιστάσεως μπορεί κανείς βασικά να εφαρμόσει οποιαδήποτε ηλεκτρική μέθοδο προσδιορισμού της αντίστασης. Όμως σε τεχνικές μετρήσεις εφαρμόζονται μόνο απλές μέθοδοι. Στο σχήμα 32 αναπαρίστανται δύο συνήθεις μέθοδοι, οι οποίες εργάζονται με τη βοήθεια της γέφυρας ζεύξης **Wheatstone**. Κατά τη μέθοδο της **απόκλισης**, σχήμα 32α, μια αλλαγή της μετρούμενης αντίστασης επιφέρει μια απόκλιση στο γαλβανόμετρο που βρίσκεται στη γέφυρα. Στην κλίμακά του μπορεί κανείς να διαβάσει τη

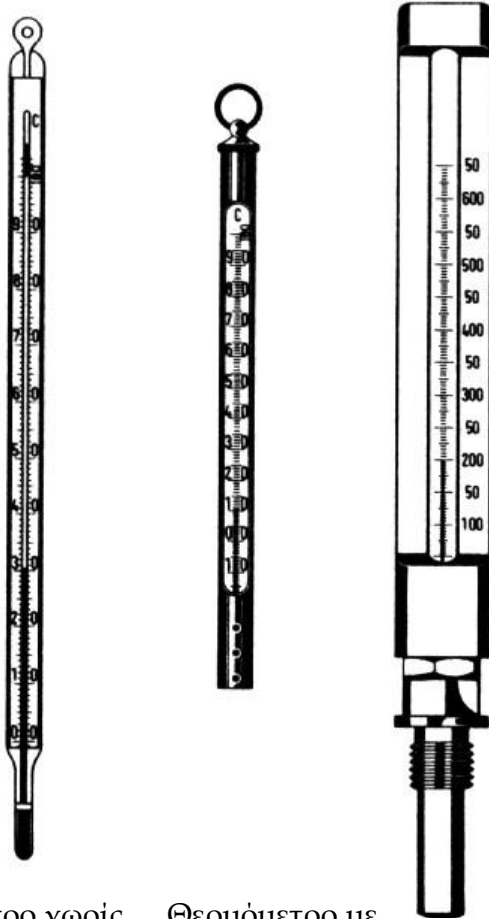
θερμοκρασία. Επειδή η ένδειξη του γαλβανομέτρου εξαρτάται επίσης από το ύψος της τάσης της πηγής του ρεύματος, πρέπει αυτή να κρατηθεί σε μια σταθερή τιμή, με τη βοήθεια μια αντίστασης εξισορρόπησης. Η τάση πρέπει κατά διαστήματα να επαναρυθμίζεται, πράγμα που δεν είναι απαραίτητο στη μέθοδο **αντιστάθμισης**, σχήμα **32β**, επειδή εδώ η τάση δεν επηρεάζει την τιμή μέτρησης. Η αντίσταση διεύθυνσης ρυθμίζεται τόσο μέχρι του σημείου όπου η γέφυρα είναι χωρίς ρεύμα, δηλαδή η συσκευή του πηνίου δείχνει μηδέν. Μετά μπορεί κανείς στην αντίσταση να διαβάσει τη θερμοκρασία. Παράλληλα με τις δύο περιγραφείσες μεθόδους υπάρχουν και πιο εκλεπτυσμένες μέθοδοι μέτρησης.

1.6. ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ

Τα υγρά διαστέλλονται όπως όλα τα υλικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επειδή αυτή η φυσική ιδιότητα εξαρτάται απόλυτα από τη θερμοκρασία, μπορεί κανείς να την εκμεταλλευτεί για τις μετρήσεις.

Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται **υάλινα θερμομέτρα υγρού**, επειδή είναι απλά στην κατασκευή. Στο σχήμα **33** δείχνονται μερικά τέτοια μοντέλα. Στα εργοστάσια κατασκευής κινητήρων χρησιμοποιούνται κυρίως θερμομέτρα υδραργύρου. Με αυτά τα θερμομέτρα γίνονται μετρήσεις στην περιοχή θερμοκρασίας από **-30 °C** μέχρι **750 °C**. Ο υδράργυρος ως υγρό μέτρησης, παρέχει τα ακόλουθα σημαντικά για ένα θερμομέτρο πλεονεκτήματα:

- Δεν διαβρέχει τα τοιχώματα της υάλου.
- Παραμένει σε υγρή κατάσταση, σε μεγάλο θερμοκρασιακό φάσμα.
- Ανταποκρίνεται άμεσα σε θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Είναι εύκολη η παρασκευή του σε καθαρή μορφή.
- Η καθαρότητα είναι μια σημαντική προϋπόθεση για υγρά θερμομέτρων, επειδή αλλιώς παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές στη διαστολή και τη διαβροχή.



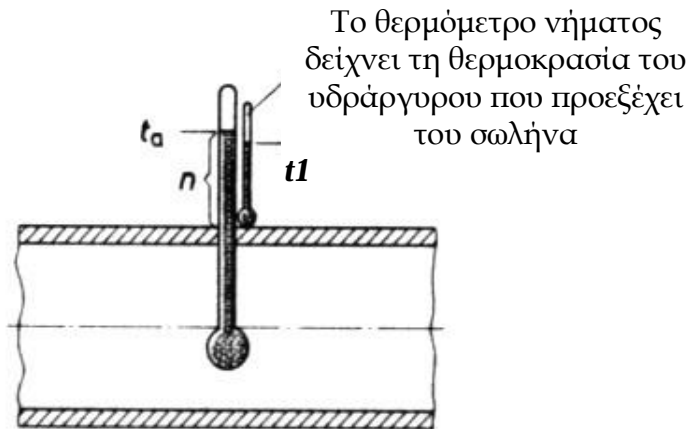
Θερμόμετρο χωρίς
προστατευτικό
περίβλημα

Θερμόμετρο με
προστατευτικό
περίβλημα

Θερμόμετρο με
δυνατότητα
βιδώματος

Σχήμα 33 : Γυάλινα θερμόμετρα υγρού

Μέχρι τη θερμοκρασία των **280 °C** χρησιμοποιούνται υδραργυρικά θερμόμετρα κενού. Ο χώρος πάνω από τον υδράργυρο είναι κενός αέρος, για να μην προκληθεί οξείδωση από το οξυγόνο, που θα οδηγήσει σε ρύπανση των τοιχωμάτων. Το σημείο βρασμού του υδραργύρου υπό ατμοσφαιρική πίεση βρίσκεται περίπου στους **370 °C**. Γι' αυτό το λόγο σε θερμοκρασίες άνω των **280 °C** ο **χώρος πάνω από τον υδράργυρο** πληρούται με ένα **αέριο** που δεν σχηματίζει ενώσεις με τον υδράργυρο. Χρησιμοποιούνται ξηρό άζωτο, υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα ή αργό. Οι πιέσεις των αερίων ανέρχονται ανάλογα με τη μέγιστη θερμοκρασία π.χ. **10 bar** στους **500 °C** και **75 bar** στους **750 °C**.



Σχήμα 34 : Διόρθωση νήματος

Τα χρησιμοποιούμενα, για την κατασκευή των θερμομέτρων υγρού, είδη υάλου οφείλουν να υπόκεινται σε κατά το δυνατόν ελάχιστη γήρανση, προκειμένου να μην υπάρχει πρακτικά μετατόπιση του μηδενικού σημείου, λόγω μεταβολής της υφής των και κατ' επέκταση του όγκου των. Μέχρι τους **460 °C** χρησιμοποιείται ύαλος Ιένας. Για ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες, κατασκευάζονται θερμομέτρα από ύαλο χαλαζία. Για την προστασία του, το θερμομέτρο τοποθετείται εντός μεταλλικού περιβλήματος.

Είναι σύνηθες, τα θερμομέτρα κατά τη βαθμονόμηση να εμβαπτιζονται πλήρως εντός του υγρού. Αν χρησιμοποιηθεί ένα τέτοιο θερμομέτρο με προεξέχουσα την κλίμακά του κατά τη μέτρηση, τότε πρέπει να γίνει η επονομαζόμενη διόρθωση κλίμακας (σχήμα 34). Ο τύπος για υγρό μέτρησης τον υδράργυρο (14), γράφεται:

$$t = t_a + 0.00016K^{-1}n(t_a - t_f)$$

t = Πραγματική θερμοκρασία

t_a = Αναγραφόμενη θερμοκρασία

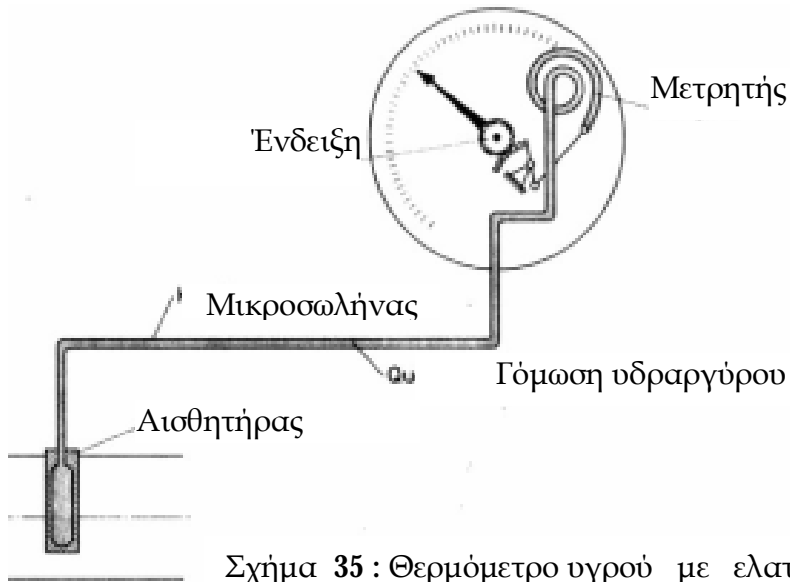
$0,00016 K^{-1}$ = Συντελεστής διαστολής του υδραργύρου και της υάλου. Εδώ λαμβάνεται υπ' όψιν, ότι η διαστολή της υάλου δρα αντισταθμιστικά προς αυτήν του υδραργύρου.

n = Μήκος της προεξέχουσας κλίμακας του υδραργύρου, σε βαθμούς.

t_f = Μέση θερμοκρασία διόρθωσης.

ΕΛΑΤΗΡΙΩΤΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ

Στις δύσκολες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, τα υάλινα θερμομέτρα δεν είναι κατάλληλα εξ' αιτίας της ευθραυστότητάς των. Ακόμη δεν παρέχουν τη δυνατότητα τηλεμετάδοσης της μέτρησης. Αυτά τα μειονεκτήματα δεν εμφανίζονται στα **ελατηριωτά θερμομέτρα υγρού**, που είναι επίσης απλά στην κατασκευή και τον χειρισμό τους. Ακολουθεί η περιγραφή ενός τέτοιου θερμομέτρου, με βάση το σχήμα 35.



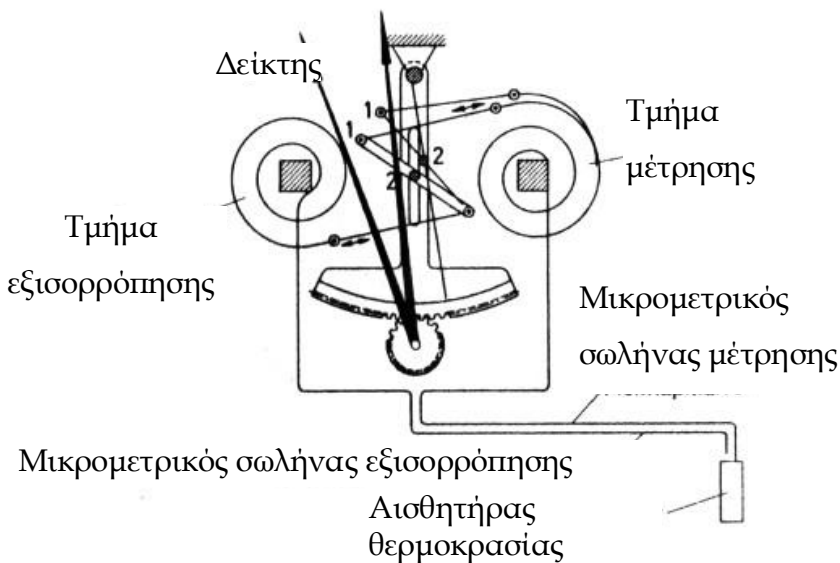
Το ελατηριωτό θερμόμετρο υγρού, αποτελείται από τον θερμοαισθητήρα, έναν τριχοειδή σωλήνα από χάλυβα, το ελαστικό σκέλος μέτρησης και το μηχανισμό ένδειξης. Ως υγρό πλήρωσης χρησιμοποιείται συνήθως υδράργυρος, υπό πίεση από **100** έως **150 bar**. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του θερμοαισθητήρα, διαστέλλεται ο υδράργυρος και παραμορφώνει το ελαστικό σκέλος μέτρησης έτσι, ώστε να προκύπτει μια μεταβολή της ένδειξης. Το ελαστικό σκέλος μέτρησης - ένας σωλήνας με πεπλατυσμένη διατομή που έχει περιτυλιχθεί σε μορφή σπείρας - επιμηκώνεται κατά την παραμόρφωση λόγω της αυξημένης εσωτερικής πίεσης, και συγχρόνως κινεί τον δείκτη μέσω ενός μηχανισμού μοχλών και γραναζιών. Η βαθμονόμηση της κλίμακας είναι σχεδόν γραμμική. Η περιοχή μέτρησης εκτείνεται από **-35 °C** μέχρι **600 °C**. Αισθητήρας, τριχοειδής σωλήνας και ελαστικό σκέλος μέτρησης, σχηματίζουν μια ενότητα, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή μεταγενέστερα μια αλλαγή στο μήκος του αγωγού. Ο τριχοειδής σωλήνας περιβάλλεται συνήθως, για την προστασία του, από ένα μεταλλικό πλέγμα. Αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος οδηγεί σε εσφαλμένες μετρήσεις, επειδή τότε ο υδράργυρος διαστέλλεται επιπρόσθετα μέσα στον τριχοειδή σωλήνα. Με τον ίδιο τρόπο οδηγεί σε εσφαλμένη ένδειξη μια υψομετρική διαφορά μεταξύ αισθητήρα και σκέλους μέτρησης, σαν συνέπεια της στατικής πίεσης που προκύπτει. Η επίδραση της θερμότητας στον τριχοειδή σωλήνα, αντισταθμίζεται μ' έναν δεύτερο τριχοειδή σωλήνα χωρίς αισθητήρα (σχήμα 36). Αυτός ο δεύτερος τριχοειδής σωλήνας είναι επίσης συνδεδεμένος με ένα σκέλος μέτρησης (σκέλος αντιστάθμισης). Και τα δύο αυτά σκέλη έχουν διαταχθεί έτσι ώστε η διαφορά στην κίνησή των να δείχνεται σαν θερμοκρασία. Για να αποφευχθούν σφάλματα μέτρησης από την πρόσθετη στατική πίεση, οι τριχοειδείς σωλήνες τοποθετούνται σε οριζόντια θέση. Όπου αυτό δεν είναι δυνατόν, θα πρέπει η υψομετρική διαφορά να ληφθεί υπ' όψιν στη βαθμονόμηση της ένδειξης.

Εξισορρόπηση θερμοκρασίας:

Τα τμήματα μέτρησης και εξισορρόπησης μετακινούνται κατά την ίδια απόσταση. Ο δείκτης δεν αλλάζει θέση.

Μέτρηση θερμοκρασίας:

Το τμήμα εξισορρόπησης παραμένει ακίνητο στην αρχική θέση του. Το τμήμα μέτρησης μετακινείται (κόκκινο). Ο δείκτης στρέφεται.



Σχήμα 36 :Εξισορρόπηση θερμοκρασίας στο θερμόμετρο ελατηρίου

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Ένα υάλινο θερμόμετρο υδραργύρου δείχνει θερμοκρασία καυσαερίων $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Επειδή το υδραργυρικό στέλεχος προεξέχει του απαγωγού των καυσαερίων, πρέπει να γίνει διόρθωση της υδραργυρικής ένδειξης. Η θερμοκρασία του θερμομέτρου διόρθωσης ανέρχεται σε $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η υδραργυρική κλίμακα προεξέχει κατά $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ποια είναι η πραγματική θερμοκρασία των καυσαερίων;

ΛΥΣΗ

Η πραγματική θερμοκρασία υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$t = t_a + 0.00016\text{K}^{-1}n(t_a - t_f)$$

$$t = 350\text{ }^{\circ}\text{C} + 0,00016\text{ K}^{-1} 150\text{K} \times (350 - 60)\text{ K}$$

$$t = 350\text{ }^{\circ}\text{C} + 6,96\text{ K} = 357\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Η πραγματική θερμοκρασία ανέρχεται στους $357\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ΠΙΕΣΗ

Η πίεση είναι το πηλίκο μιας κάθετης ασκούμενης δύναμης σε μια επιφάνεια προς την επιφάνεια αυτή. Το σύμβολό της είναι το γράμμα **p**.

$$p = \frac{F}{A} \quad (15)$$

p = Πίεση

F = Δύναμη κάθετη στην επιφάνεια

A = Επιφάνεια

Μονάδες **bar**, **N/m²**, **Pa**

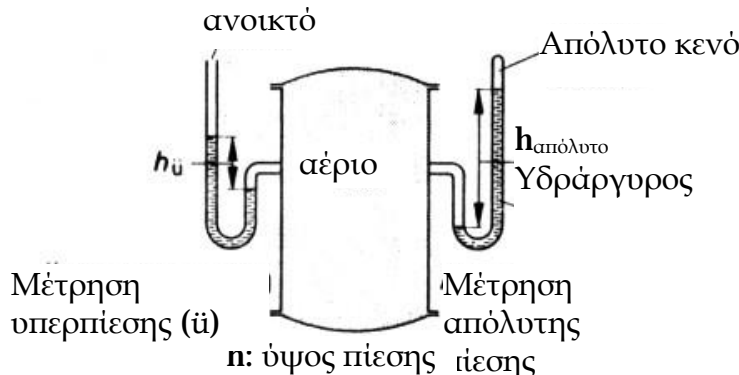
Υπάρχουν και οι μονάδες του ύψους πύεσεως:

Χιλιοστά στήλης ύδατος,	mm WS
Χιλιοστά στήλης υδραργύρου,	mm QS
Χιλιοστά στήλης υδραργύρου, αναγόμενα στους 0 °C	Torr

Μεταξύ όλων αυτών των μονάδων υφίστανται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10200 \text{ mm WS} = 750 \text{ Torr}$$



Σχήμα 37: Απόλυτη πίεση

Στις μετρήσεις πίεσης πρέπει κανείς να διαχωρίσει μεταξύ **απόλυτης πίεσης**, **υπερπίεσης** και **υποπίεσης**. Σε αυτές τις τρεις έννοιες ανάγονται όλες οι διαφορετικές δυνατότητες της μέτρησης της πίεσης. Στο σχήμα 37 αναπαριστώνται διαδοχικά η μέτρηση της απόλυτης πίεσης και της υπερπίεσης. Ενώ για την μέτρηση της υπερπίεσης αρκεί ένας απλός σωλήνας σχήματος U, για τη μέτρηση της απόλυτης πίεσης απαιτείται ένας σωλήνας κενού με κλειστό άκρο. Η προσπάθεια που απαιτείται για τη μέτρηση της απόλυτης πίεσης είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της υπερπίεσης ή υποπίεσης. Γι' αυτό χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος μέτρησης της υπερπίεσης ή υποπίεσης. Για τα τρία μεγέθη **απόλυτης πίεσης**, **υπερπίεσης** και **υποπίεσης** ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$p = p_b + p_0 \quad (16)$$

και

$$p = p_b - p_u \quad (17)$$

p = Απόλυτη πίεση

p_b = Βαρομετρική πίεση

p_δ = Υπερπίεση

p_u = Υποπίεση

Η μέτρηση της πίεσης είναι μια από τις σημαντικότερες εργασίες του κατασκευαστή κινητήρων που δραστηριοποιείται στη δοκιμή και την ανάπτυξη, και τούτο διότι δίνει πληροφορίες για πολλές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του κινητήρα. Παράλληλα με απλές μετρήσεις πίεσης με συνήθη μανόμετρα του εμπορίου, έχουμε και περίπλοκες μεθόδους μέτρησης προσαρμοσμένες στην εκάστοτε περίπτωση με ηλεκτρικό παλμογράφο, του οποίου τα σήματα, με τη βοήθεια ενός ενισχυτή, εμφανίζονται στην οθόνη του. Για παράδειγμα, πίεση του λιπαντικού και του ψυκτικού μέσου, πιέσεις στους αγωγούς αναρρόφησης και εξάτμισης, πιέσεις στο καρμπυρατέρ, πιέσεις στο σύστημα ψεκασμού (αντλία ψεκασμού, αγωγός, βαλβίδα ψεκασμού), διάγραμμα πιέσεως στον κύλινδρο κλπ. Όσο πολύπλευρα εμφανίζονται τα προβλήματα μέτρησης, τόσο πολύμορφες εμφανίζονται και οι μέθοδοι μέτρησης. Από αυτό το πλήθος, θα εξετασθούν μερικές σημαντικές μέθοδοι.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Σε ένα μανόμετρο διαβάζουμε μια υπερπίεση **15 bar**. Το βαρόμετρο δείχνει **720 Torr**. Ποια είναι η απόλυτη πίεση σε **bar** και σε **Torr**;

ΛΥΣΗ

Για τη λύση του προβλήματος εφαρμόζουμε την εξίσωση:

$$p = p_b + p_\delta$$

$$p = 720 \text{ Torr} + 15 \text{ bar}$$

Για τον υπολογισμό πρέπει να επιλέξουμε ή τη μονάδα **Torr** ή τη μονάδα **bar**.

Μεταξύ αυτών των μονάδων υφίσταται η σχέση:

$$1 \text{ bar} = 750 \text{ Torr}$$

$$p = \frac{720 \text{ Torr}}{750 \text{ Torr/bar}} + 15 \text{ bar} = 15,96 \text{ bar}$$

$$p = 15,96 \text{ bar} \cdot 750 \frac{\text{Torr}}{\text{bar}} = 11970 \text{ Torr}$$

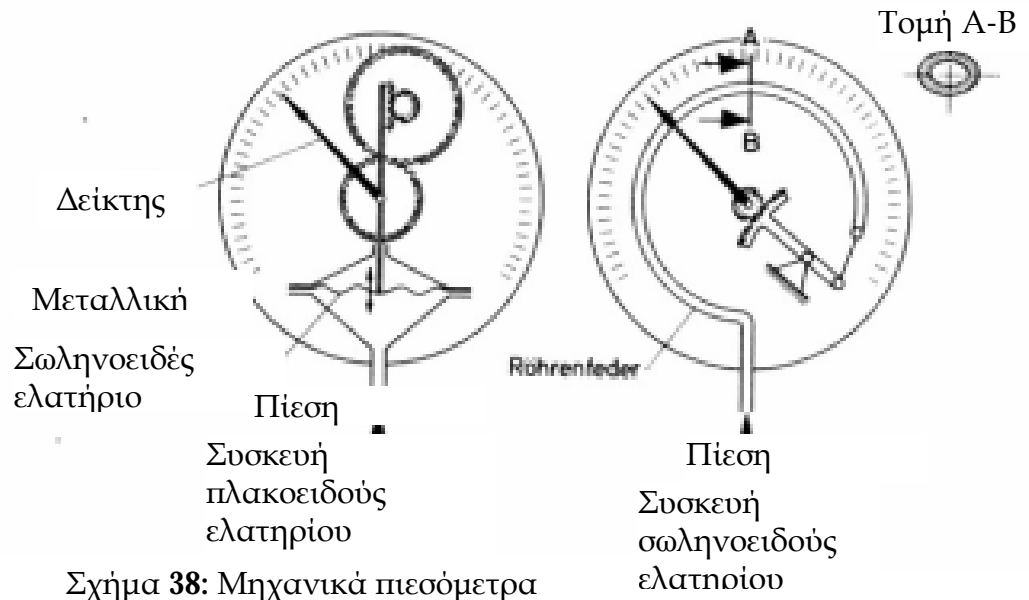
Η απόλυτη πίεση ανέρχεται σε **15,96 bar** ή **11970 Torr**.

1.7. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΙΕΣΟΜΕΤΡΑ

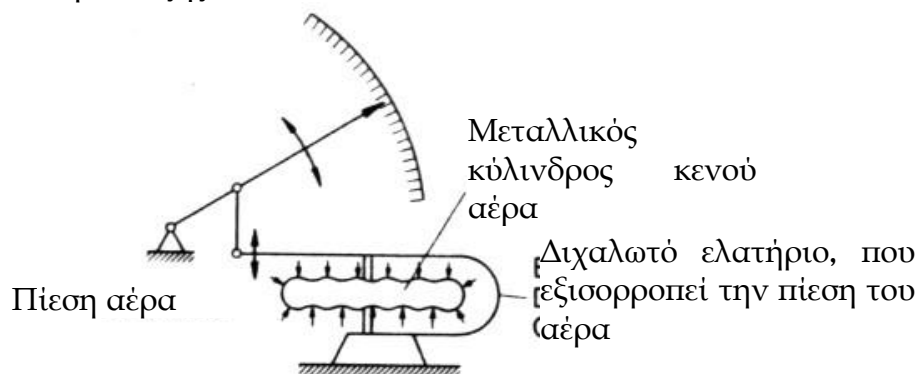
Τα μηχανικά πιεσόμετρα χρησιμοποιούνται σε απλές εργασίες, όπως η μέτρηση της πίεσης του λιπαντικού μέσου κλπ. Στο σχήμα **38**, παρουσιάζονται σε αντιπαράθεση το όργανο με **πλακοειδές ελατήριο** και το όργανο με **σωληνοειδές ελατήριο**. Και τα δύο όργανα δείχνουν τόσο την υπερπίεση όσο και την υποπίεση. Επί της μιας πλευράς των οργάνων

ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση, έτσι ώστε τα όργανα αυτά να μετρούν μόνο τη διαφορά πίεσης.

Στο όργανο με πλακοειδές ελατήριο, η πίεση που θα μετρηθεί επιδρά επάνω σε μια μεταλλική πλάκα και την κυρτώνει προς τα επάνω. Από αυτή την κύρτωση, ένα σύστημα μοχλών και γραναζιών κινεί το δείκτη του οργάνου. Στην περιοχή της υπερπίεσης, εφαρμόζονται αυτά τα όργανα για πιέσεις μέχρι **30 bar**.



Το όργανο με σωληνοειδές ελατήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερες εμφανιζόμενες πιέσεις. Το σκέλος μέτρησης είναι ένας σωλήνας επίπεδης εγκάρσιας διατομής, που είναι κυρτωμένος αντίθετα από το κλειστό του άκρο. Η εσωτερική πίεση παραμορφώνει την επίπεδη διατομή, έτσι ώστε αυτή να πλησιάζει την κυκλική μορφή. Σαν συνέπεια αυτού, η κύρτωση υποχωρεί, ο σωλήνας εκτείνεται και μέσω μηχανισμού μοχλών και γραναζιών κινεί τον δείκτη ένδειξης.

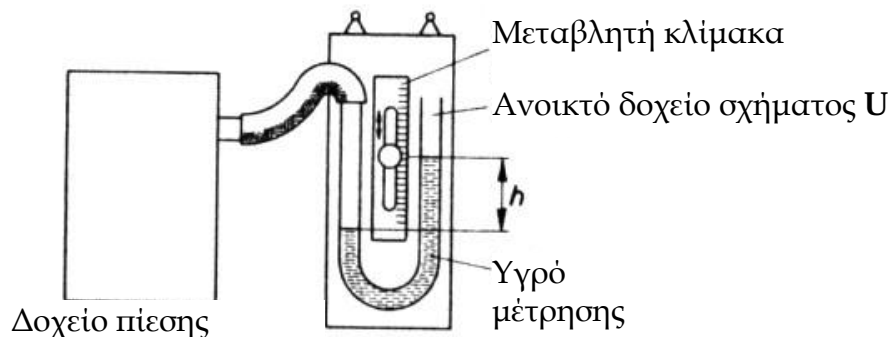


Στα μηχανικά πιεσόμετρα ανήκει και το βαρόμετρο κυλίνδρου που φαίνεται στο σχήμα 39. Αυτό το βαρόμετρο χρησιμεύει στη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η ατμοσφαιρική πίεση συμπιέζει τον μεταλλικό κώνο κενού αέρα. Εδώ ένα διχαλωτό ελατήριο εξισορροπεί τη δύναμη

που προκύπτει από την πίεση του αέρα. Η κίνηση της επιφάνειας του κυλίνδρου μεταφέρεται σε ένα δείκτη, που δείχνει το ύψος της ατμοσφαιρικής πίεσης.

1.8. ΠΙΕΣΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ

Τα **πιεσόμετρα υγρού** είναι απλά στην κατασκευή και δείχνουν την πίεση άμεσα και χωρίς σφάλματα λόγω τριβών. Χρησιμοποιούνται όμως μόνο μέχρι την πίεση των **3 bar**, επειδή αλλιώς θα ήταν ογκώδη και δύσχρηστα. Η ουσιαστική περιοχή εφαρμογής των πιεσόμετρων υγρού είναι για μικρές έως ελάχιστες πιέσεις. Ο τρόπος λειτουργίας τους προκύπτει από το σχήμα **40**. Ένας υάλινος σωλήνας σχήματος **U**, συνδέεται με εύκαμπτο σωλήνα με το σημείο μέτρησης. Ο υάλινος σωλήνας είναι γεμάτος με το υγρό μέτρησης. Συνήθως χρησιμοποιείται υδράργυρος ή νερό. Στο ένα σκέλος του σωλήνα σε σχήμα **U** ασκείται η πίεση του σημείου μέτρησης επί της επιφάνειας του υγρού και στο άλλο σκέλος ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση. Η διαφορά πίεσης ανεβάζει το υγρό στο σκέλος της ατμοσφαιρικής πίεσης, εφ' όσον η μετρούμενη πίεση είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.



Σχήμα 40: Πιεσόμετρο υγρού

Αντίστροφα, η στήλη του υγρού ανέρχεται στο σκέλος που είναι συνδεδεμένο με το σημείο μέτρησης, εάν εκεί η πίεση είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Η διαφορά ύψους των επιφανειών του υγρού είναι ένα μέτρο για υπερπίεση ή υποπίεση, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση

$$p = Qgh \quad (18)$$

p = υπερπίεση ή υποπίεση

Q = πυκνότητα του υγρού μέτρησης

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

h = διαφορά ύψους των επιφανειών του υγρού.

Επειδή η πυκνότητα ενός υγρού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, πρέπει σε ακριβείς μετρήσεις να χρησιμοποιηθεί η πραγματική πυκνότητα. Συνήθως όμως αρκεί αν υπολογίζεις κανείς με τις ακόλουθες τιμές:

Νερό: $Q = 1,0 \text{ g/cm}^3$

Υδράργυρος: $Q = 13,6 \text{ g/cm}^3$

Μπορεί κανείς να αυξήσει με δυο τρόπους την **ευαισθησία** των οργάνων μέτρησης:

Με χρήση υγρών χαμηλής πυκνότητας

Με κλίση των σκελών μέτρησης.

Αν λοιπόν χρησιμοποιείται ήδη νερό ως υγρό μέτρησης, τότε η ευαισθησία του οργάνου μπορεί ελάχιστα να αυξηθεί επειδή οι πυκνότητες άλλων υγρών δεν είναι πολύ μικρότερες από **1,0 gr/cm³**. Αν τώρα κάνουμε χρήση της δεύτερης δυνατότητας, τότε χρησιμοποιούμε ένα πιεσόμετρο με κεκλιμένο σωλήνα, όπως είναι σχεδιασμένο στο σχήμα **41**. Σ' αυτό το όργανο η πίεση υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$p = Q \cdot g \cdot l \cdot \sin a \quad (19)$$

p = υπερπίεση ή υποπίεση

l = μήκος της στήλης του υγρού

a = γωνία κλίσεως του σκέλους μέτρησης

Οι σωλήνες όλων των οργάνων μέτρησης με υγρά πρέπει να έχουν τέτοιου μεγέθους εσωτερική διάμετρο, ώστε η τριχοειδής δράση να μην επηρεάζει αισθητά το ύψος της επιφάνειας των υγρών. Γι' αυτό η ελάχιστη διατομή επί υδραργύρου πρέπει να ανέρχεται σε **10 mm** και επί νερού σε **15 mm**.

Στο σχήμα **42** αναπαρίσταται ένα βαρομετρικό πιεσόμετρο για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ονομάζεται και πιεσόμετρο δοχείου, επειδή το δεύτερο σκέλος του σωλήνα έχει αντικατασταθεί από ένα δοχείο με μεγάλη διάμετρο. Η κλίμακα προκειμένου να έχουμε ακριβείς μετρήσεις ρυθμίζεται με την επιφάνεια του υγρού στο δοχείο. Εκτός αυτού πρέπει η ανάγνωση της πίεσης να διορθωθεί, εφ' όσον η θερμοκρασία αποκλίνει από τους **0 °C**, που είναι και η συνηθισμένη περίπτωση. Σε αυτή τη διόρθωση του βαρομέτρου, λαμβάνεται υπ' όψιν ότι όχι μόνο ο υδράργυρος αλλά και η κλίμακα διαστέλλεται κατά την αύξηση της θερμοκρασίας. Αν ο συντελεστής διαστολής του υδραργύρου ήταν ίδιος με τον συντελεστή γραμμικής διαστολής της κλίμακας, τότε δε θα υπήρχε ανάγκη διόρθωσης. Ο τύπος διόρθωσης για την προσαρμογή του ύψους της στήλης του υδραργύρου σε θερμοκρασία **0 °C**, είναι ο ακόλουθος:

$$B_0 = B \left[1 - t(a_{Hg} - a_{SK}) \right] \quad (20)$$

B_0 = διορθωμένη ένδειξη βαρομέτρου

B = αναγνωσθέν ύψος της στήλης υδραργύρου

t = θερμοκρασία βαρομέτρου σε °C

a_{Hg} = συντελεστής διαστολής του υδραργύρου (**182 · 10⁻⁶ 1/K**)

a_{SK} = γραμμικός συντελεστής διαστολής της κλίμακας

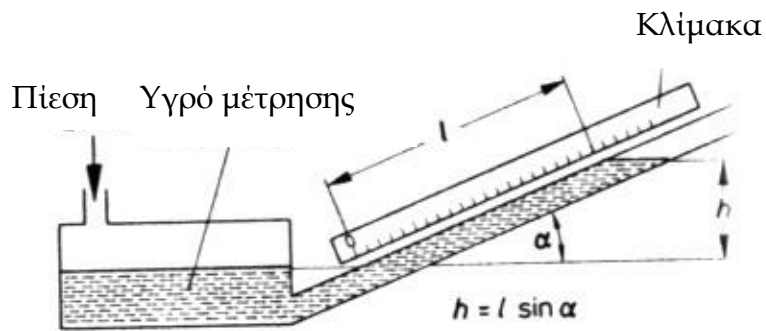
a_{SKG} = **8 · 10⁻⁶ 1/K** για την ύαλο

a_{SKM} = **19 · 10⁻⁶ 1/K** για τον ορείχαλκο

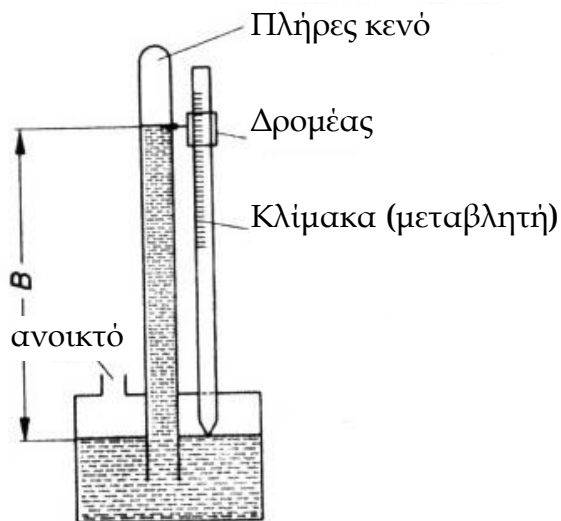
Παρατήρηση: Στον προηγούμενο τύπο έχει υποτεθεί, ότι η κλίμακα έχει το ακριβές μήκος της στους **0 °C** και όχι (όπως ουσιαστικά συνηθίζεται) στους **20 °C** που είναι η θερμοκρασία μέτρησης.

Στα μέχρι τώρα εξετασθέντα πιεσόμετρα βολβού πρέπει η υψομετρική διαφορά των επιφανειών των υγρών να προσδιορισθεί με μέτρηση του μήκους και η πίεση να υπολογισθεί σύμφωνα με τους τύπους **(18)** ή **(20)**.

Παράλληλα υπάρχουν πιεσόμετρα βολβού με απ' ευθείας ένδειξη της διαφοράς πίεσεως ή της πίεσεως. Δύο πιεσόμετρα αυτής της κατηγορίας περιγράφονται παρακάτω.



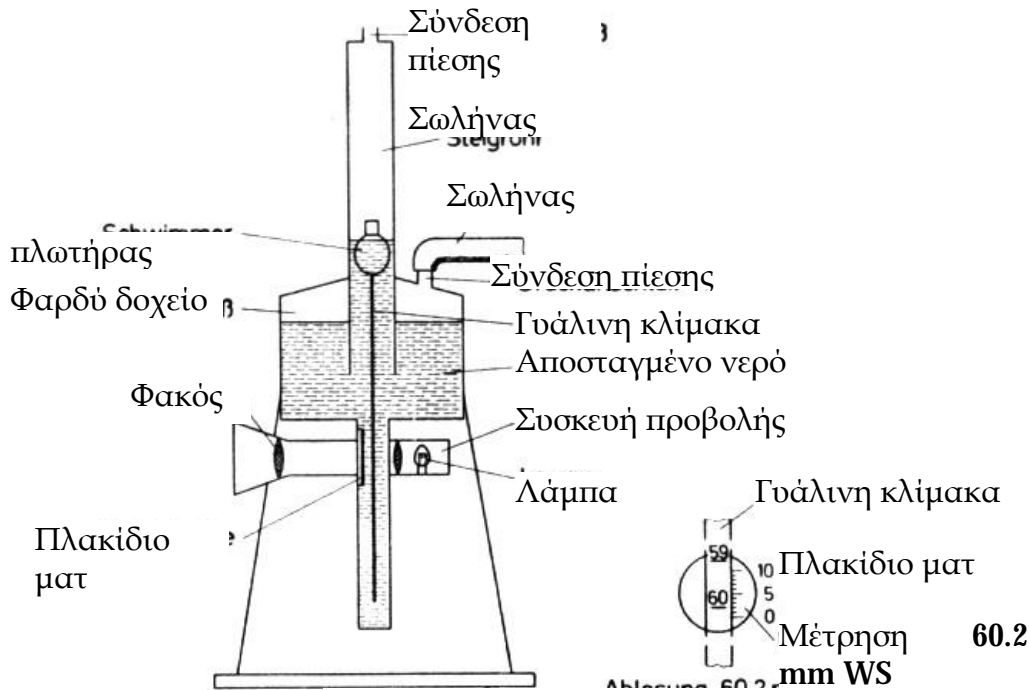
Σχήμα 41: Πιεσόμετρο κεκλιμένου σωλήνα



Σχήμα 42: Βαρόμετρο υγρού

ΜΙΚΡΟΜΑΝΟΜΕΤΡΟ BETZ

Αυτό το όργανο χρησιμοποιείται εκεί όπου πρέπει να μετρηθούν εύκολα χαμηλές πιέσεις με μεγάλη ακρίβεια. Η περιοχή μέτρησης εκτείνεται μέχρι **400 mm WS** με ακρίβεια **0,1 mm WS**. Με το όργανο μπορούν να μετρηθούν υπερπίεση, υποπίεση και διαφορά πίεσης. Συχνά το μικρομανόμετρο **Betz** χρησιμοποιείται για μετρήσεις συνεχούς ροής με ακροφύσια και διαφράγματα.



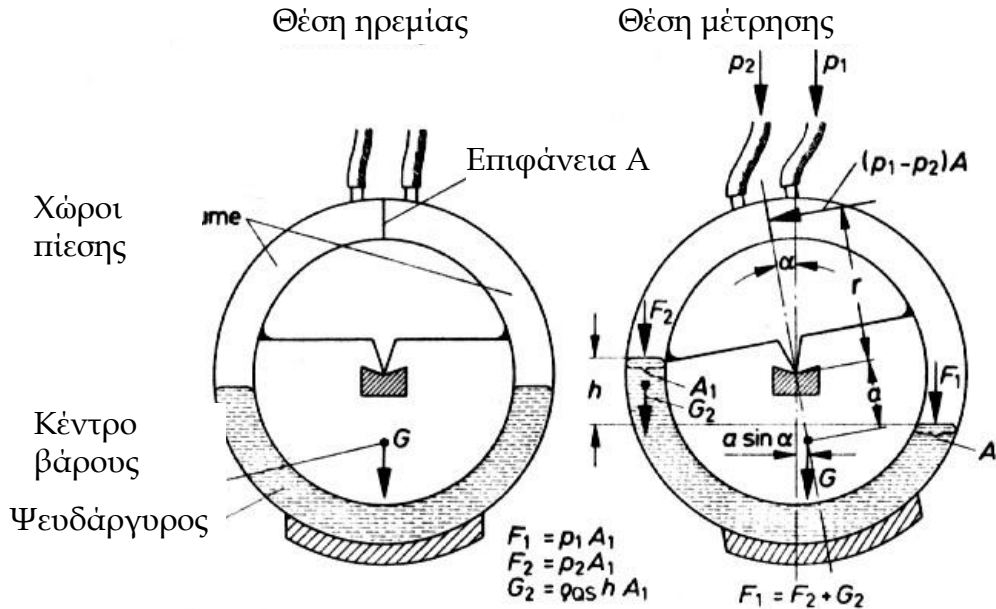
Σχήμα 43: Μικρομανόμετρο **Betz**

Στο σχήμα **43** παρουσιάζεται το μικρομανόμετρο **Betz**. Στο δεύτερο δοχείο εισέρχεται στο κέντρο του ο σωλήνας ανύψωσης. Οι πιέσεις που πρέπει να μετρηθούν συνδέονται με το δοχείο ή με το δοχείο και με τον σωλήνα ανύψωσης. Στην περίπτωση υπερπίεσης στο δοχείο, η επιφάνεια του υγρού ανέρχεται τόσο μέσα στο σωλήνα ανύψωσης μέχρι το ύψος πίεσης να εξισωθεί με την υπερπίεση. Συγχρόνως ανυψώνεται και ένας πλωτήρας με συνδεδεμένη μαζί του μια υάλινη κλίμακα. Αυτή η κλίμακα κινείται μπροστά από μια συσκευή προβολής, η οποία προβάλλει με $\times 20$ μεγέθυνση ένα τμήμα της κλίμακας επάνω σε μια υάλινη οθόνη. Δύο γειτονικές γραμμές υποδιαίρεσης έχουν επάνω στην κλίμακα μια διαφορά ένδειξης **1 mm WS**. Επάνω στην οθόνη υπάρχει επίσης υποδιαίρεση **0,1 mm WS**. Μ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να μετρηθούν πιέσεις με ακρίβεια **0,1 mm WS**. Ως υγρό μέτρησης χρησιμοποιείται συνήθως αποσταγμένο νερό. Αυτό έχει εκτός από το πλεονέκτημα της μεγάλης ακρίβειας και το ότι γενικά δεν απαιτείται διόρθωση της πυκνότητας ανάλογα με τη θερμοκρασία. Η διάμετρος του σωλήνα είναι τόσο μεγάλη ώστε η τριχοειδής δράση να είναι αμελητέα.

ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΗΣ ΖΥΓΟΣ

Ο δακτυλιοειδής ζυγός δεν ανήκει ουσιαστικά στα πιεσόμετρα βολβού, επειδή σε αυτά το υγρό δεν χρησιμοποιείται άμεσα για τη μέτρηση. Απλώς και μόνο φράζει τους δύο θαλάμους πίεσης μεταξύ των. Το υγρό σ' αυτή του την ιδιότητα ως μέσο φραγής, συνήθως υδράργυρος, καθορίζει συγχρόνως και την περιοχή μέτρησης επειδή σε περίπτωση υπέρβασης του ανωτάτου ορίου θα υπερχείλιζε από τον δακτυλιοειδή σωλήνα. Ο δακτυλιοειδής ζυγός, όπως και το μικρομανόμετρο **Betz**, χρησιμοποιούνται συχνά για μετρήσεις ροής.

Ο δακτυλιοειδής ζυγός (σχήμα 44) αποτελείται από έναν κυκλικά κεκαμμένο σωλήνα, που χάρη στην έδρασή του είναι εύκολα περιστρεφόμενος, και από τον μηχανισμό ένδειξης της τιμής μέτρησης.



Σχήμα 44: Δακτυλιοειδής ζυγός

Το κέντρο βάρους του σωλήνα με το υπόλοιπο φορτίο βρίσκεται κάτω από το σημείο περιστροφής, έτσι ώστε σε μεταβολή της θέσης ηρεμίας να προκαλείται μια αντίρροπη τάση. Ο σωλήνας διαιρείται μέσω ενός σταθερού τοιχώματος και του υδραργύρου, σε δύο διαμερίσματα στα οποία εφαρμόζονται οι δύο πιέσεις. Η διαφορά πίεσης ασκεί επί του σταθερού τοιχώματος μία δύναμη, η οποία περιστρέφει το δακτυλιοειδή ζυγό τόσο πέρα από το μηδενικό σημείο, μέχρις ότου αποκατασταθεί η ισορροπία μεταξύ των δύο αντίρροπων τάσεων. Εδώ ισχύει ο τύπος:

$$(\rho_1 - \rho_2)A \cdot r = G \cdot a \cdot \sin \alpha$$

Εξ' αυτού προκύπτει ο τύπος για τη διαφορά πίεσης (21):

$$\rho_1 - \rho_2 = \frac{Ga}{Ar} \sin \alpha \quad (21)$$

$\rho_1 - \rho_2$ = διαφορά πιέσεως

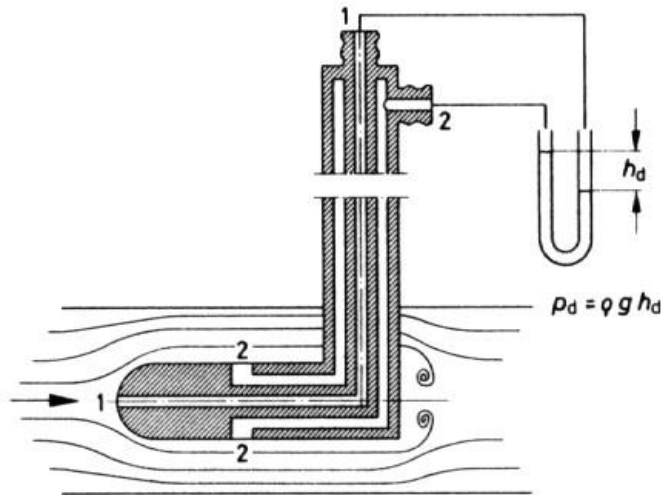
$\frac{Ga}{Ar}$ = σταθερά οργάνου

$\sin \alpha$ = ημίτονο γωνίας μετατόπισης

Η περιστροφική κίνηση του δακτυλιωτού μανομέτρου, μεταδίδεται σ' ένα δείκτη. Στην κλίμακα δίδεται απ' ευθείας η διαφορά πίεσης. Από την ποσότητα του υδραργύρου δεν προκύπτει επιπλέον ροπή, επειδή πρακτικά μετακινείται εντός του σωλήνα χωρίς τριβές και η συνισταμένη των δύο πιέσεων που ασκούνται στον υδράργυρο και το βάρος του υδραργύρου, περνάει από το κέντρο βάρους του οργάνου.

ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΜΟΥ

Το μανόμετρο στραγγαλισμού (σχήμα 45) αναπτύχθηκε από τον καθηγητή **Prandtl** με βάση το αντίστοιχο μανόμετρο **Pilot**. Δεν είναι πιεσόμετρο υγρού, θα εξετασθεί όμως σ' αυτή την κατηγορία επειδή χρησιμεύει ως αισθητήρας σε πιεσόμετρα υγρού, όπως το μικρομανόμετρο **Betz** και άλλα μικρομανόμετρα.



Σχήμα 45: Μανόμετρο στοανναλισμού

Το πεδίο εφαρμογής του μανομέτρου στραγγαλισμού εκτείνεται στη μέτρηση πιέσεων, ταχυτήτων και ποσοτήτων ροής, σε υγρά και αέρια.

Ο σωλήνας που είναι κεκαμένος σε μορφή γάντζου, κατασκευάζεται συνήθως από ορείχαλκο. Διαθέτει δύο σημεία σύνδεσης για την πίεση. Στη θέση **1** μετράται η **συνολική πίεση** και στη θέση **2** η **στατική πίεση**. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο πιέσεων είναι ίση με την **πίεση στραγγαλισμού** ή **δυναμική πίεση**.

$$p_d = p_g - p_s \quad (22)$$

p_d = δυναμική πίεση

p_g = συνολική πίεση

p_s = στατική πίεση

Μπορεί κανείς να συνδέσει το μανόμετρο στραγγαλισμού σ' ένα πιεσόμετρο που μετράει τη διαφορά πίεσης, και έτσι να λαμβάνεται ως ένδειξη απ' ευθείας η διαφορά πίεσης. Με τον ακόλουθο τύπο (23) μπορεί κανείς στη συνέχεια να υπολογίσει εύκολα την ταχύτητα ροής.

$$c = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} \quad (23)$$

c = ταχύτητα ροής

p_d = δυναμική πίεση

ρ = πυκνότητα του μέσου

Η εφαρμογή αυτού του τύπου στα αέρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τη μέτρηση της ροής $c \leq 100 \text{ m/s}$ επειδή ουσιαστικά ισχύει μόνο για σταθερή πυκνότητα.

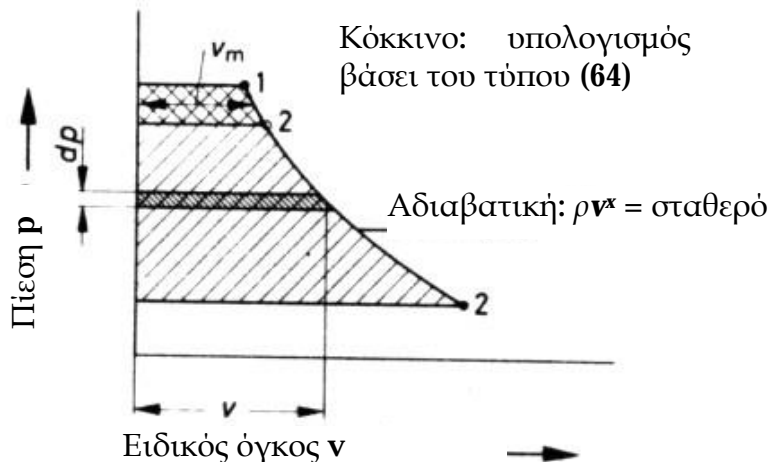
Η πυκνότητα υπολογίζεται με τη βοήθεια της στατικής πίεσης και της θερμοκρασίας των κινουμένων αερίων.

$$\rho = \frac{PS}{RT} \quad (24)$$

- ρ = Πυκνότητα
 p_s = στατική πίεση
 R = ειδική σταθερά αερίου
 T = απόλυτη θερμοκρασία στο σημείο 2

Η περιοχή λειτουργίας του μανομέτρου αυτού, ορίζεται από ευαισθησία του προαναφερθέντος συνδεδεμένου πιεσόμετρου. Αν υποθέσουμε, ότι μπορεί να μετρηθεί ύψος στήλης ύδατος μέχρι και **0,01 mm**, τότε η μικρότερη ταχύτητα αέρος που μπορεί να μετρηθεί ανέρχεται σε **0,4 m/s**.

Προς τα πάνω, το όριο μέτρησης το καθορίζει η ταχύτητα του ήχου εξ' αιτίας της παραμόρφωσης της μορφής της ροής. Αλλά ήδη σε ταχύτητες πάνω από **100 m/s** η ακρίβεια του προηγούμενου τύπου δεν επαρκεί πλέον. Σε τόσο μεγάλες ταχύτητες θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη η συμπίεσότητα, δηλαδή η μεταβολή της πυκνότητας του αερίου.



Σχήμα 46: Αδιαβατική μεταβολή κατάστασης στο διάγραμμα p, v

Για τη δημιουργία του τύπου, για την **ταχύτητα αερίου σε σχέση με τη μεταβολή της πυκνότητας**, ξεκινάει κανείς από την αρχή της ενέργειας σε μια οριζόντια και χωρίς τριβές κίνησης αερίου, όπου δεν γίνεται ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Αυτό σημαίνει, ότι οι αλλαγές κατάστασης σε αυτή τη ροή γίνονται αδιαβατικά.

Στο σχήμα 46 αναπαρίσταται μια αδιαβατική μεταβολή κατάστασης σε ένα διάγραμμα p, v . Η εξίσωση της ενέργειας έχει ως ακολούθως:

$$\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) = h_1 - h_2$$

- c = ταχύτητα αερίου
 h = ενθαλπία ανά **Kg** αερίου

Η διαφορά ενθαλπίας είναι ίση με τη διαγραμματισμένη επιφάνεια στο διάγραμμα p, v . Κατά συνέπεια μπορεί κανείς να γράψει την εξίσωση (25):

$$\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) = - \int_{p_1}^{p_2} v dp \quad (25)$$

v = ειδικός όγκος

dp = μεταβολή πίεσης

Από αυτή την εξίσωση παράγεται ο τύπος (23). Στο σημείο στραγγαλισμού του οργάνου η ταχύτητα είναι $c_1 = 0$. Επειδή στο p, v - διάγραμμα τα σημεία 1 και 2 βρίσκονται κοντά, μπορεί το διαφορικό να διατυπωθεί

$$- \int_{p_1}^{p_2} v dp = -(p_2 - p_1) V_m$$

Αντικαθιστώντας αυτή τη σχέση στον τύπο (25) και γράφοντας για $V_m = 1 / \rho$ και $c_2 = c$ και $p_1 - p_2 = p_a$

καταλήγουμε στον τύπο (23), πράγμα που θέλαμε να αποδείξουμε.

Για τη δημιουργία του ακριβούς τύπου, δεν πρέπει να αγνοηθεί η συμπίεστικότητα του αερίου. Το ολοκλήρωμα θα πρέπει τότε να υπολογισθεί με βάση την αδιαβατική μεταβολή κατάστασης. Η αδιαβατική μεταβολή κατάστασης περιγράφεται από την εξίσωση (26):

$$p_1 V_1^k = p V^k \quad (26)$$

p = πίεση

v = ειδικός όγκος

k = αδιαβατικός εκθέτης, $k = 1,4$ για τα διατομικά αέρια.

Με την εξίσωση (26) προκύπτει για το ολοκλήρωμα:

$$\begin{aligned} - \int_{p_1}^{p_2} v dp &= -V_1 p_1^{1/k} \int_{p_1}^{p_2} p^{-1/k} dp \\ - \int_{p_1}^{p_2} v dp &= -V_1 p_1^{1/k} \frac{p_2^{1-1/k} - p_1^{1-1/k}}{1-1/k} \\ - \int_{p_1}^{p_2} v dp &= \frac{k}{k-1} V_1 p_1^{1/k} p_1^{(k-1)/k} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right] \end{aligned}$$

μετατρέποντας αυτή τη σχέση σε τύπο (25) και γράφοντας για $c_2 = c$ και $c_1 = 0$ και $V_1 = 1 / \rho_2$ καταλήγουμε στον τύπο (27):

$$\frac{1}{2} c^2 = \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right] \quad (27)$$

Λύνοντας το ολοκλήρωμα όχι με τη βοήθεια του τύπου (26), αλλά μέσω της εξίσωσης

$$p_2 V_2^k = p V^k$$

προκύπτει ένας περαιτέρω τύπος (28):

$$\frac{1}{2}c^2 = \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\rho_2} \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \quad (28)$$

Ακολούθως λύνει κανείς τον τύπο (27) ως προς p_1 και τον τύπο (28) ως προς p_2 .

$$p_1 = \frac{1}{2}c^2 \frac{k-1}{k} \rho_1 \frac{p_1^{(k-1)/k}}{p_1^{(k-1)/k} - p_2^{(k-1)/k}}$$

και

$$p_2 = \frac{1}{2}c^2 \frac{k-1}{k} \rho_2 \frac{p_2^{(k-1)/k}}{p_1^{(k-1)/k} - p_2^{(k-1)/k}}$$

Τώρα θεωρούμε: $p_d = p_1 - p_2$

$$p_d = \frac{1}{2}c^2 \frac{k-1}{k} \frac{\rho_1 p_1^{(k-1)/k} - \rho_2 p_2^{(k-1)/k}}{p_1^{(k-1)/k} - p_2^{(k-1)/k}}$$

Από την εξίσωση (26) παίρνουμε τον τύπο για την πυκνότητα

$$\rho_1 = \rho_2 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/k}$$

Αυτό μας οδηγεί στη σχέση:

$$p_d = \frac{1}{2}c^2 \frac{k-1}{k} \rho_2 \frac{\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/k} p_1^{(k-1)/k} - p_2^{(k-1)/k}}{p_1^{(k-1)/k} - p_2^{(k-1)/k}}$$

$$p_d = \frac{1}{2}c^2 \frac{k-1}{k} \rho_2 \frac{\frac{p_1}{p_2}}{\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{(k-1)/k} - 1}$$

Ο προηγούμενος τύπος λύνεται ως προς την ταχύτητα c και εφαρμόζεται στην συνήθη σχέση για το μανόμετρο στραγγαλισμού. Με $p_1 = p_g$ και $p_2 = p_s$ και $\rho_2 = \rho$ προκύπτει ο ακριβής τύπος (29) για τον υπολογισμό της ταχύτητας ροής των αερίων.

$$c = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{k}{k-1} \frac{\left(\frac{p_g}{p_s} \right)^{(k-1)/k} - 1}{\frac{p_g}{p_s} - 1}} \quad (29)$$

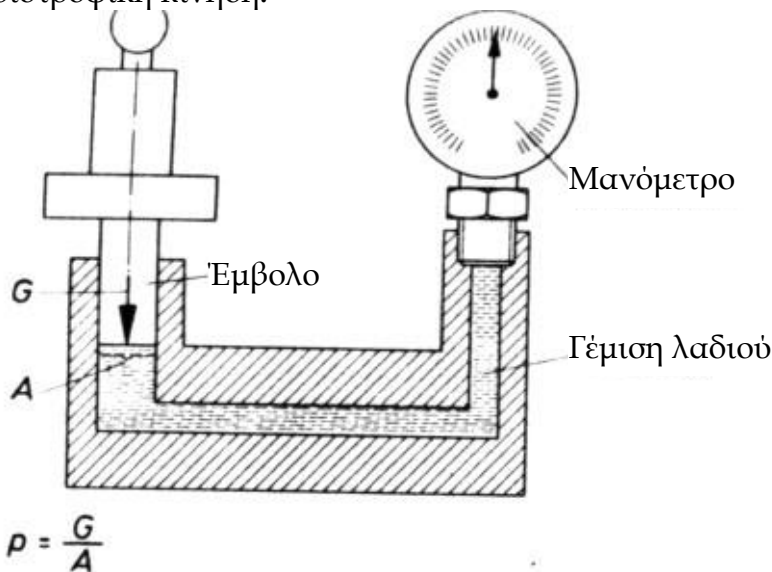
- c = Ταχύτητα αερίου
 p_d = $p_g - p_s$ = δυναμική πίεση, πίεση στραγγαλισμού
 p_g = Συνολική πίεση
 p_s = στατική πίεση

κ = αδιαβατικός εκθέτης
 ρ = πυκνότητα αερίου στην πίεση p_s και την θερμοκρασία του ρέοντος αερίου.

Η τιμή της δεύτερης ρίζας είναι μικρότερη της μονάδος. Γι' αυτό η ταχύτητα που υπολογίστηκε με τον ακριβή τύπο (29) είναι κατά τι μικρότερη από την τιμή που υπολογίστηκε με τον τύπο (23).

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡΩΝ

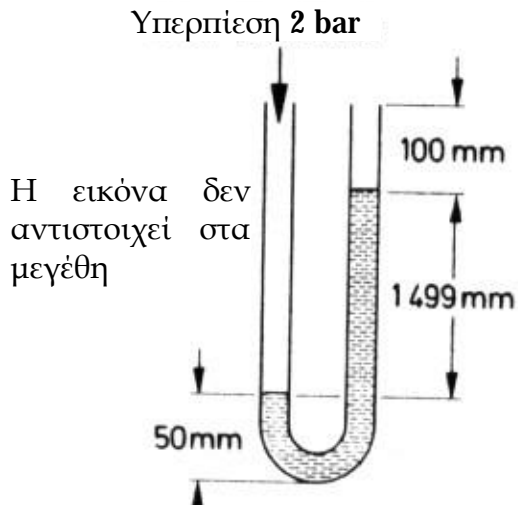
Τα μανόμετρα πρέπει να ρυθμίζονται. Εδώ πρέπει να διαπιστωθεί κατά πόσο η ένδειξη αποκλίνει από την πραγματική τιμή. Μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τον μηχανισμό που φαίνεται στο σχήμα 47. Σ' έναν κύλινδρο γεμάτο με λάδι, τοποθετείται ένα έμβολο με προσθήκη βαρών. Το βάρος του εμβόλου και τα πρόσθετα βάρη παράγουν μια πίεση του λαδιού που δρα, μέσω συνδετικού αγωγού, και επί του ρυθμιζόμενου μανόμετρου. Επειδή το συνολικό βάρος και η επιφάνεια του εμβόλου είναι με ακρίβεια γνωστά, μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια και η πίεση του λαδιού. Για την εξάλειψη των τριβών κατά τη ρύθμιση, προσδίδεται στο έμβολο μια ελαφρά περιστροφική κίνηση.



Σχήμα 47: Διάταξη ρύθμισης

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Πόσο μήκος πρέπει να έχει το σκέλος του σωλήνα σχήματος U στην σχήμα 48, προκειμένου σε πλήρωση με υδράργυρο να μετράται μια υπερπίεση των 2 bar;



Σχήμα 48: Σωλήνας σχήματος U

ΛΥΣΗ

Στο αριστερό σκέλος πρέπει να παραμένει λίγος υδράργυρος όταν στο δεξιό σκέλος ο υδράργυρος να ανυψώνεται συνεπεία της υπερπίεσης. Σ' αντίθετη περίπτωση το αέριο θα διέφευγε από το δοχείο μέσω του σωλήνα U. Το αναγκαίο ύψος υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (18).

$$p = \rho g h$$

Αυτός ο τύπος λύνεται ως προς το ύψος πίεσεως.

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{2 \text{ bar}}{13.6 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = \frac{2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{13.6 \times 10^3 \times 9.81 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1.499 \text{ m}$$

Η διαφορά των επιφανειών του υδραργύρου ανέρχεται σε **1499 mm**. Επιπλέον προστίθενται περίπου **50 mm** ύψος επιφανείας του αριστερού σκέλους του σωλήνα U και **100 mm** ύψος ασφαλείας για αποφυγή υπερχειλίσης του υδραργύρου, έτσι ώστε συνολικά το σκέλος του σωλήνα U χρειάζεται να είναι μήκους **1650 mm**.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

Πόση πρέπει να επιλεγεί η γωνία κλίσεως α σε ένα μικρομανόμετρο, προκειμένου η ευαισθησία του να είναι **10** πλάσια από αυτήν που θα έχει, όταν τα σκέλη είναι κάθετα ($\alpha = 90^\circ$);

ΛΥΣΗ

Ο τύπος (19) είναι η αφετηρία για τη λύση αυτής τη άσκησης.

$$p = \rho g l \sin \alpha$$

και

$$p = \rho gh$$

εξ αυτών προκύπτει:

$$h = l \sin \alpha$$

περαιτέρω ζητείται:

$$\frac{l}{k} = 10$$

οπότε προκύπτει:

$$\sin \alpha = \frac{h}{l} = 0,1$$

$$\alpha = 5,74^\circ$$

Η γωνία κλίσεως του σκέλους μέτρησης ανέρχεται σε 5,74°

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7

Σε θερμοκρασία 30 °C παίρνουμε ένδειξη ύψους πίεσης 700 mm μ' ένα υδραργυρικό βαρόμετρο. Ποια είναι η διορθωμένη ένδειξη του βαρομέτρου, αν η μέτρηση έγινε με ορειχάλκινη κλίμακα;

ΛΥΣΗ

Αυτή η άσκηση λύνεται με τον τύπο (20)

$$B_0 = B[1 - t(a_{Hg} - a_{sk})]$$

$$B_0 = 700 \text{ mm} [1 - 30^\circ\text{C} (182 - 19) 10^{-6} \text{ 1 / K}]$$

$$B_0 = 700 \text{ mm} (1 - 0,00489)$$

$$B_0 = 696,6 \text{ Torr} \cong 0,929 \text{ bar}$$

Η διορθωμένη ένδειξη του βαρομέτρου ανέρχεται σε

$$696,6 \text{ Torr} \cong 0,929 \text{ bar.}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8

Ποια διαφορά ύψους πίεσης δείχνει ένα βαρόμετρο **Betz**, όταν με τη βοήθεια ενός σωλήνα **Prandtl** μετράται ταχύτητα αέρος 0,8 m/s και ποκνότητα αέρος 1,2 kg/m³;

ΛΥΣΗ

Κατ' αρχήν με την εξίσωση (23) υπολογίζεται η **δυναμική πίεση**.

$$c = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}}$$

$$p_d = \frac{\rho}{2} c^2$$

$$p_d = \frac{1,2 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} 0,8^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$p_d = 0,384 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2 \text{ m}^2} = 0,384 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Το αντίστοιχο ύψος πίεσης, δηλαδή η **διαφορά ύψους πίεσης**, προκύπτει από την εξίσωση (18).

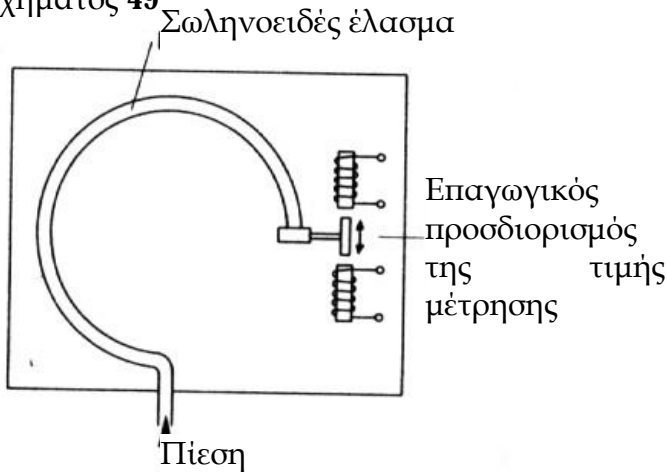
$$h = \frac{Pd}{\rho g}$$

$$h = \frac{0.384 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \Rightarrow h = 0.04 \text{mmWS}$$

Αυτή η διαφορά ύψους πίεσης δεν μπορεί να μετρηθεί πλέον με ακρίβεια από το μανόμετρο **Betz**, αλλά μόνο κατά προσέγγιση.

1.9. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ

Τα μανόμετρα που εξετάστηκαν στα κεφάλαια 3.1 και 3.2, εφαρμόζονται μόνο σε μετρήσεις στατικής πίεσης, δηλαδή σε μετρήσεις όπου η πίεση παραμένει σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτά τα όργανα μπορεί κανείς να τα εφοδιάσει εν μέρει και με ηλεκτρικά εξαρτήματα μετάδοσης της ένδειξης, όπως αυτό το μανόμετρο σωληνών με ελατήριο του σχήματος 49



Σχήμα 49: Μανόμετρο σωληνοειδούς ελάσματος με επαγωγικό δότη

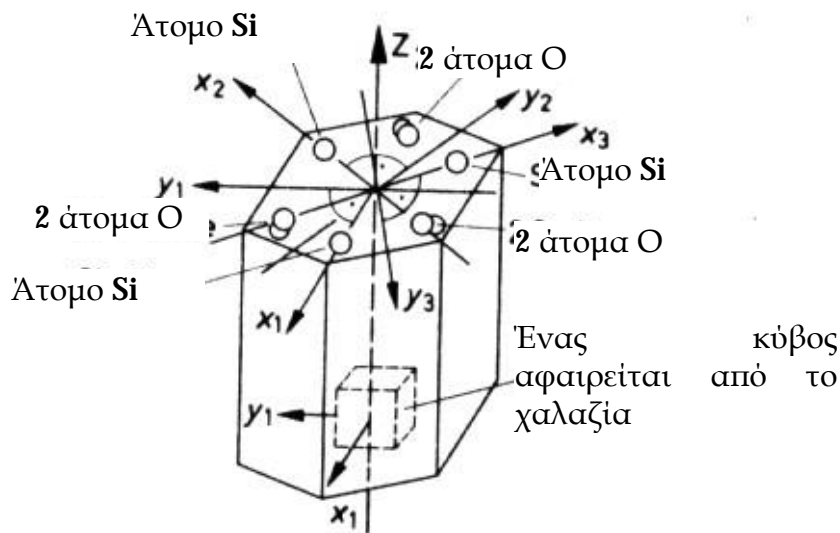
Παρ' όλα αυτά δεν χαρακτηρίζεται ηλεκτρικό μανόμετρο. Με τον όρο ηλεκτρικά μανόμετρα εννοούνται όργανα που λειτουργούν πλήρως ηλεκτρικά, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση δυναμικών φαινομένων πίεσης. Μ' αυτά τα όργανα καταγράφονται π.χ. πιέσεις αερίων ή υγρών που μεταβάλλονται περιοδικά και πολύ γρήγορα, φαινόμενα που παρουσιάζονται στους κυλίνδρους των κινητήρων, σε συστήματα ψεκασμού και αγωγούς αναρρόφησης και απαγωγής καυσαερίων. Επειδή οι πιέσεις παρουσιάζουν σχεδόν κάθετες αυξομειώσεις, θα πρέπει τα όργανα μέτρησης να είναι κατάλληλα για φαινόμενα υψηλής συχνότητας.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται με καλά αποτελέσματα διακόπτες που εργάζονται με πιεζοηλεκτρική δράση. Παράλληλα χρησιμοποιούνται **επαγωγικοί** μετρητές ή μετρητές εφοδιασμένοι με κλίμακες μέτρησης της διαστολής. Τα σήματα του μετρητή μεταδίδονται μέσω ενιοχυτή σε ταλαντωτές ηλεκτρονίων ή φωτεινής δέσμης, πράγμα που

κάνει ορατές τις διακυμάνσεις της πίεσης. Και ενώ ο ταλαντωτής φωτεινής δέσμης μας παρέχει μια επεξεργάσιμη εικόνα στο χαρτί, στον ταλαντωτή ηλεκτρονίων η εικόνα εμφανίζεται αρχικά στην οθόνη. Με μια μηχανή λήψεως μπορεί και εδώ να προκύψει εικόνα στο χαρτί. Στη συνέχεια, από την σειρά μετρητής, ενισχυτής, παλμογράφος θα ασχοληθούμε περισσότερο με τον μετρητή. Σε ένα μετρητή, ιδιαίτερα στο τμήμα δοκιμών για κινητήρες, τίθενται υψηλές απαιτήσεις:

- Καταλληλότητα για δυναμικές μετρήσεις, δηλαδή πολύ υψηλή ίδια συχνότητα.
- Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και διακυμάνσεις.
- Γραμμική συνάρτηση του σήματος μέτρησης από την πίεση.
- Δυνατότητα ρύθμισης αυτού.
- Επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.
- Αντοχή στο χρόνο, δηλαδή για μεγάλο χρονικό διάστημα να μην εμφανίζονται σημάδια κόπωσης.

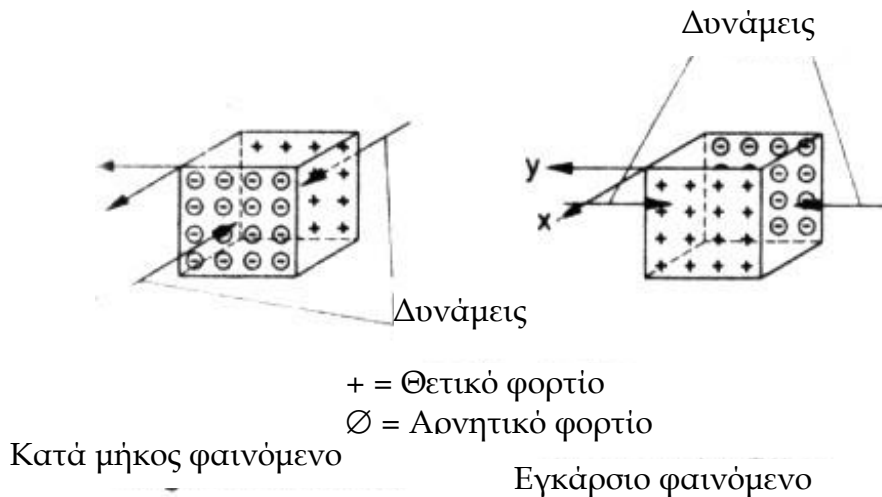
Όλοι αυτοί οι όροι φαίνεται να εκπληρώνονται πολύ καλά από τον πιεζοηλεκτρικό μετρητή χαλαζία. Για τη μέτρηση της πίεσης χρησιμοποιείται το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Σε ορισμένα υλικά που επιβάλλονται δυνάμεις, παρουσιάζονται θετικά και αρνητικά φορτία σε επιφάνειες διαμετρικά αντίθετες και προκύπτει μια ηλεκτρική πόλωση. Αυτό το φαινόμενο εξηγείται με βάση την δομή του ατόμου του κρυστάλλου του χαλαζία.



Σχήμα 50: Κρυσταλλός χαλαζία

Ο χημικός τύπος του χαλαζία είναι: SiO_2 . Τα άτομα βρίσκονται στις γωνίες ενός εξαγώνου (σχήμα 50). Στον κρυσταλλό του χαλαζία υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Αυτές προσδιορίζονται από τους άξονες x_i , y_i και z_i . Οι τρεις άξονες του x_i , διέρχονται από αντιδιαμετρικές γωνίες του εξαγώνου. Οι άξονες του y_i βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με τους άξονες του x_i , αλλά βρίσκονται κάθετα προς τις πλευρές του εξαγώνου. Εκτός αυτού, οι x_i και y_i άξονες με τον ίδιο δείκτη σχηματίζουν ορθή γωνία.

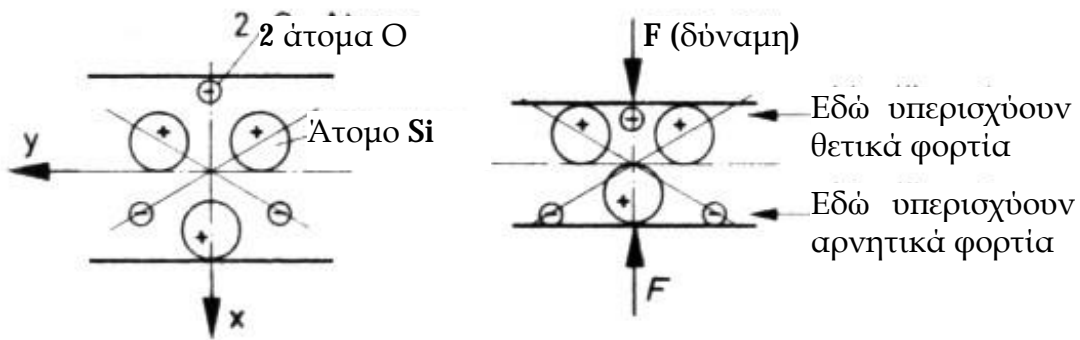
Ο άξονας z_i , διασχίζει τον κρύσταλλο κάθετα προς το επίπεδο x_i, y_i . Ονομάζεται οπτικός άξονας, επειδή σε αυτή την κατεύθυνση ο χαλαζίας παρουσιάζει ιδιαίτερες οπτικές ιδιότητες. Τα ηλεκτρικά φορτία εμφανίζονται σε εκείνες τις επιφάνειες που είναι κάθετες στους άξονες του x_i . Γι' αυτό αποκόπτονται από το χαλαζία μικρά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, των οποίων οι επιφάνειες είναι κάθετες προς έναν άξονα του x_i . Αν σε ένα τέτοιο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο ασκηθεί μια δύναμη στην κατεύθυνση x_i , τότε σχηματίζονται στις αντικρινές επιφάνειες θετικά και αρνητικά φορτία (σχήμα 51).



Σχήμα 51: Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

Το μέγεθος του φορτίου είναι ανάλογο προς την ασκούμενη δύναμη. Το φαινόμενο ονομάζεται **κατά μήκος πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο**. Είναι ανεξάρτητο από τις διαστάσεις του ορθογωνίου παραλληλογράμμου. Αν αντιστραφεί η κατεύθυνση της δύναμης, αντιστρέφεται και το πρόσημο των φορτίων. Με την άσκηση δύναμης στον άξονα y_i , εμφανίζονται ηλεκτρικά φορτία στις επιφάνειες που βρίσκονται κάθετα στον άξονα του x_i . Και εδώ ισχύει η αναλογικότητα μεταξύ δύναμης και ηλεκτρικού φορτίου, με συνέπεια μια αντιστροφή της κατεύθυνσης της δύναμης να επιφέρει και αλλαγή στο πρόσημο των ηλεκτρικών φορτίων. Εδώ βέβαια το μέγεθος του ηλεκτρικού φορτίου εκτός από το ύψος της δύναμης εξαρτάται και από τις διαστάσεις του ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου στις κατευθύνσεις των x_i και y_i αξόνων. Εδώ γίνεται λόγος για **εγκάρσιο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο**.

Στο σχήμα 52 αναπαριστάται η παραμόρφωση του κρυστάλλου κάτω από άσκηση δύναμης. Η θέση των ατόμων μεταβάλλεται κάτω από την επίδραση της δύναμης και παράγει έτσι το ηλεκτρικό φορτίο στις επιφάνειες.



Χωρίς επιβάρυνση, ηλεκτρικά ουδέτερο Με επιβάρυνση, ηλεκτρική πόλωση

Σχήμα 52: Δημιουργία της ηλεκτρικής πόλωσης κατά το πιεζοηλεκτρικό

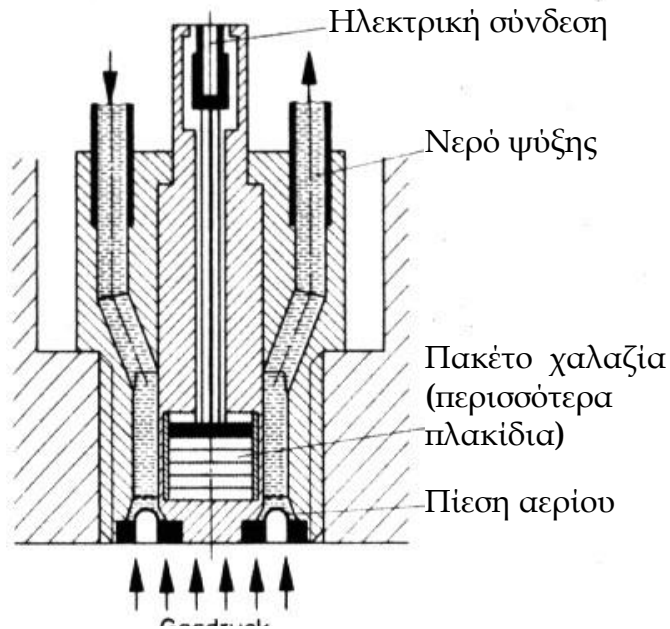
Ο χαλαζίας ανήκει στους ενεργούς πομπούς, επειδή για τη λειτουργία του δεν απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Η ίδια η ασκούμενη δύναμη προκαλεί τη δημιουργία του ηλεκτρικού φορτίου.

Ο χαλαζίας είναι ιδιαίτερα κατάλληλος στην κατασκευή πιεσομέτρων για κινητήρες. Η πιεζοηλεκτρική του ευαισθησία στην περιοχή $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι πρακτικά ανεξάρτητη της θερμοκρασίας. Εκτός αυτού διαθέτει και μια υψηλή μηχανική αντοχή. Γι' αυτούς τους λόγους ο όγκος του στις μετρήσεις δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά και ο χώρος όπου μετράται η πίεση διατηρεί το μέγεθός του, έτσι ώστε να μην υπεισέρχεται σφάλμα μέτρησης. Ο υψηλός βαθμός μόνωσης του χαλαζία βοηθάει στο γεγονός ότι τα ηλεκτρικά φορτία στις επιφάνειές του δεν εξουδετερώνονται με την πάροδο του χρόνου. Γι' αυτό με τον χαλαζία είναι δυνατές οι λεγόμενες στατικές μετρήσεις, των οποίων η τιμή μέτρησης μεταβάλλεται πολύ αργά με την πάροδο του χρόνου. Επειδή οι μηχανικές και οι ηλεκτρικές ιδιότητες του χαλαζία παραμένουν χρονικά σταθερές, δεν εμφανίζονται κανενός είδους σημεία κόπωσης και ο χαλαζίας είναι κατάλληλος για μετρήσεις επί μακρόν χρόνον. Τα μαγνητικά πεδία επίσης δεν επηρεάζουν τα σήματα του χαλαζία.

Στην κατασκευή των πιεσομέτρων γίνεται χρήση των ιδιοτήτων του κατά μήκος και του εγκάρσιου πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Προκειμένου για την εκμετάλλευση του κατά μήκος πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, ώστε να εμφανισθούν υψηλά ηλεκτρικά φορτία, δηλ. να παρουσιάζει ο μετρητής υψηλή ευαισθησία, τοποθετούνται τα πλακίδια του χαλαζία μηχανικά μεν το ένα πίσω από το άλλο, ηλεκτρικά δε παράλληλα. Στις επιφάνειες των πλακιδίων επιστρώνεται δια εξαχνώσεως εν κενώ στοιβάδα χρυσού, που δρα ως ηλεκτρόδιο.

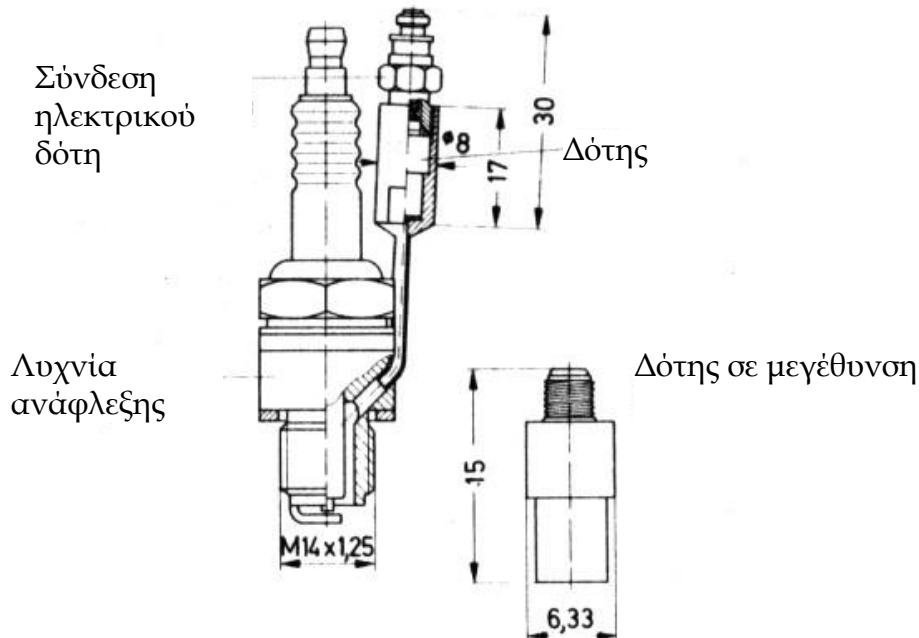
Επίσης κατασκευάζεται με συγκόλληση υπό πίεση σε υψηλή θερμοκρασία, ένα πακέτο αποτελούμενο από πολλά πλακίδια χαλαζία. Οι μετρητές χαλαζία μπορούν να έχουν πολύ μικρό μέγεθος και να εμφανίζουν έτσι πολύ υψηλή συχνότητα (160 kHz). Για τον λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για μετρήσεις φαινομένων με υψηλή συχνότητα, χωρίς να επηρεάζεται η ένδειξη από την ίδια ταλάντωση του χαλαζία. Στο σχήμα 53 φαίνεται ένας υδρόψυκτος μετρητής χαλαζία.

Το πακέτο των πλακιδίων του χαλαζία είναι ερμητικά συγκολλημένο μέσα σε μια κάψα ελατηρίου και ψύχεται εντατικά με νερό.

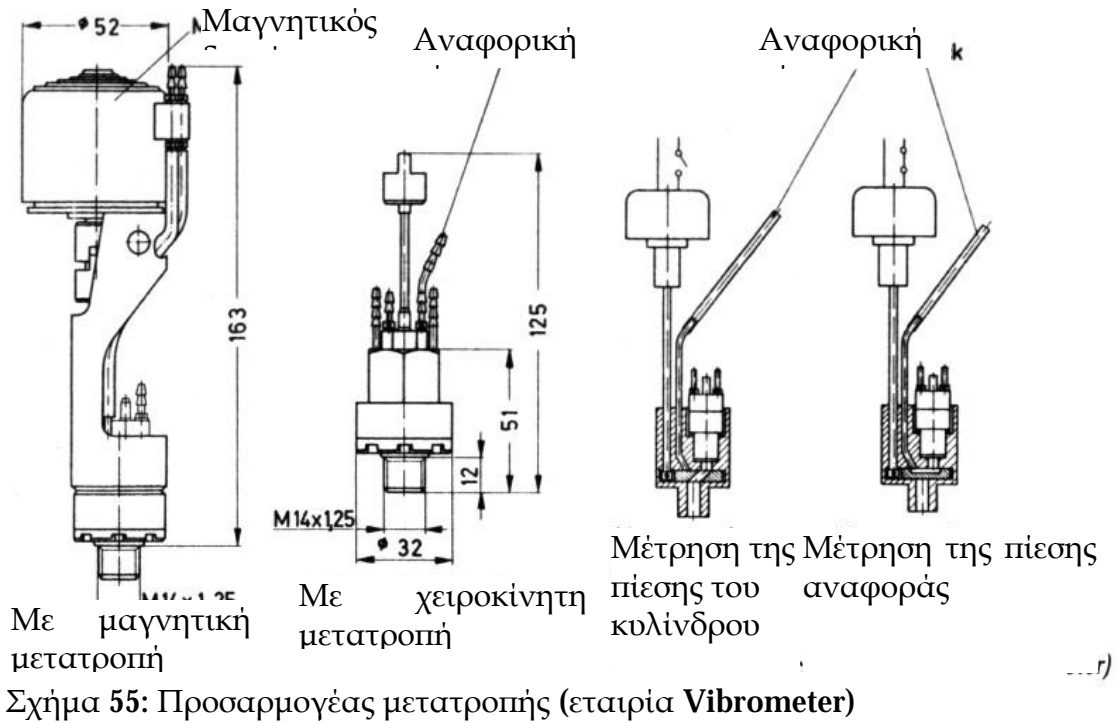


Σχήμα 53: Υδρόψυκτος δότης πίεσης χαλαζία

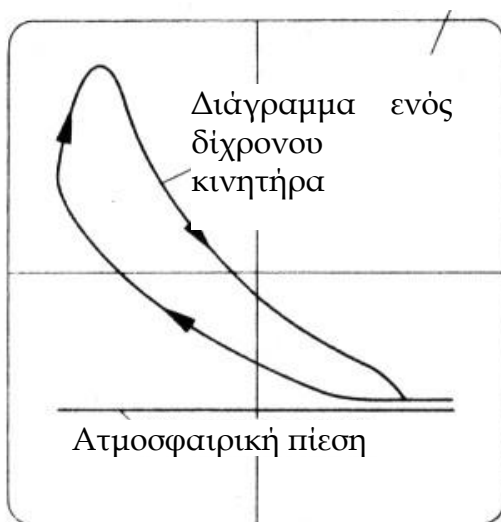
Οι μικρές διαστάσεις του μετρητή καθιστούν δυνατή την τοποθέτησή του μέσα στα μπουζί (σχήμα 54). Έτσι μπορεί κανείς να μετρήσει Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης χωρίς να χρειάζεται να προβλέψει ειδικές υποδοχές στη κεφαλή του κυλίνδρου. Επειδή αυτοί οι μικροί μετρητές χαλαζία δεν είναι δυνατόν να εφοδιασθούν με αγωγούς νερού ψύξης, τους ψύχει κανείς με πεπιεσμένο αέρα.



Σχήμα 54: Λυχνία ανάφλεξης με δότη πίεσης χαλαζία (εταιρία **Kistler**)



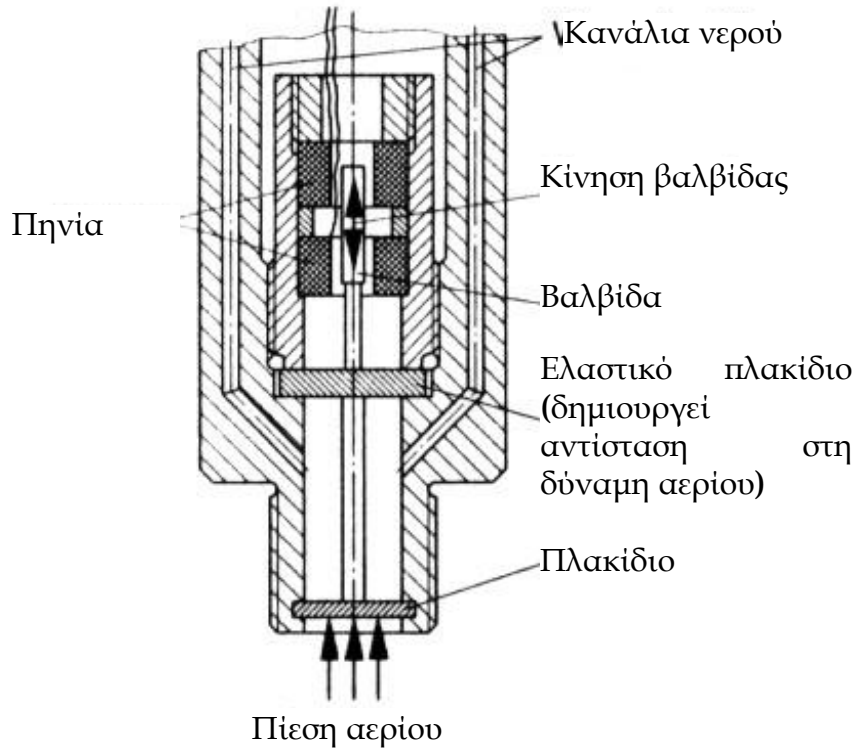
Για την προβολή μιας πίεσης αναφοράς στην οθόνη του παλμογράφου, χρησιμοποιείται η διάταξη ενός προσαρμογέα μετατροπής (σχήμα 55). Αυτός συνδέει το πιεσόμετρο είτε με τη πίεση που πρέπει να μετρηθεί, είτε με το μέγεθος αναφοράς π.χ. την ατμοσφαιρική πίεση. Στο σχήμα 56 βλέπουμε το διάγραμμα ένδειξης ενός δίχρονου κινητήρα με προβολή και της γραμμής της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οθόνη ταλαντωτή



Σχήμα 56: Διάγραμμα ένδειξης με προβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης

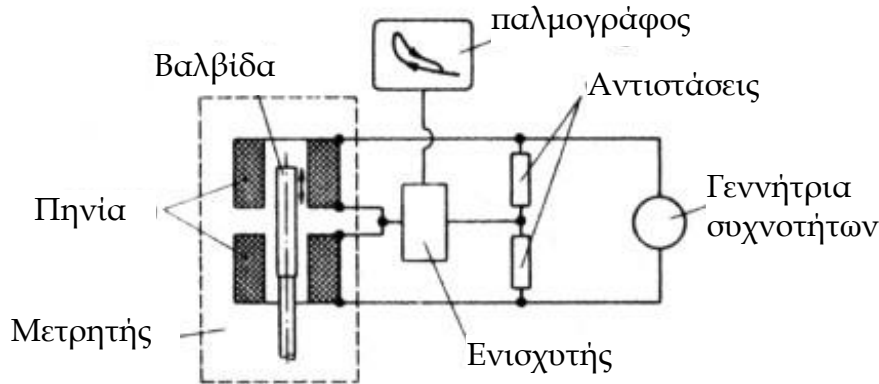
Παράλληλα με τους μετρητές χαλαζία, χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια δοκιμών των κινητήρων και **επαγωγικά πιεσόμετρα**. Στο σχήμα 57 παρουσιάζεται ένα υδρόψυκτο επαγωγικό πιεσόμετρο. Σ' αυτό η μέτρηση

της πίεσως ανάγεται σε μέτρηση διαδρομής. Η πίεση κυρτώνει την πλάκα και αυτή μετακινεί μια βαλβίδα σε κατάδυση (με σιδερένιο πυρήνα) στο εσωτερικό δύο πηνίων. Τα πηνία βρίσκονται στον ένα κλάδο μιας γέφυρας εναλλασσόμενου ρεύματος (σχήμα 58).



Σχήμα 57: Επαγωγικός μετρητής πίεσης (εταιρία **Dr. Staiger, Mohilo**)

Αυτά τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση υψηλής συχνότητας. Αν π.χ. μετακινηθεί η βαλβίδα προς τα επάνω, τότε αυξάνεται η επαγωγικότητα και συνεπώς η αντίσταση του εναλλασσομένου ρεύματος του επάνω πηνίου έναντι του κάτω. Σαν συνέπεια της διαφορετικής αντίστασης των πηνίων ρέει τώρα στη γέφυρα, που είχε πριν ρυθμισθεί στο μηδέν, ένα εναλλασσόμενο ρεύμα. Η τάση που εμφανίζεται στη γέφυρα ενισχύεται, ανορθώνεται και κατευθύνεται σε ένα όργανο ένδειξη π.χ. έναν παλμογράφο. Επειδή το επαγωγικό πιεσόμετρο χρειάζεται μια φέρουσα συχνότητα, χαρακτηρίζεται ως **παθητικός μετρητής**. Σε αντίθεση με αυτόν ο μετρητής χαλαζία ονομάζεται **ενεργός μετρητής**, αφού για τη λειτουργία του δεν χρειάζεται ξένη πηγή ενέργειας. Η φέρουσα συχνότητα πρέπει να είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από την συχνότητα της διαδικασίας μέτρησης.



Σχήμα 58: Γέφυρα εναλλασσόμενου ρεύματος για επαγωγικό πιεσόμετρο

Η **επαγωγική μέτρηση** πίεσης παρουσιάζει έναντι της **πιεζοηλεκτρικής** τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη ευαισθησία μετρητού. Γι' αυτό δεν χρειάζεται η ενίσχυση να είναι τόσο μεγάλη.
- Οι στατικές μετρήσεις μπορούν να διεξαχθούν άψογα.
- Ο μετρητής κατέχει ένα σταθερό μηδενικό σημείο σε αντίθεση με το σχετικό μηδενικό σημείο του χαλαζιακού μετρητή.
- Τα μειονεκτήματά τους είναι:
- Υπάρχει πάντοτε ανάγκη μιας γεννήτριας υψηλής συχνότητας, που θα παρέχει την φέρουσα συχνότητα.
- Επειδή η συχνότητα της μέτρησης μπορεί να ανέρχεται στο $1/5$ της φέρουσας συχνότητας, η μέθοδος είναι σχετικά κατάλληλη για πολύ γρήγορα εξελισσόμενες μεταβολές πίεσεως.
- Ο επαγωγικός μετρητής είναι πιο ευαίσθητος σε υψηλές θερμοκρασίες και ισχυρές δονήσεις από τον χαλαζιακό.

Οι διαστάσεις του μετρητή είναι σχετικά μεγάλες, έτσι ώστε υπό ορισμένες συνθήκες να προκύπτουν δυσκολίες εγκατάστασης. Π.χ. δεν γίνεται εφικτό να εγκατασταθεί ο μετρητής στο εσωτερικό ενός μπουζι.

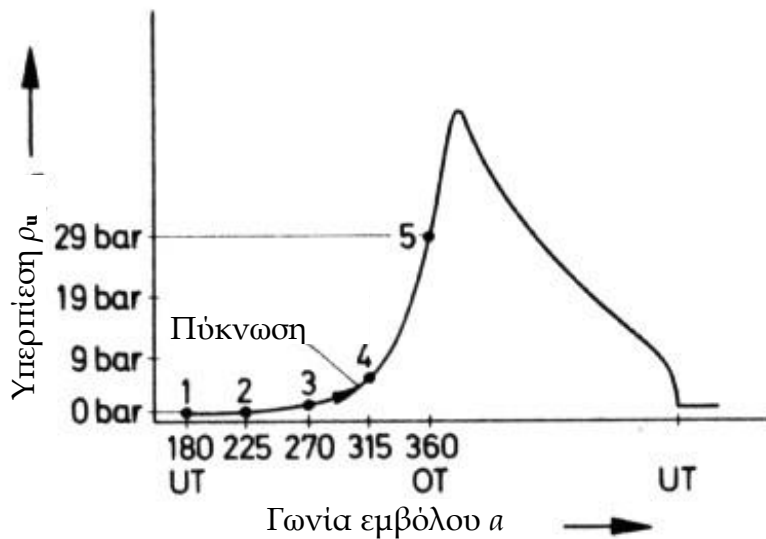
1.10. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΡΟΠΙΚΟΥ ΕΚΘΕΤΗ

Για την λήψη ενός ενδεικτικού διαγράμματος ή για τον υπολογισμό της αναμενόμενης τελικής τιμής συμπίεσης σε έναν νεοκατασκευασμένο κινητήρα, πρέπει να είναι γνωστός ο **πολυτροπικός εκθέτης** της μεταβολής της κατάστασης στον κύλινδρο. Ο πολυτροπικός εκθέτης δεν υπολογίζεται από κατασκευαστικά δεδομένα του κινητήρα, πρέπει να ληφθεί ως εμπειρική τιμή. Για τη δημιουργία τέτοιων εμπειρικών τιμών, πρέπει να ληφθούν κατά τις δοκιμές του κινητήρα διαγράμματα πίεσεως και εξ' αυτών να προσδιορισθούν οι εκθέτες. Η υπολογισμός γίνεται ως ακολούθως:

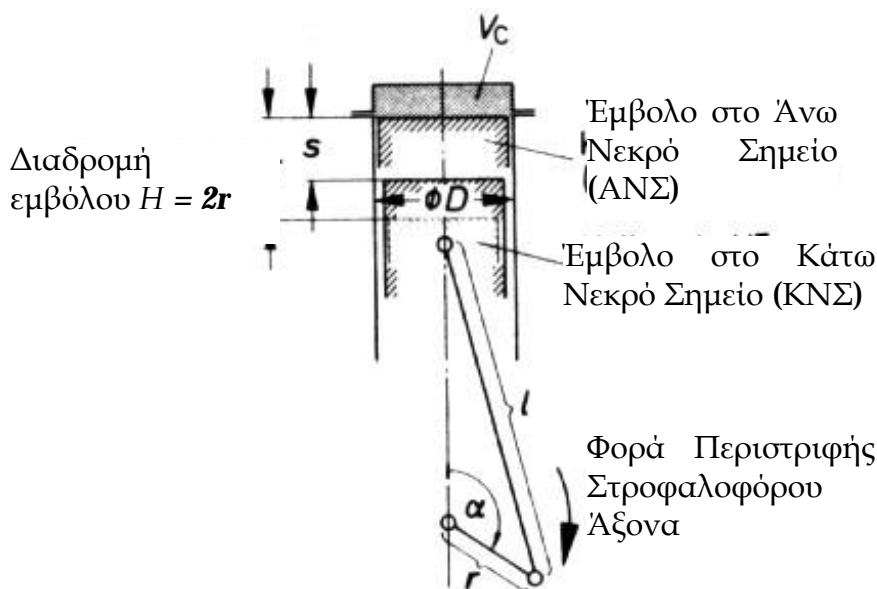
Αρχικά λαμβάνεται μια καμπύλη πίεσης, με την πίεση σαν συνάρτηση της γωνίας του εμβόλου (σχήμα 59). Το διάγραμμα αυτό μεταφέρεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί. Στον άξονα των τετμημένων θέτουμε την απόλυτη πίεση και στον άξονα των τεταγμένων αντί της γωνίας του εμβόλου θέτουμε

τον αντίστοιχο όγκο εμβολισμού. Για τον υπολογισμό της διαδρομής του εμβόλου χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο (30):

$$s = r \left(1 - \cos a + \frac{\lambda}{2} \sin^2 a \right) \quad (30)$$



Σχήμα 59: Μεταβολή πίεσης σε συνάρτηση με τη γωνία του στροφάλου



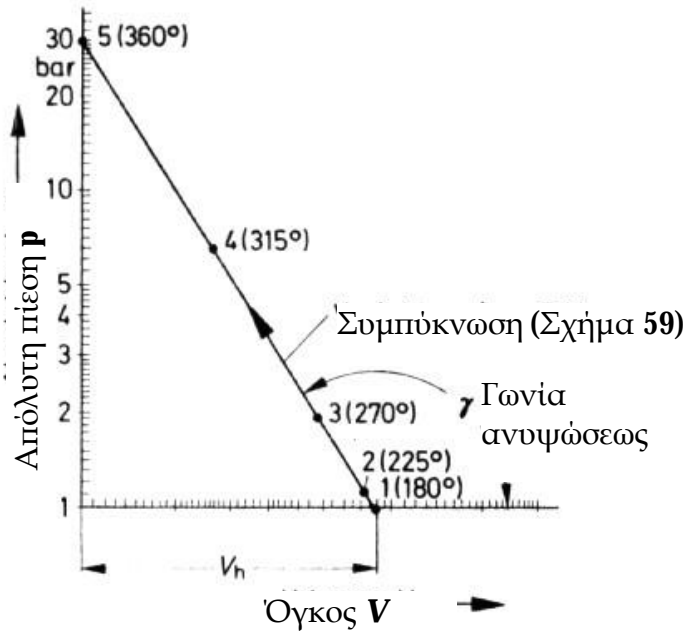
Σχήμα 60: Κίνηση του εμβόλου στον κύλινδρο

Για την κατανόηση της σχέσης αυτής παρατηρούμε το σχήμα 60, όπου:

- s = διαδρομή εμβόλου
- r = ακτίνα στροφάλου
- a = γωνία στροφάλου
- λ = r/λ = σχέση του διωστήρα
- l = μήκος διωστήρα

$$V = V_c + \frac{\pi D^2}{4} s \quad (31)$$

- V = ο εκάστοτε συνολικός όγκος
 V_c = όγκος του χώρου καύσεως
 D = διάμετρος κυλίνδρου



Σχήμα 61: Μεταφορά διαγράμματος του σχήματος 59 σε διπλό λογαριθμικό χαρτί

Κατά τη σχεδίαση προκύπτει η ευθεία που φαίνεται στο σχήμα 61, δηλαδή από την καμπύλη του σχ. 59 δημιουργείται η ευθεία του σχ. 61. Ο ζητούμενος **πολυτροπικός εκθέτης** είναι ίσος με την αρνητική κλίση αυτής της ευθείας, όπως εξηγείται στη συνέχεια.

Για την πολυτροπική αλλαγή κατάστασης ισχύει η **εκθετική εξίσωση**:

$$p_1 V_1^n = p V^n$$

Λογαριθμίζοντας αυτή την εξίσωση λαμβάνουμε:

$$\log(p_1 V_1^n) = \log(p V^n)$$

$$\log p_1 + n \log V_1 = \log p + n \log V$$

διαχωρίζοντας τα p και V

$$\log p - \log p_1 = -n(\log V - \log V_1)$$

Αυτή είναι η μορφή μιας γραμμικής εξίσωσης, δηλαδή η εκθετική συνάρτηση απεικονίζεται επί του διπλού λογαριθμικού χάρτου ως ευθεία, όπου n είναι το μέτρο της κλίσης αυτής της ευθείας.

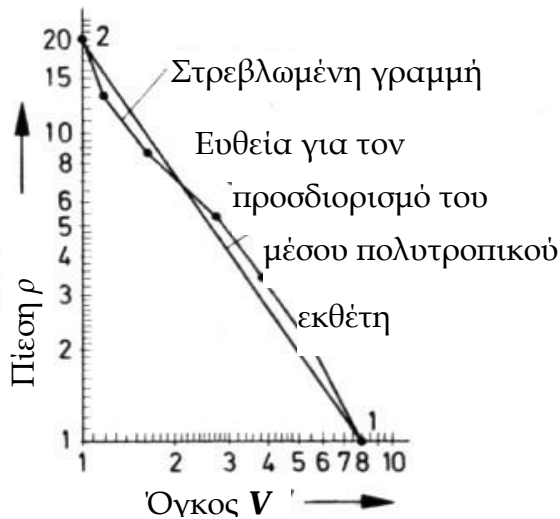
Αν γ είναι η εξωτερική γωνία αυτής της ευθείας, τότε για τον ζητούμενο πολυτροπικό εκθέτη ισχύει η σχέση (32):

$$n = -\tan \gamma \quad (32)$$

Μπορεί κανείς επίσης να υπολογίσει τον πολυτροπικό εκθέτη n με τις τιμές δύο σημείων της ευθείας (33).

$$n = \frac{\log p_2 - \log p_1}{\log V_2 - \log V_1} \quad (33)$$

Κατά τη σχεδίαση της καμπύλης πίεσης στο διπλό λογαριθμικό χαρτί, δεν προκύπτει συνήθως μια ευθεία αλλά μια στρεβλωμένη γραμμή επειδή η καμπύλη πίεσης δεν εμφανίζει σταθερό πολυτροπικό εκθέτη. Τότε χαράσσει κανείς, όπως φαίνεται στο σχήμα **62**, μια ευθεία μεταξύ των σημείων **1** και **2** και λαμβάνει έτσι ένα μέσο πολυτροπικό εκθέτη.



Σχήμα **62**: Προσδιορισμός του μέσου πολυτροπικού εκθέτη

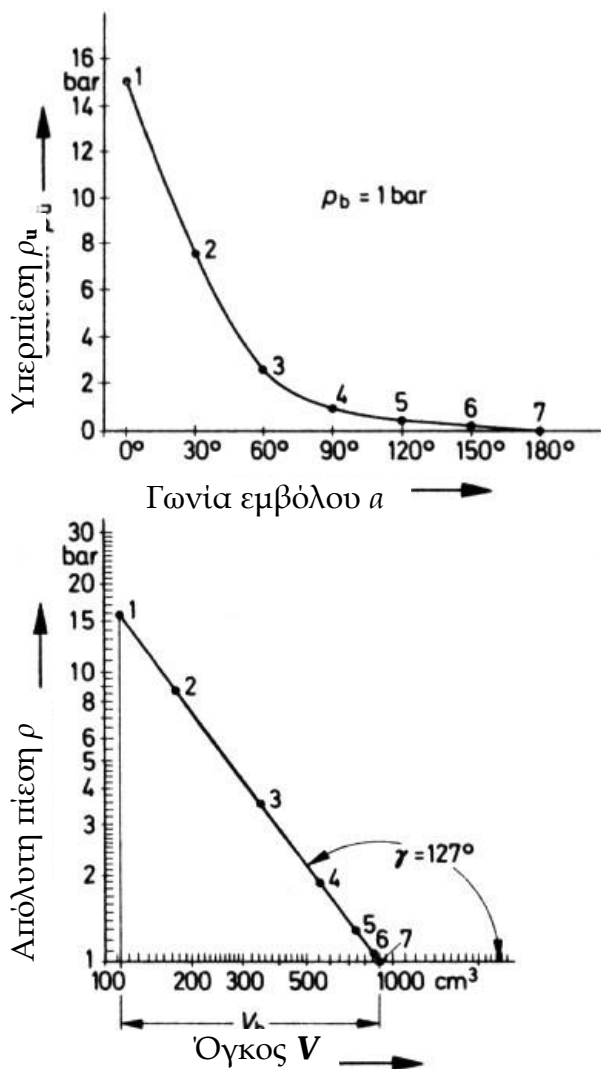
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9

Για την καμπύλη πίεσης (φάση εκτόνωσης) που φαίνεται στο σχήμα **63**, να υπολογισθεί ο πολυτροπικός εκθέτης. Δίδονται τα ακόλουθα στοιχεία:

Διαδρομή εμβόλου	H	=	100 mm
Διάμετρος κυλίνδρου	D	=	100 mm
Μήκος διωστήρα	L	=	200 mm
Σχέση συμπίεσης	ϵ	=	8
Ατμοσφαιρική πίεση	p_b	=	1 bar

ΛΥΣΗ

Η δοθείσα καμπύλη πίεσης μεταφέρεται με τη βοήθεια των 7 σημείων, στον διπλό λογαριθμικό χαρτί. Εδώ η πίεση αναφέρεται στην απόλυτη τιμή της. Ο αντίστοιχος όγκος προς την πίεση υπολογίζεται με τη βοήθεια των τύπων (30) και (31) και του σχετικού πίνακα.



Σχήμα 63: Προσδιορισμός του πολυτροπικού εκθέτη

$$V = V_c + \frac{\pi D^2}{4} r \left(1 - \cos a + \frac{\lambda}{2} \sin^2 a \right)$$

Ο όγκος του χώρου καύσης υπολογίζεται από το χώρο εμβολισμού και τον λόγο συμπίεσης.

$$\varepsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c} \quad \text{και}$$

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} H$$

Τότε έχουμε:

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}$$

$$V_c = \frac{\frac{\pi \times 10^2}{4} \times 10}{8 - 1} \text{ cm}^3 = \frac{785.5 \text{ cm}^3}{7} = 112.2 \text{ cm}^3$$

$$r = \frac{H}{2} = \frac{100\text{mm}}{2} = 50\text{mm}$$

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{50}{200} = 0.25$$

$$\frac{\lambda}{2} = 0.125$$

a [Grad]	cosa	sin ² a	λ/2 sin ² a	1-cosa+λ/2sin ² a	V [cm ³]
0	1,000	0,000	0,000	0,000	112,2
30	0,866	0,250	0,031	0,165	177,0
60	0,500	0,750	0,094	0,594	345,5
90	0,000	1,000	0,125	1,125	554,0
120	-	0,750	0,094	1,594	738,2
150	0,500	0,250	0,031	1,897	857,2
180	-	0,000	0,000	2,000	897,6
	0,866				
	-				
	1,000				

Από τη σχεδιασμένη καμπύλη πίεσεως (ευθεία) επί του διπλού λογαριθμικού χάρτη, λαμβάνεται η γωνία ανυψώσεως

$$\gamma = 127^\circ$$

και στη συνέχεια

$$\epsilon\phi \gamma = -1,33$$

Άρα ο πολυτροπικός εκθέτης της καμπύλης πίεσεως είναι:

$$n = 1,33$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Heinz Grohe, Otto und Diesel motoren, VOGEL Buchvelag Wurzburg 1973**
- **Heinz Grohe, Messen an Verbrennungsmotoren, VOGEL Buchvelag Wurzburg 3. Auflage 1987**
- **Μαυρίδης Κωνσταντίνος, Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Εκδόσεις ΤΕΙ, Πάτρα 1998**