

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**  
**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ:** Μετρητές ροής Ιξώδους και εφαρμογές στην Ναυτιλία

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:** Θανάσης Νίκου

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** Δημήτριος Γουργούλης

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2012**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ :** Μετρητές ροής Ιξώδους και εφαρμογές στην Ναυτιλία

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ :** Θανάσης Νίκου

**ΑΜ :** 4482

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

**Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας**

**Ο καθηγητής**

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται σε μετρητές ιξώδους, και αισθητήρες. Η όλη εργασία αποτελείται από τρία κεφάλαια το τελευταίο αναφέρεται σε οπτικές ίνες στα εμπορικά καράβια τω οποίο βρίσκεται ακόμα σε ερευνά. Η μέτρηση του ιξώδες θεωρείται αρκετά σημαντική μιας και της περισσότερες φορές έχουμε να κάνουμε με καύσιμα ναυτιλίας, για αυτό και στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενέστατη περιγραφή του θέματος. Οι πρώτοι αισθητήρες και όργανα μέτρησης ήταν μηχανικά. Η αρχή λειτουργίας του πρώτου θερμομέτρου βασίζεται στην μεταβολή των διαστάσεων των σωμάτων με την θερμοκρασία, ενώ του βαρόμετρου στην μεταβολή της στάθμης ενός ρευστού ανάλογα με την ασκημένη σε αυτό πίεση. Η συστηματική μελέτη του ηλεκτρισμού οδήγησε στην δημιουργία νέων αισθητήρων- ηλεκτρικών η έξοδος των οποίων ήταν το αναλογικό σήμα. Η ανάπτυξη των ημιαγωγών είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αισθητήρων ημιαγωγών αλλά και ψηφιακών οργάνων μέτρησης. Για να καταλάβει κάποιος τη ραγδαία εξέλιξη των αισθητήρων, αρκεί να σκεφτεί ότι τα αυτοκίνητα παράγωγης της δεκαετίας του 70. Είχαν απλούς αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασίας αλλά και ένα δεύτερο για την μέτρηση του ψυκτικού υγρού. Η εξέλιξη φυσικά είναι ραγδαία και στη Ναυτιλία μιας και είναι μια από τις βαριές βιομηχανίες στο κόσμο. Σημαντική ώθηση στην εξέλιξη των αισθητήρων έδωσε η ανάγκη αντιμετώπισης περίπλοκων προβλημάτων σε περίπλοκους μηχανισμούς. Ακόλουθος στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια περιγραφή των διάφορων τύπων ιξωδομέτρων και του τρόπου λειτουργίας του και στην συνέχεια γίνεται μια περιγραφή . Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές η οποίοι με αυτά τα οποία μου δίδαξαν βοήθησαν παρά πολύ στην επίτευξη αυτού του έργου.

## **Abstract**

The present coursework has to do with Viscometers and sensors. The whole project contains three chapters, the last one has to do with optical fiber and their application in merchant ships which the matter is under research. The measurement of the viscosity is one of the most important ones because we have to do all the with fuels in the shipping, that's why after all the first chapter makes a detail description of the matter. The first sensors and measurement instruments were absolutely mechanical. The principal of service of the first thermometer was due to the change of temperature of each body, but the principal of barometer was due to the change of the level of the fluid that was due to pressure. The continues study of the electricity lead to the creation of new sensors and electrical outlets which it was an analogue signal. The development of the semiconductors has result the creation of the semiconductors sensors and the digital measurement instruments. In order to understand somebody the rapid development of the sensors he has to think the production of the cars at the decade of 70s. They had simple sensors for the measurement of the temperature, and for the refer fluid. The development of course was rapid for the shipping industry which was one of the heavy industries in the world. Major boost was created in the development of the sensors due to complicated problems that occurred in complicate mechanisms. In chapter three there is a reference in different types of viscometer and its operation. There is an examination, and a description. At the end I would like to give special thanks to my supervisor professors that they taught me well, and which they help quite a lot in the creation of these final year project

## Πρόλογος

Το *ιξώδες* προέρχεται από τη λέξη *ιξός* (τη γνωστή κολλώδη ουσία που περιέχει κάποιους καρπούς) και σημαίνει το κολλώδες. Ο όρος όμως **ιξώδες** από την Χημεία και την Φυσική χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες της ύλης, ιδίως των υγρών αλλά και των αερίων, και φυσικά η αντίσταση που έχουν κατά τη ροή τους. Στη φύση ξέρουμε, ότι διαφορετικά ρέουν το μέλι, το λάδι και το νερό. Η αντίσταση αυτή που έχουν τα ρευστά δημιουργείται στις εσωτερικές τριβές των μορίων τους από δυνάμεις συνοχής, σε βαθμό που το ίδιο το *ιξώδες* να αποτελεί μέτρο αντίστασης του υγρού στη ροή και που η ένια αυτή υπάρχει στην Υδροδυναμική.

- Το μέτρο του *ιξώδους* είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας
- ή συντελεστής εσωτερικής τριβής ή συντελεστής ιξώδους του υγρού. Όταν ένα υγρό είναι παχύρευστο, τόσο μεγαλύτερο *ιξώδες* λέμε ότι έχει, π.χ. το μέλι έχει μεγαλύτερο *ιξώδες* από το λάδι.

Το *ιξώδες* μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται **ιξωδόμετρο**. Η μέτρηση γίνεται σε βαθμούς, που σήμερα σε χρήση είναι οι "βαθμοί Engler", ή "βαθμοί Redwood", ή "βαθμοί Saybolt", κτλ, που υπάρχουν στο εγχειρίδιο του, κατά περίπτωση χρήσης τύπου, ομώνυμου οργάνου. Αντίθετος ο όρος του *ιξώδους*, κατά μια εφαρμογή είναι η ρευστότητα, έτσι ένα υγρό που παρουσιάζει μεγάλο *ιξώδες* έχει μικρή ρευστότητα, και αντίστροφα. Τα μόνα υγρά που διαθέτουν μεταβλητό *ιξώδες* είναι τα θιξότροπα μετά την ανάδευσή τους.

# Κεφάλαιο 1

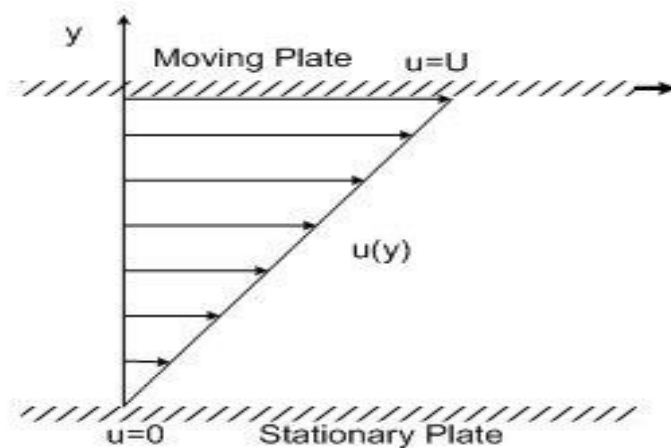
## 1.1 Το ΙΞΩΔΕΣ

Κατά την κίνηση ενός ρευστού, δημιουργούνται διατμητικές τάσεις. Στα νευτωνικά ρευστά, το μέτρο των διατμητικών τάσεων είναι ανάλογο του ιξώδους του ρευστού. Το απλούστερο παράδειγμα ροής, στο οποίο να καταδεικνύεται η σχέση μεταξύ του ιξώδους και των αναπτυσσόμενων διατμητικών τάσεων είναι η ροή στην εικόνα 1.

Στη ροή του ρευστού περικλείεται από δύο παράλληλες πλάκες, εκ των οποίων η μία (άνω) κινείται με σταθερή ταχύτητα  $U$ . Εξαιτίας της συνθήκης της συνάφειας, η άνω στοιβάδα του ρευστού κινείται με την ίδια ταχύτητα,  $U$ . Η ανάπτυξη διατμητικών τάσεων, μεταφέρει ορμή σε ολόκληρη τη μάζα του ρευστού. Στην κάτω επιφάνεια, η συνθήκη της συνάφειας οδηγεί σε μηδενική ταχύτητα του ρευστού. Όταν λυθούν οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας και της ορμής για ασυμπίεστη ροή, υπάρχει η αρχή ότι η κατανομή της ταχύτητας  $u=u(y)$  είναι γραμμική (εικόνα. 1). Κατά συνέπεια, η ροή και, η κατανομή της διατμητικής τάσης είναι σταθερή.

$$\tau = \mu (\partial u / \partial y) = \text{σταθερό}$$

σχέση 1

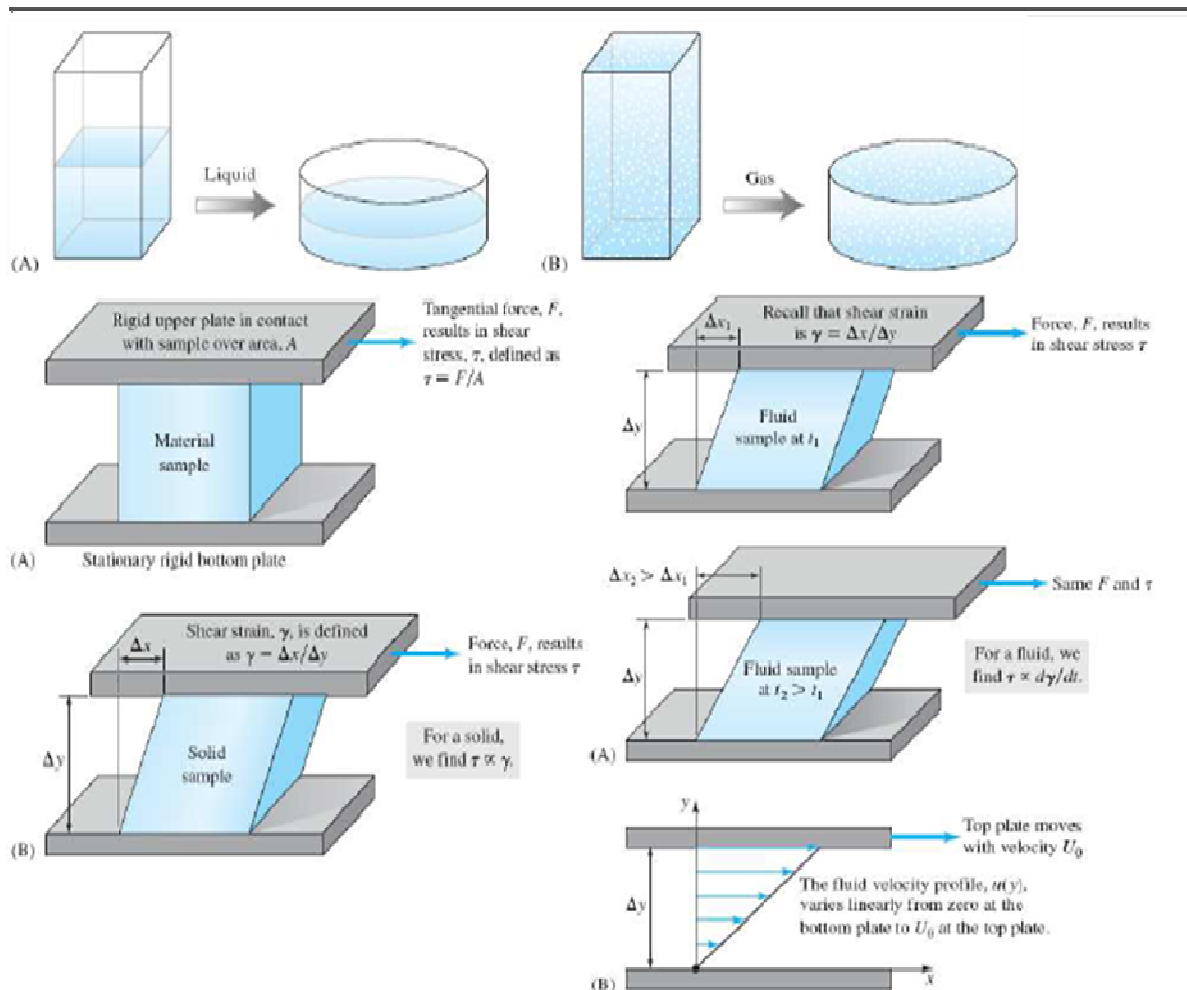


Εικόνα 1 Απεικόνιση της ροής

Στη σχέση (1),  $\mu$  είναι το δυναμικό ιξώδες του ρευστού. Το κινηματικό ιξώδες του ρευστού,  $\nu$ , καθορίζεται ως ο λόγος του δυναμικού ιξώδους προς την πυκνότητα,  $\rho$ , του ρευστού:

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

σχέση 2



Εικόνα 1.1 Επεξήγηση του ορισμού του Ιξώδους

## 1.2 Ροή γύρω από σφαίρα

Κατά τη ροή γύρω από ένα μη αεροδυναμικό σώμα, όπως είναι η σφαίρα, δημιουργείται μια δύναμη επί του σώματος, με κατεύθυνση συμπίπτουσα με την κύρια κατεύθυνση της ροής (δύναμη αντίστασης). Η δυναμική της ασυμπίεστης ροής οφείλεται από την τιμή του αριθμού Reynolds:

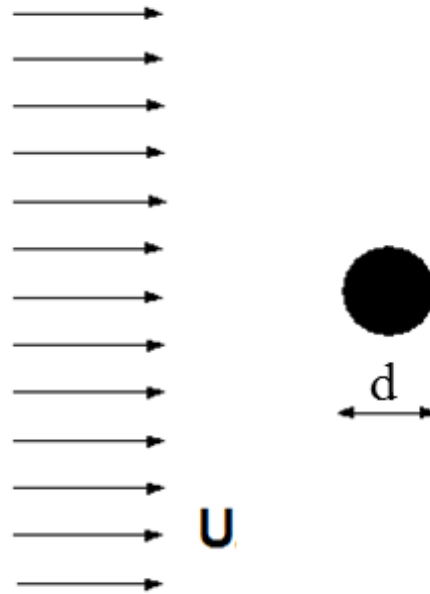
$$Re = U \cdot d / \nu \quad \text{σχέση 3}$$

Όταν  $U$  είναι η ταχύτητα της ροής μακριά από το σώμα,  $d$  η διάμετρος της σφαίρας και  $\nu$  το κινηματικό ιξώδες του ρευστού. Με βάση τη μέθοδο της διαστατικής ανάλυσης, προκύπτει ότι η δύναμη αντίστασης,  $FD$ , είναι η παρακάτω σχέση:

$$FD = CD A \rho / 2 U^2 \quad \text{σχέση 4}$$

όπου  $CD$  είναι ο (αδιάστατος) συντελεστής αντίστασης και  $A$  η προβολική επιφάνεια του σώματος σε επίπεδο κάθετο προς την κύρια κατεύθυνση της ροής (στην περίπτωση της σφαίρας,  $A = \pi d^2 / 4$ ).





Εικόνα 2 Σχηματική απεικόνιση της ροής γύρω από σφαίρα.

Ο συντελεστής αντίστασης,  $CD$ , είναι συνάρτηση του αριθμού Reynolds, εικόνα 3. Όταν υπάρχουν χαμηλές τιμές του αριθμού Reynolds, η ροή είναι στρωτή, ενώ στην περιοχή  $Re \sim 300$  καθίσταται μεταβατική, και για  $Re \sim 1000$  τυρβώδης. Η μεταβατική και η τυρβώδης ροή είναι από τις αυτοσυντηρούμενες ταλαντώσεις. Έτσι, στην εικόνα 3, οι τιμές του συντελεστή αντίστασης,  $CD$ , είναι οι χρονικά μέσες τιμές.

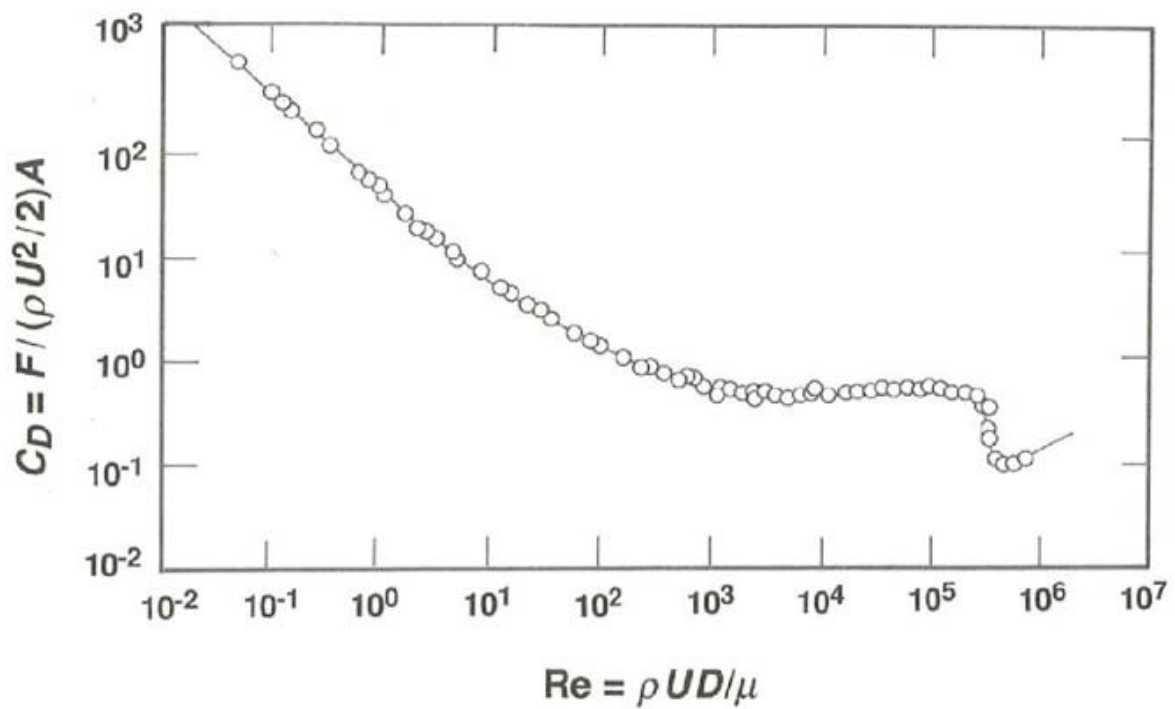
Η δύναμη αντίστασης προκύπτει από την ολοκλήρωση της κατανομής των διατμητικών τάσεων και των κάθετων τάσεων (πίεση) επί της επιφάνειας του σώματος. Στο όριο που η τιμή του αριθμού Reynolds τείνει στο μηδέν, η δύναμη αντίστασης υπάρχει σχεδόν σε ένα μεγάλο βαθμό στην κατανομή των διατμητικών τάσεων, δηλαδή στην επίδραση του ιξώδους του ρευστού.

Από διαφορές άλλες βιβλιογραφίες προκύπτει ότι, για χαμηλές τιμές του αριθμού Reynolds, στη ροή γύρω από σφαίρα, ο συντελεστής  $CD$  μπορεί να βρεθεί από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$5 < \text{Re} < 850 \quad C_D = 24 / \text{Re} ( 1 + \text{Re}^{2/3} / 6) \quad \text{Σχέση του Klyachhko} \quad (5)$$

$$0.2 < \text{Re} < 5 \quad C_D = 24 / \text{Re} ( 1 + 3/16 \text{Re} ) \quad \text{Σχέση του Qseen} \quad (6)$$

$$\text{Re} < 0.2 \quad C_D = 24 / \text{Re} \quad \text{Σχέση του Stokes} \quad (7)$$



Εικόνα 3 Τιμές του συντελεστή αντίστασης,  $C_D$ , συναρτήσει του αριθμού Reynolds,  $Re$ , στη ροή γύρω από σφαίρα

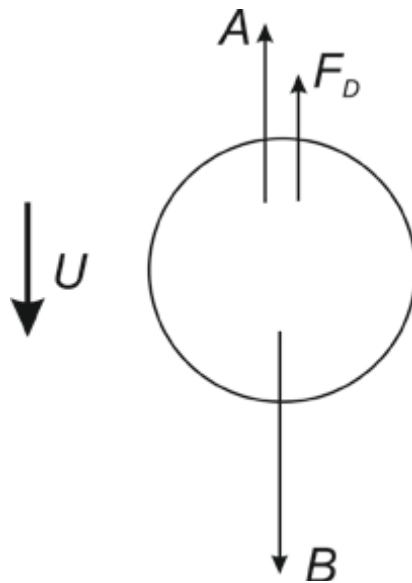
### 1.3 Ισοροπία δυνάμεων κατά την πτώση σφαιρικού σωματιδίου σε υγρό

Έστω ότι έχουμε την πτώση ενός σφαιρικού σώματος. Στο σώμα δημιουργούνται οι παρακάτω δυνάμεις, εικόνα. 4: το βάρος  $B$ , η δύναμη άνωσης  $A$  και η δύναμη αντίστασης  $FD$ . Η έκφραση για τη δύναμη αντίστασης έχει δοθεί στην εξίσωση 4, ενώ για τις δυνάμεις  $B$  και  $A$  ισχύουν οι σχέσεις:

$$B = m g = \rho_B V g \quad (8)$$

$$A = \rho_L V g \quad (9)$$

όπου  $\rho_B$  και  $\rho_L$  η πυκνότητα της σφαίρας και του υγρού, αντίστοιχα, και  $V$  ο όγκος της σφαίρας ( $V = \pi d^3/6$ ).



Εικόνα 4. Σχηματική απεικόνιση των δυνάμεων που ασκούνται σε σφαιρικό σωματίδιο, κατά την πτώση του σε υγρό.

Η πτώση της σφαίρας λαμβάνει χώρα διότι  $B > A$  ή, ισοδύναμα,  $\rho_B > \rho_L$ . Κατά συνέπεια, στη συνέχεια θα θεωρούμε ότι έχουμε πάντα την ανισότητα  $\rho_B > \rho_L$ . Από τον νόμο του Newton έχουμε την πιο κάτω σχέση:

$$B - A - F_D = m \, du/dt$$

10

Όταν η αρχική ταχύτητα της σφαίρας είναι μηδενική ή σχετικά χαμηλή, η σφαίρα βυθίζεται επιταχυνόμενη. Η αύξηση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης αντίστασης,  $F_D$ . Έτσι, η επιτάχυνση  $dU/dt$  μειώνεται, με αποτέλεσμα, μετά από κάποιον χρόνο, η σφαίρα να έχει μια σταθερή ταχύτητα πτώσης, η οποία ονομάζεται *οριακή ταχύτητα*.

Εάν η αρχική ταχύτητα της σφαίρας είναι σχετικά υψηλή, η μεγάλη τιμή της δύναμης αντίστασης  $F_D$  θα προκαλέσει την επιβράδυνσή της. Έτσι, και στην περίπτωση αυτή, η σφαίρα θα αποκτήσει τελικά την οριακή ταχύτητα.

Για την λύση της οριακής ταχύτητας, στη σχέση (10) η επιτάχυνση της σφαίρας τίθεται ίση με μηδέν, ενώ το βάρος και η άνοση εκφράζονται με βάση τις σχέσεις (8) και (9), αντίστοιχα. Ανάλογα με την έκφραση που έχουμε για τον συντελεστή αντίστασης,  $CD$ , μπορούν να υπάρχουν οι εκφράσεις της οριακής ταχύτητας, σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά της σφαίρας (πυκνότητα και διάμετρος) και τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υγρού (πυκνότητα και κινηματικό ιξώδες). Ισοδύναμα, για γνωστή οριακή ταχύτητα, μπορεί να υπάρχει το κινηματικό ιξώδες του υγρού ως συνάρτηση της οριακής ταχύτητας, των χαρακτηριστικών της σφαίρας, και της πυκνότητας του νερού.

Οι αναμενόμενες σχέσεις είναι οι ακόλουθες:

Από τη σχέση του Stokes, σχέση (7) ( $Re < 0.2$ ):

$$V = gd^2 / 18U_0 \rho \left( \rho_B - \rho_L / \rho_L \right) \quad (11)$$

Από τη σχέση του Oseen, σχέση (6) ( $0.2 < Re < 5$ ):

$$V = gd^2/18U_{op} (P\beta - PL / PL) - 3/16 dU_{op} \quad (12)$$

Από τη σχέση του Klyachko, σχέση (5) ( $5 < Re < 850$ ):

$$v - \frac{1}{2} U_{op} \frac{d^{2/3}}{d^2} - gd^2/18U_{op} (P\beta - PL / PL) = 0 \quad (13)$$

Με χρήση της κατάλληλης σχέσης εκ των (11), (12) και (13), μπορεί να προκύψει η τιμή του κινηματικού ιξώδους,  $\nu$ .

Από την λύση της εξίσωσης (10), μπορεί να έχουμε την έκφραση για τη μεταβολή της ταχύτητας της σφαίρας συναρτήσει του χρόνου. Με χρήση της σχέσης του Stokes για τον συντελεστή αντίστασης,  $CD$ , η λύση της (10) είναι η ακόλουθη:

$$U = Ce^{-Kt/m} + mg/k (P\beta - PL / PL) = \quad (14)$$

$$K = 3\pi\mu Ldv$$

$$C = U_{init} - mg/k (P\beta - PL / PL)$$

$U_{init}$  = Αρχική ταχύτητα της σφαίρας

Στην πραγματικότητα έστω ότι ο χρόνος αποκατάστασης της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης της σφαίρας είναι αυτός για τον οποίον η διαφορά της στιγμιαίας και της οριακής ταχύτητας είναι μικρότερη από 1%.

## 1.4 Μονάδες μέτρησης ιξώδους

Στα υγρά, το ιξώδες είναι φθίνουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας. Στα αέρια, υπάρχει η γενική εξάρτηση  $\nu \sim T^{3/2}/\rho$ , όπου  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία και  $\rho$  η πίεση του αερίου.

Οι διαστάσεις του ιξώδους υπάρχουν από τη σχέση (1). Έτσι για το δυναμικό ιξώδες έχουμε:  $\mu$ :  $[M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}]$ , ενώ για το κινηματικό ιξώδες:  $\nu$ :  $[L^2 \cdot T^{-1}]$ . Με βάση τα παραπάνω, στο σύστημα SI το δυναμικό ιξώδες εκφράζεται στις ακόλουθες μονάδες:  $\mu = \text{kg/m} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s/m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$ .

Μια βασική τιμή αναφοράς του δυναμικού ιξώδους είναι αυτή του νερού σε θερμοκρασία  $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $\mu = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ .

Στο σύστημα cgs, η μονάδα μέτρησης του δυναμικού ιξώδους είναι το 1 poise (1 P):

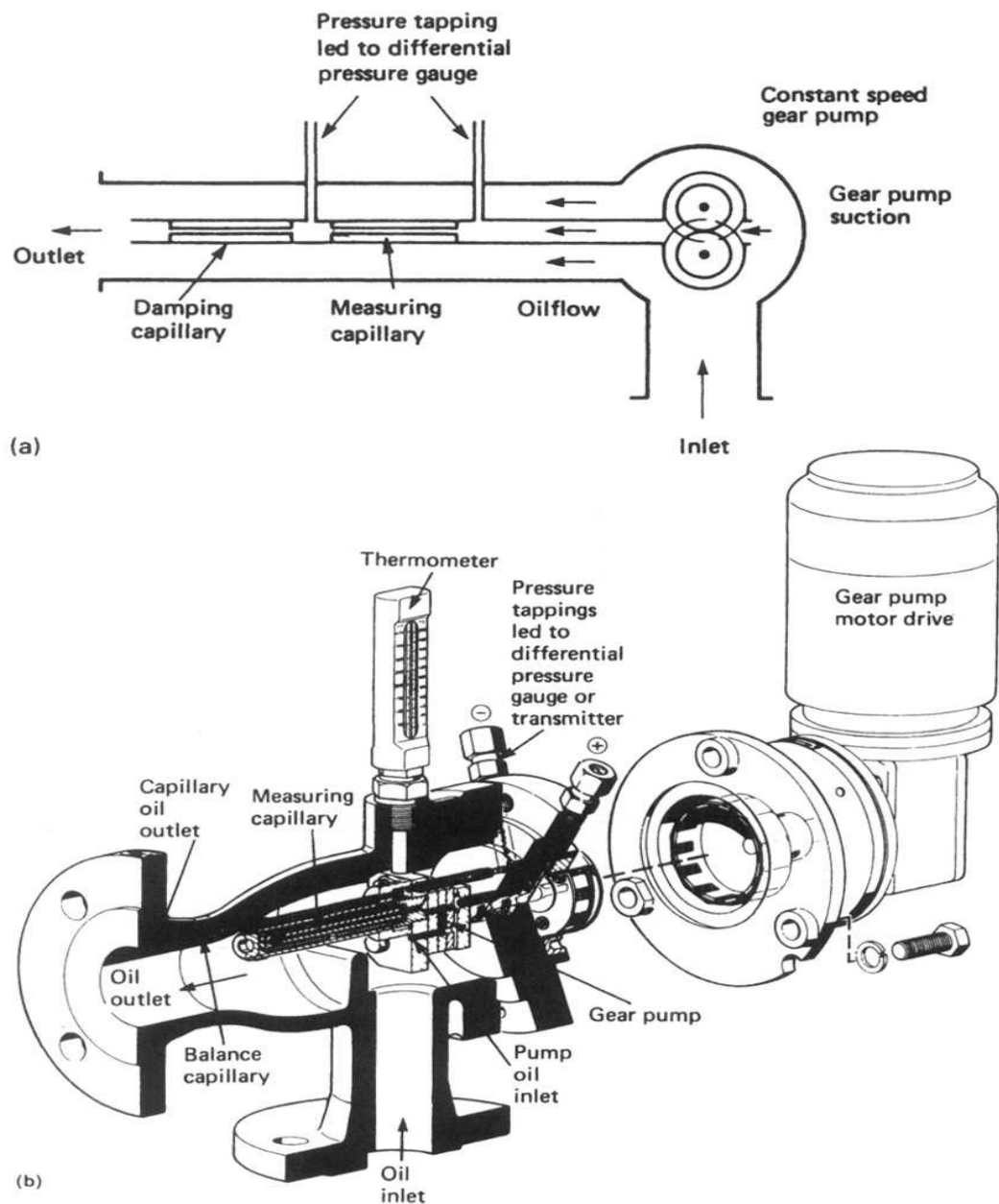
$1 \text{ P} = 1 \text{ g/cm} \cdot \text{s} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Μια σημαντική υποδιαίρεση είναι εν προκειμένω: 1 centipoise

$(1 \text{ cP}) = 10^{-2} \text{ P} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Με βάση τα προηγούμενα, το δυναμικό ιξώδες του νερού στους  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  είναι 1 cP.

Το κινηματικό ιξώδες, αυτό εκφράζεται στο σύστημα SI στις παρακάτω μονάδες:  $\nu = \text{m}^2/\text{s}$ . Η μονάδα μέτρησης του κινηματικού ιξώδους στο σύστημα cgs είναι το 1 stoke (1 St) =  $1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Η ευρέως χρησιμοποιούμενη υποδιαίρεση είναι στο 1 centistoke (cSt) =  $10^{-2} \text{ St} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Με βάση τα προηγούμενα, η τιμή του 1 cSt αντιστοιχεί στο κινηματικό ιξώδες του νερού στους  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 1.5 Μέτρηση του Ιξώδους

Ο έλεγχος του Ιξώδους στα καύσιμα είναι σημαντικός όταν πρέπει να γίνεται ο σωστός ψεκασμός και η σωστή καύση. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πετρελαίου θα μείωση το ιξώδες και αντίστροφα η μείωση της θα το αυξήσει. Σας αποτέλεσμα από την πληθώρα των καυσίμων των οποίων μπορεί να βρίσκονται σε μια δεξαμενή το ιξώδες θα πρέπει να μετριέται και η κατάλληλη ρύθμιση στην θερμοκρασία θα πρέπει να γίνεται.



Εικόνα 5 Αισθητήρας ιξώδους α) διαγραμματικός και πραγματικός

Η αισθητήριος συσκευή φαίνεται στην εικόνα 5. Μια σταθερής ταχύτητας γραναζωτή αντλία σπρώχνει μια σταθερή ποσότητα λαδιού σε ένα στενό τριχοειδές σωλήνα. Η ροή μέσα στον τριχοειδή σωλήνα είναι τόση ώστε η μέτρηση της πίεσης από των τριχοειδής και μετά σχετίζεται με το ιξώδες του λαδιού. Μια διαφορική πίεση μανόμετρου είναι βαθμονομημένη ώστε να διαβάσει τιμές πίεσης που ελέγχουν των προθερμαντήρα που παρέχει ορισμένες τιμές ιξώδους.

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Αισθητήρες

**Αισθητήρας** είναι μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και δημιουργεί από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Για παράδειγμα, το υδραργυρικό θερμόμετρο μετατρέπει τη μετρούμενη θερμοκρασία σε διαστολή, η οποία μπορεί να διαβαστεί από ένα βαθμονομημένο σωλήνα. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε καθημερινά αντικείμενα, όπως κουμπιά ανελκυστήρων ευαίσθητα στην αφή και λάμπες φωτισμού που εκπέμπουν λαμπρότερα ή απαλότερα αγγίζοντας τη βάση τους. Υπάρχουν αναρίθμητες ακόμη χρήσεις. Εφαρμογές τους συναντούμε στα αυτοκίνητα, σε μηχανές, στην αεροναυπηγική, την ιατρική, τη βιομηχανία τη Ναυτιλία και τη ρομποτική

#### **Χαρακτηριστικά αισθητήρων**

##### **Εύρος**

Τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα.

##### **Ακρίβεια**

Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου.

##### **Σφάλμα**

Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή.

##### **Ανοχή**

Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας.

##### **Διακριτική ικανότητα**

Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.

##### **Βαθμονόμηση**

Η βαθμολόγηση της κλίμακας σε μονάδες.

##### **Νεκρή ζώνη**

Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.



**Απόκριση**

Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει τη τελική τιμή η έξοδος.

**Καθυστέρηση**

Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.

**Υστέρηση**

Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.

**Ολίσθηση**

Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με το χρόνο και το περιβάλλον.

**Στατικό σφάλμα**

Σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί.

**Χρόνος λειτουργίας**

Ο εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας στα πλαίσια των προδιαγραφών του.

**Ευαισθησία**

Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς τη αλλαγή εισόδου, είναι ίση με τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.

**Γραμμικότητα**

Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία ως προς την είσοδο του αισθητήρα.

**Ευστάθεια**

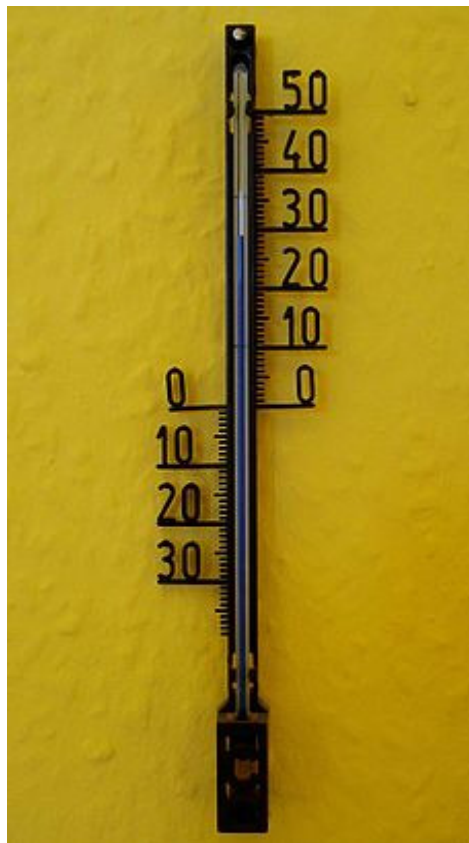
Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.

**Επαναληψιμότητα**

Η παραγωγή του ίδιου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.

## 2.2 Θερμόμετρα

**Θερμόμετρα** ονομάζονται γενικά τα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας των διαφόρων σωμάτων. Τα θερμόμετρα στηρίζονται στις ιδιότητες που έχουν ορισμένα σώματα , τα λεγόμενα και "θερμομετρικά" να διαστέλλονται ή να συστέλονται και γενικά να μεταβάλλουν σχήμα ή όγκο ανάλογα: με την αυξομείωση της θερμοκρασίας, ή και με την υπόθεση ότι οι πιέσεις αερίου σταθερού όγκου είναι ανάλογοι της θερμικής κατάστασης αυτού, ή επί της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης διαφόρων μετάλλων, ακριβώς λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας τους, ή τέλος επί της αρχής της μεταβολής ακτινοβολίας ενός σώματος συνεπεία αυξομείωσης επίσης της θερμοκρασίας του



Εικόνα 5 Υδραργυρικό θερμόμετρο

## 2.3 Περιγραφή υδραργυρικού θερμομέτρου

Το υδραργυρικό θερμοόμετρο έχει ένα μακρύ και λεπτό τελείως κλειστό υάλινο σωλήνα, στο ένα άκρο του οποίου υπάρχει μια πλάτυνση, του μικρού δοχείου, στην οποία περιέχεται ο υδράργυρος. Ο υδράργυρος διαστέλλεται όταν θερμανθεί, με αποτέλεσμα η άνοδος της θερμοκρασίας να δημιουργεί την άνοδό του στο σωλήνα (και αντίστοιχα η πτώση την κάθοδό του). Ο σωλήνας προσαρτάται επάνω σε κατάλληλα βαθμολογημένα κλίμακα και από εκεί διαβάζονται οι ενδείξεις της θερμοκρασίας. Ορισμένες. Το θερμοόμετρο υδραργύρου είναι ιδιαίτερα ακριβές, επειδή ο υδράργυρος παρουσιάζει χαμηλή τάση ατμών και είναι ευανάγνωστος στο εσωτερικό του υάλινου σωλήνα. Το μεγάλο του μειονέκτημα, ωστόσο, είναι ότι είναι ακατάλληλο για τη μέτρηση θερμοκρασιών κάτω των  $-32^{\circ}\text{C}$ , επειδή σε αυτή τη θερμοκρασία ο υδράργυρος στερεοποιείται<sup>1</sup>

## 2.4 Ιστορική αναδρομή

Τα πρώτα θερμοόμετρα ονομάστηκαν θερμοσκόπια από τους αρχαίους Έλληνες Ήρωνα και Φίλωνα που φέρονται να είχαν επινοήσει τέτοια όργανα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Ως νεότεροι εφευρέτες του σύγχρονου θερμομέτρου υπάρχουν πολλοί χωρίς να προσδιορίζεται και ο πρώτος. Αναφέρονται πάντως αρκετοί που επινόησαν, σχεδόν ταυτόχρονα, θερμοσκόπιο. Ορισμένοι αποδίδουν το θερμοόμετρο στον Γαλιλαίο, άλλοι στον Βάκωνα και άλλοι στον Ολλανδό φυσικό Drebbel που κατασκεύασε τέτοιο όργανο το 1621. Επίσης ο Ιταλός Σαντόριο ήταν ο πρώτος που σκέφθηκε να προσαρμόσει μια αριθμητική κλίμακα στο θερμοσκόπιο, η οποία είχε σαν πρακτική αξία μόνο την επισημάνση θερμοκρασιακής διαφοράς, μια και εκείνη την εποχή δεν υπήρχε μονάδα και κλίμακα μέτρησης. Το 1709 ο Γερμανός Γκάμπριελ Φαρενάιτ (*Fahrenheit*) επινόησε ένα θερμοσκόπιο με οινόπνευμα, το οποίο αντικατέστησε αργότερα με υδράργυρο (1714). Αυτό ήταν το πρώτο όργανο που είχε το όνομα «θερμοόμετρο» και δεν ήταν διαφορετικό από το σύγχρονο υδραργυρικό θερμοόμετρο. Για να αποκτήσει το όργανο που είχε εφεύρει και πρακτική σημασία, ο Φαρενάιτ επινόησε την κλίμακα μέτρησης που φέρει το όνομά του, τη θερμοκρασιακή κλίμακα Φαρενάιτ (1724). Όπως υπάρχει σε όλες τις κλίμακες μέτρησης, ο Φαρενάιτ αυθαίρετα έδωσε την τιμή 32 στο σημείο που το νερό μετατρέπεται σε πάγο και την τιμή 212 στο σημείο που το νερό μετατρέπεται σε ατμό. Και για τις δύο τιμές έθεσε ότι τα φαινόμενα συμβαίνουν σε ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας. Το 1742 ο Σουηδός αστρονόμος Άντερς Κέλσιος (*Anders Celsius*) επινόησε μια εκατοντάβαθμη κλίμακα: Επίσης αυθαίρετα, απέδωσε στο σημείο πήξης του νερού την τιμή 0 και στο σημείο βρασμού την τιμή 100. Γι' αυτό και η κλίμακά του ονομάστηκε «εκατοντάβαθμη» και πήρε το όνομά του μόλις το 1948 σε μια διεθνή σύνοδο του Διεθνούς Γραφείου Μέτρων και Σταθμών. Το 1867 ο Βρετανός ιατρός Σερ Τόμας Άλμπυτ (*Sir Thomas Allbutt*) επινόησε ένα θερμοόμετρο, στο οποίο μια στένωση στο σωλήνα εμπόδιζε την κάθοδο της υδραργυρικής στήλης στο δοχείο υποδοχής, όταν η θερμοκρασία κατέβαινε. Αυτό ήταν το πρώτο ιατρικό θερμοόμετρο.

## 2.5 Τύποι θερμομέτρων

- Υδραργυρικό θερμοόμετρο: Χρησιμοποιείται ως μέσο ένδειξης η διαστολή - συστολή του υδραργύρου.
- Οινοπνευματικό θερμοόμετρο ή **Θερμόμετρο υγρού**: Είναι όλα του τύπου του υδραργυρικού θερμομέτρου και απλά αντικαθίσταται ο υδράργυρος με άλλο υγρό (αιθυλική αλκοόλη ή πεντάνιο με κάποια χρωστική ουσία, επειδή αυτά είναι διαφανή), αν προορίζονται για μετρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών.
- Διμεταλλικό σπειροειδές έλασμα από θερμοόμετρο αντιδρά στη θερμότητα από τη φλόγα αναπτήρα. Μόλις η φλόγα απομακρυνθεί το έλασμα επανέρχεται σταδιακά στην κανονική του κατάσταση
- Μεταλλικό θερμοόμετρο ή **Θερμόμετρο ελατηρίου**: Διαθέτουν ένα διμεταλλικό σπειροειδές επίπεδο ελατήριο, το οποίο συστέλλεται και διαστέλλεται ανομοιόμορφα ανάλογα με τη θερμοκρασία και μεταβάλλει τη διάμετρό του. Στο άκρο του ελατηρίου είναι διαμορφωμένος ένας δείκτης ο οποίος έχει τις ενδείξεις σε κατάλληλα βαθμολογημένη κλίμακα.
- Ηλεκτρικό θερμοόμετρο: Στηρίζονται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή όταν ένας αγωγός έχει διαφορετική θερμοκρασία στα άκρα του, τότε σε αυτά δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού, η οποία είναι δυνατό να μετρηθεί με γαλβανόμετρο. Σε αυτό τον τύπο ανήκουν τα θερμοόμετρα στον πίνακα οδήγησης αυτοκινήτων. Σύμφωνα με την κατασκευή και την επιλογή υλικών είναι δυνατό να παρέχουν μεγάλη ακρίβεια, ιδιαίτερα στις μετρήσεις υψηλών θερμοκρασιών, όπου οι άλλοι δύο τύποι θερμομέτρων μειονεκτούν.
- Θερμόμετρο αερίου ή *Θερμόμετρο αερικό*,
- Θερμόμετρο ακροβάθμιο,
- Θερμόμετρο αναρροφητικό,
- Θερμόμετρο αυτογραφικό ή Θερμογράφος,
- Θερμόμετρο Beckmann,
- Θερμόμετρο εδάφους,
- Θερμόμετρο ιατρικό,
- Θερμόμετρο σφενδονοειδές,
- Πυρόμετρο και
- Υδροθερμοόμετρο

## 2.6 Μηχανικά Μανόμετρα τύπου Bourdon

Τα μανόμετρα αυτά στηρίζονται στην ελαστική παραμόρφωση ελάσματος ή ελατηρίου, και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση μεσαίων και μεγάλων πιέσεων. Το έλασμα έχει μήκος ίσο με  $\frac{3}{4}$  του κύκλου, έχει ελλειπτική διατομή. Με την αύξηση της πίεσης η διατομή μεγαλώνει, και επειδή το υλικό έχει την ιδιότητα να κρατάει τον όγκο του, μικραίνει το μήκος του, με αποτέλεσμα να μετακινεί την βελόνα των ενδείξεων προς τα επάνω.



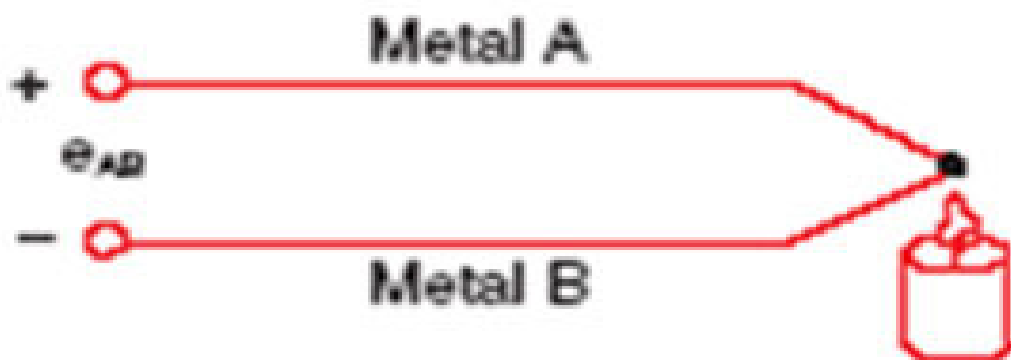
Εικόνα 6 Μανόμετρα τύπου Bourdon

## 2.7 Θερμοζευγη

Το θερμοζευγος είναι ένα όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας στο οποίο υπάρχουν δυο ανόμοιοι μεταλλικοί αγωγοί που είναι συνδεδεμένοι στο ένα άκρο. Όταν θερμάνουμε αυτό το κοινό άκρο, τότε δημιουργείται διάφορα δυναμικού ανάμεσα στους δυο μεταλλικούς αγωγούς που εξαρτάται από την διάφορα θερμοκρασίας.

Τα θερμοζευγη (thermocouples) είναι κατάλληλα για την μέτρηση θερμοκρασιών πάνω στη γραμμή παράγωγης η επεξεργασίας γιατί είναι

- Αξιόπιστα
- Ακριβή
- Οικονομικά
- Μικρά στο μέγεθος



Εικόνα 7 Θερμοζευγος

## Γιατί αναπτύσσεται η διάφορα δυναμικού

Όπως είναι γνωστό τα μέταλλα ως καλοί αγωγοί της θερμοκρασίας και του ηλεκτρισμού, έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Για κάθε θερμοκρασία υψηλότερη του απολύτου μηδενός, η κινητική ενέργεια των ελευθέρων ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη του μηδενός, δηλαδή, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται συνεχώς στη μάζα του μετάλλου. Όσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία του μετάλλου, τόσο πιο υψηλή είναι η κινητική ενέργεια των ελευθέρων ηλεκτρονίων. Η διαρκώς κίνηση των ηλεκτρονίων είναι τυχαία, προς όλες τις κατεύθυνσης. Εάν υποθέσουμε ότι θερμαίνουμε μόνο το ένα άκρο του μετάλλου. Εφόσον η θερμοκρασία στο άκρο αυτό είναι υψηλότερη, τα ηλεκτρόνια στο θερμό άκρο έχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια, δηλαδή μεγαλύτερη ταχύτητα. Έτσι, τα ηλεκτρόνια από το θερμό άκρο κινούνται πιο γρήγορα από τη θερμή περιοχή προς την ψυχρότερη, απ' ότι τα ηλεκτρόνια της ψυχρής περιοχής προς τη θερμή. Αποτέλεσμα αυτού είναι στην θερμή περιοχή να υπάρχουν λιγότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια, απ' ότι στην ψυχρή περιοχή, με άλλα λόγια να έχουμε συσσώρευση ελευθέρων ηλεκτρονίων στο ψυχρότερο άκρο. Η συσσώρευση ηλεκτρονίων στην ψυχρότερη περιοχή δημιουργεί ηλεκτροστατικό πεδίο μέσα στο μέταλλο, και η φορά του ηλεκτροστατικού πεδίου που αναπτύσσεται αποτρέπει την περαιτέρω συσσώρευση ηλεκτρονίων.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **θερμοηλεκτρικό φαινόμενο** ή φαινόμενο Seebeck. Είναι λοιπόν γνωστό ότι το ηλεκτροστατικό πεδίο που δημιουργείται εξαρτάται από τη διαφορά στην κινητική ενέργεια που έχουν τα ηλεκτρόνια του θερμού άκρου από εκείνα του ψυχρού άκρου. Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων όπως είδαμε εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Έτσι, η ΗΕΔ ( $E$ ) που αναπτύσσεται στα άκρα του μετάλλου είναι η παρακάτω σχέση.

$$E = S \cdot (T_{\text{Θερμ}} - T_{\text{Ψυχρ}}) = S \cdot \Delta T$$

- $T_{\text{Θερμ}}, T_{\text{Ψυχρ}}$  είναι η θερμοκρασία τού θερμού και του ψυχρού άκρου αντίστοιχα σε βαθμούς K.
- $S$  ονομάζεται συντελεστής Seebeck.
- Διάφορα θερμοκρασίας ψυχρού ζεστού άκρου,  $\Delta T$

## Πως Δουλεύει το θερμοζεύγος

Ας θεωρήσουμε τώρα δυο διαφορετικά μέταλλα (A και B) τα οποία έχουν διαφορετικό συντελεστή Seebeck  $S_A$  και  $S_B$  αντίστοιχα. Αν τα δυο μέταλλα τα συνδέσουμε στο ένα τους άκρο, τότε από την τελευταία σχέση θα έχουμε

$$E = E_B - E_A = (S_B - S_A) \cdot \Delta T = S_{BA} \cdot \Delta T$$

δηλαδή, ανάμεσα στα δυο ελεύθερα άκρα θα εμφανίζεται ΗΕΔ η οποία θα εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) και θα είναι ανάλογη του συντελεστή  $S_{BA}$ . Το σύστημα των δυο μεταλλικών αγωγών που είναι ενωμένοι στο ένα τους άκρο ονομάζεται **θερμοηλεκτρικό ζεύγος** ή απλά **θερμοζεύγος**. Ο συντελεστής  $S_{BA}$  ονομάζεται συντελεστής Seebeck του θερμοζεύγους. Στην πραγματικότητα έχουμε πολλά ήδη θερμοζευγών, ανάλογα με τα μέταλλα από τα οποία αποτελούνται. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση διαφοράς θερμοκρασίας όπως προκύπτει από την τελευταία σχέση. Για παράδειγμα, το θερμοζεύγος τύπου T αποτελείται από έναν αγωγό χαλκού και έναν κράματος χαλκού-νικελίου (constantan) ενώ η αντιστοιχία της διαφοράς δυναμικού δημιουργείται με τη διαφορά θερμοκρασίας. Τα μέταλλα όπως είναι γνωστό έχουν γενικά πολύ υψηλό σημείο τήξης, τα θερμοζεύγη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση υψηλών θερμοκρασιών, και αυτό είναι το βασικό τους πλεονέκτημα.

## Εφαρμογές Θερμοζευγων

Τα θερμοζευγη λόγω των χαρακτηριστικών τους είναι αισθητήρες που υπάρχουν σε μια σειρά από εφαρμογές. Είναι ανθεκτικά, ανεπηρέαστα από κρούσεις και κραδασμούς. Απλά στην κατασκευή τους και δεν χρειάζονται κάποια εξωτερική διέγερση για να δουλέψουν. Τα θερμοζευγη τέλος πρέπει να σημειωθεί πως δεν αυτοθερμαινονται και πως μπορούν να



κατασκευαστούν σε σχετικά πολύ μικρό μέγεθος. Κανένας άλλος αισθητήρας δεν παρουσιάζει τέτοιο εύρος πλεονεκτημάτων.

### **Παραδείγματα θερμοζευγων στο εμπόριο**

Ορισμένα παραδείγματα τα οποία μπορούμε να τα δούμε στο εμπόριο είναι τα παρακάτω.



Εικόνα 8 Μοντέλο 926-1

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τύπος μπαταρίας 9V, 6F22

Βάρος 171 g

Διαστάσεις 182X64X40 mm

Τύπος αισθητήρα θερμοζευγος τύπου T

Κλίμακα μέτρησης -50 έως +400 C<sup>0</sup>

Ακρίβεια +, - 3 C<sup>0</sup>

Ανάλυση 0.1 C<sup>0</sup>



Εικόνα 9 Όργανο Βαθμονόμησης Θερμοζευγους

Όργανο ακριβείας που χρησιμοποιείται ως όργανο μέτρησης η ως πηγή για την βαθμονόμηση συσκευών θερμοηλεκτρικής σύζευξης. Μονάδες μέτρησης σε C<sup>0</sup>, F<sup>0</sup>, mV.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ευρος - 200 C<sup>0</sup> - 1800 C<sup>0</sup>, 10 - 75 mV

Ακρίβεια 0.1 C<sup>0</sup>, 0.01 mV

Ανάλυση +/- (0.3 C<sup>0</sup> + 10 μV + - 0.02 %)

## 2.8 Είδη αισθητήρων Υπέρυθρου

Εκτός από τα παραπάνω πολύ εύχρηστα είναι τα φορητά θερμόμετρα που διαθέτουν προηγμένα χαρακτηριστικά για να ελέγχουν την θερμοκρασία των μηχανημάτων η και για χρήση προληπτικής συντήρησης και επίσης για ελέγχους ασφάλειας. Τα φορητά υπέρυθρα θερμόμετρα είναι πολύ εύκολα στη χρήση και λειτουργία- στοχεύουμε το υλικό η αντικείμενο, φωτογραφίζουμε και διαβάζουμε τη θερμοκρασία στην οθόνη, όπως ακριβώς γίνεται και με της συμβατικές αναλογικές και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Ο έλεγχος μιας επιφάνειας με ένα θερμόμετρο μας δείχνει γρήγορα τα θερμά και ψυχρά σημεία. Η χρήση λέιζερ βοηθά στον εντοπισμό μικρών στόχων από απόσταση, ακόμη και εκεί όπου ο φωτισμός είναι χαμηλός.



Εικόνα 10 Φορητό Θερμόμετρο

## 2.9 Θερμόμετρα μεταβαλλόμενης ωμικής αντίστασης.

### Αισθητήρες RTD (Resistance Temperature Detectors)

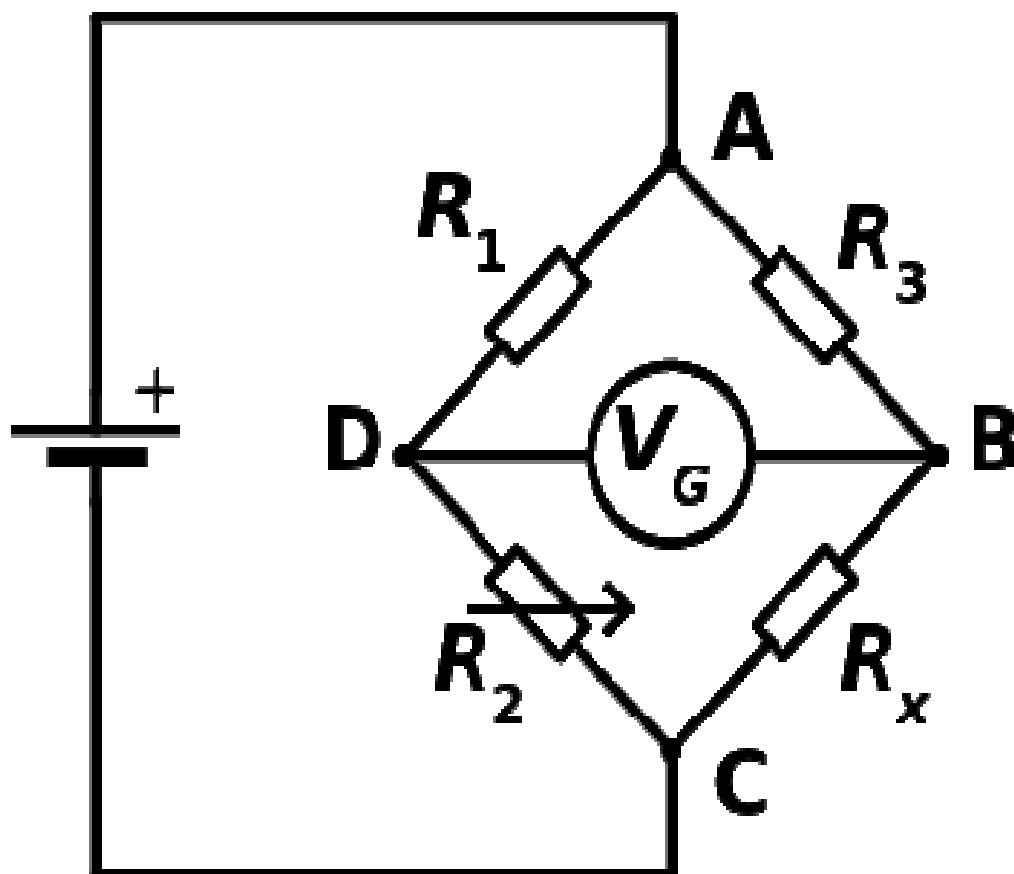
Οι συγκεκριμένη αισθητήρες, αποτελούνται από περιελισσόμενο σύρμα η λεπτή μεταλλική επίστρωση και μετρούν θερμοκρασία με βάση τη φυσική αρχή του θετικού συντελεστή μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης των μετάλλων με την θερμοκρασία.

- Η αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργεί αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των αισθητήρων κατασκευάζονται από πλατίνα και για το λόγο αυτό πολλές φορές ονομάζονται και αισθητήρες PRT ( platinum resistance thermometers).

Τα θερμόμετρα αντίστασης υπάρχουν σε δυο κυρίως μορφές.

- Λεπτής μεταλλικής επίστρωσης πάνω σε κεραμικό υπόστρωμα, θωρακισμένο με γυαλί η πορσελάνη για λογούς προστασίας σε αντίξοα περιβάλλοντα.
- Ελικοειδούς σύρματος, με διπλή περιέλιξη για να αποφεύγονται τα ηλεκτρομαγνητικά παράσιτα, προστατευμένο με κέλυφος κεραμικού υλικού παραπλήσιου συντελεστή διαστολής με το σύρμα.

Στα παραπάνω συστήματα, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των μετάλλων είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, άρα η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να οδηγήσει σε προσδιορισμό της θερμοκρασίας. Επειδή όμως η ηλεκτρική αντίσταση του RTD μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία, για να μετατραπεί αυτή η μεταβολή αντίστασης σε τάση, χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα όμοιο με αυτό μιας γέφυρας Wheatstone.



Εικόνα 11 Γέφυρα Wheatstone

Η γέφυρα **Wheatstone** είναι ηλεκτρικό κύκλωμα σταθερού ρεύματος το οποίο χρησιμοποιούνταν παλαιότερα για τη μέτρηση μιας άγνωστης αντίστασης κυκλώματος κατόπιν συγκρίσεως με μια γνωστή πρότυπη αντίσταση. Οι αντιστάτες θερμομέτρα μπορούν να κατασκευαστούν από πληθώρα μετάλλων. Καταλληλότερα μέταλλα θερμοαντίστασης, που αντέχουν στην οξείδωση είναι τα παρακάτω Χρυσός, νικέλιο, χαλκός, αργυρός. Για χαμηλές θερμοκρασίες χρειάζονται αντιστάσεις άνθρακα, ενώ για υψηλές θερμοκρασίες χρειάζονται βολφράμιο. Για τους λόγους όμως ότι η συνάρτηση μεταξύ ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και θερμοκρασίας δεν είναι ίδια για όλα τα υλικά, στη θερμομετρία χρησιμοποιούνται, κατά φθίνουσα σημασία, ο λευκόχρυσος, το νικέλιο και ο χαλκός.

## **Αρχή Λειτουργίας αισθητήρων RTD**

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας RTD έχουν δημιουργηθεί από μέταλλα των οποίων η αντίσταση αυξάνει με την θερμοκρασία. Σε ένα εύρος θερμοκρασίας, η ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται γραμμικά με την θερμοκρασία. Οποδήποτε μέταλλο έχει μια και μοναδική αντίσταση τη τιμή της οποίας μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά. Αυτή η αντίσταση είναι ευθέως ανάλογη με το μήκος του σύρματος μετάλλου, και αντιστρόφως ανάλογη προς την διατομή.

$$R = \rho \cdot l / s$$

**Όπου**

**$\rho$ : η ειδική αντίσταση του υλικού (ohm)**

**R: η αντίσταση του υλικού**

**S: το εμβαδό εγκάρσιας διατομής του αγωγού (m<sup>2</sup>)**

Η σχέση ειδικής αντίστασης και θερμοκρασίας μπορεί να εκφραστεί ως

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

**$\rho$ : η ειδική αντίσταση στην θερμοκρασία T (ohm)**

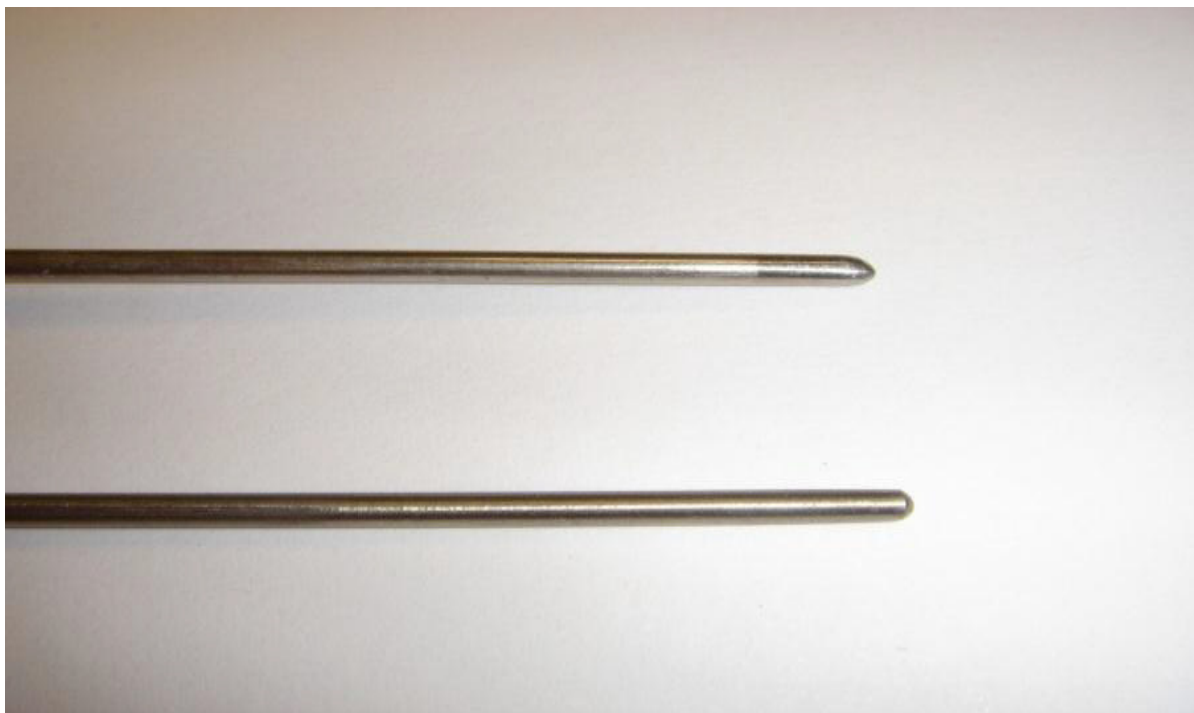
**$\rho_0$ : η ειδική αντίσταση σε συνθήκες αναφοράς ( 0 C<sup>0</sup>)**

**$\alpha$  : συντελεστής θερμοκρασίας της αντίστασης ( 1/ C<sup>0</sup>)**

**T: θερμοκρασία της αντίστασης ( 0 C<sup>0</sup>)**

## Τύποι Αισθητήρων RTD

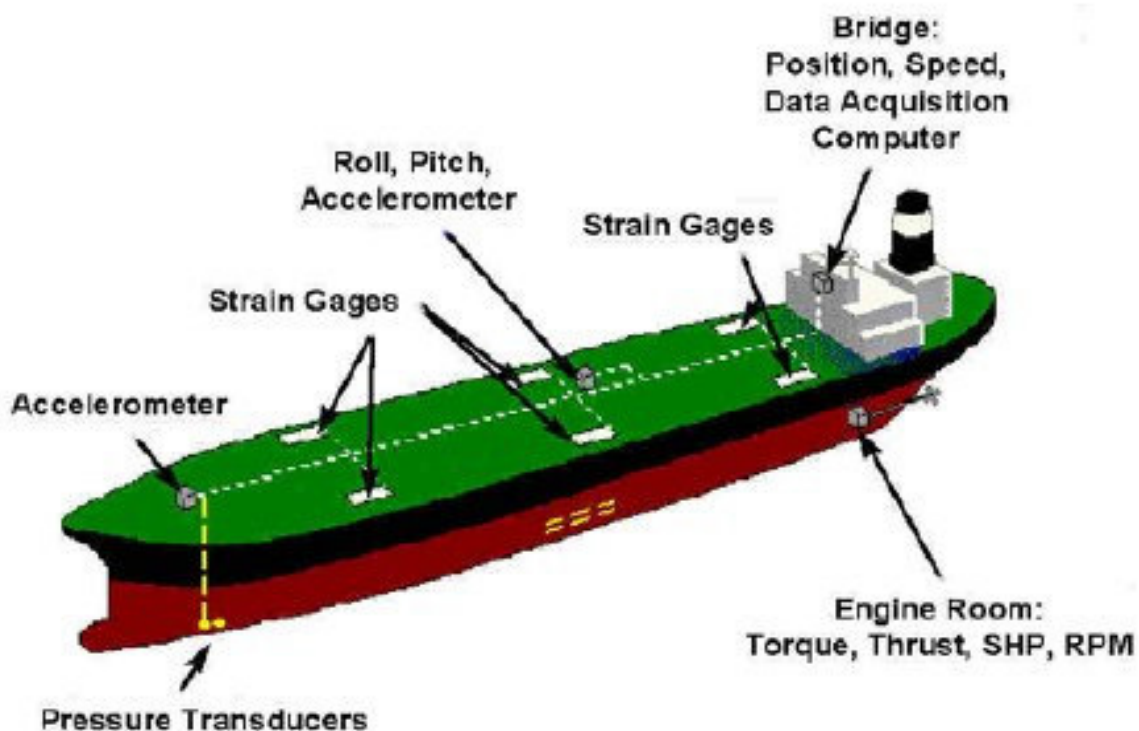
Τα PRT έχουν δημιουργηθεί σε διαφορές μορφές. Οι αισθητήρες γενικής χρήσης αποτελούνται από σύρμα πλατίνας. Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν ανεπτυχθεί και PRT λεπτών υμένων. Οι αισθητήρες σύρματος αποτελούνται από ελικοειδές πολύ λεπτό σύρμα πλατίνας τοποθετημένου στο εσωτερικό κεραμικού σωληνίσκου, ώστε να προστατεύεται και να στηρίζεται. Το σύρμα μπορεί να είναι ενωμένο με το σωληνίσκο. Οι αισθητήρες σύρματος είναι κατά κανόνα ακριβέστεροι από αυτούς με το λεπτό υμενιο, επειδή και η καθαρότητα του μετάλλου ελέγχεται καλύτερα και δεν δημιουργούνται σφάλματα λόγω διατομής. Είναι όμως ακριβότεροι. Οι αισθητήρες υμενίου αποτελούνται από ένα λεπτό μεταλλικό υμενιο το οποίο εναποτίθεται σε κεραμικό η υαλώδες υπόστρωμα. Είναι λιγότερο ακριβείς σε σχέση με τους αισθητήρες σύρματος. Είναι όμως σχετικά φθηνοί, διατίθενται σε μικρά μεγέθη και αντέχουν περισσότερο σε μηχανικές καταπονήσεις. Οι αισθητήρες δεν μπορούν γενικά να χρησιμοποιηθούν στη βασική μορφή τους, όπως δηλαδή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα γιατί είναι ευαίσθητοι. Εισάγονται συνήθως σε κάποια προστατευτική διάταξη – θήκη, ώστε να μπορούν να αντέξουν στο περιβάλλον το οποίο θα λειτουργήσουν.



Εικόνα 12 Απεικόνιση τυπικής διάταξης σε PRT σε θήκη

## 2.10 Συστήματα παρακολούθησης πλοίου

Εκτός από τους αισθητήρες που τοποθετούνται σε διάφορα μηχανήματα για την παρακολούθηση διαφόρων ενδείξεων όπως είναι (θερμοκρασία, πίεση κλπ) έχουμε και τα συστήματα παρακολούθησης της γάστρας (Hull) του πλοίου που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της κόπωσης της κατασκευής καθώς και των κρουστικών φορτίων. Τα συστήματα βασίζονται σε μετρήσεις των τοπικών τάσεων σε ένα πεπερασμένο αριθμό σημείων. Οι μετρήσεις επεξεργάζονται κατά χρονικά διαστήματα από ένα σύστημα δεδομένων και παρουσιάζονται συνήθως με γραφική αναπαράσταση στη γέφυρα του πλοίου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων και χρησιμοποιούνται για τη μακροπρόθεσμη κοπωτική ανάλυση της μεταλλικής κατασκευής. Οι μετρήσεις γίνονται με αισθητήρες παραμόρφωσης και έτσι υπολογίζονται οι τάσεις στην κατασκευή. Δυο σημαντικά προβλήματα της μεθόδου αυτής είναι, πρώτον η αξιόπιστη μεταφορά αποτελεσμάτων από τους αισθητήρες στο σύστημα πληροφοριών και, δεύτερων, ο ακριβής εντοπισμός των σημείων που πρέπει να τοποθετηθούν οι αισθητήρες.



Εικόνα 13 Αισθητήρες σε ένα Δεξαμενόπλοιο



Για τα συστήματα τα όποια μετρούν παραμορφώσεις είναι λογικό να συνδυάζονται με συστήματα κινήσεως του πλοίου καθώς και με επιταχυνσιομετρα στην πλώρη. Αυτός ο συνδυασμός βοήθα στην λειτουργικότητα του συστήματος αφού εκτός από την παρακολούθηση των τάσεων υπάρχουν ενδείξεις για φορτία σφυροκρουσης και το σύστημα έχει περισσότερες πληροφορίες για την συσχέτιση της κατάστασης της θάλασσας με τις κινήσεις του πλοίου και των φορτίων στη γάστρα.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των ολοκληρωμένων συστημάτων σε πλοία είναι τα παρακάτω.

#### Ανταγωνιστικότητα

- Πλοίο πιο αξιόπλοο
- Επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του πλοίου
- Ακριβής γνώση της καταπόνησης και της κόπωσης.

#### Ασφάλεια

- Ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικών ζημιών
- Η γάστρα δεν φορτίζεται υπερβολικά
- Μειωμένες πιθανότητες αστοχίας λόγω έγκαιρης προειδοποίησης
- Προστασία πληρώματος, σκάφους, φορτίου
- Αυξημένη άνεση επιβατών

#### Μείωση Κόστους

- Πιθανή μείωση του κόστους των ασφάλιστρων
- Αύξηση της αξίας πώλησης του σκάφους
- Πολύ καλή επιθεώρηση και συντήρηση του σκάφους χωρίς περιττά έξοδα.



## Κεφάλαιο3

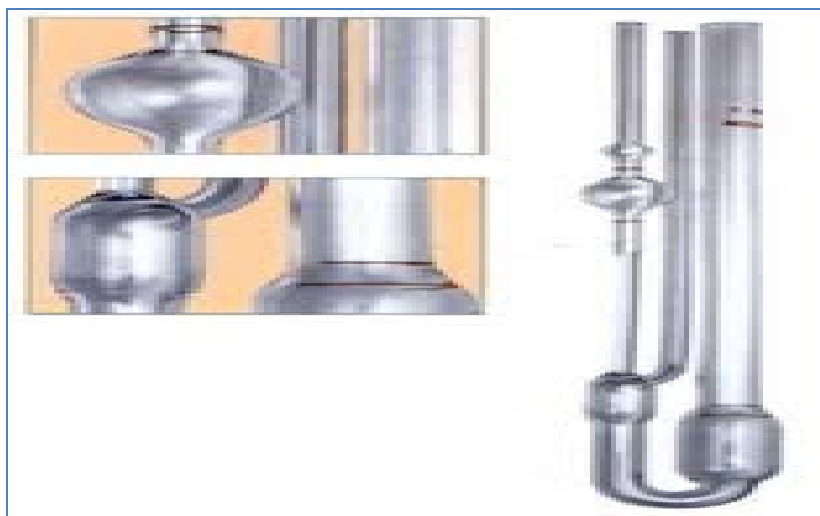
### 3.1 Ιξωδόμετρα

Το ιξώδες είναι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει τη ρευστότητα των υγρών ή τη λεγόμενη «εσωτερική τριβή». Είναι η αντίσταση στη ροή που εμφανίζει ένα υγρό κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Διακρίνουμε το δυναμικό ή απόλυτο ιξώδες ( $\mu$  ή  $\eta$ ) του οποίου οι μονάδες είναι το poise (p) ή συνήθως το cp ( $1 \text{ cp}=0,01 \text{ p}=1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ) και το κινηματικό ιξώδες ( $\nu$ ) με μονάδα το stoke (st) και το cst ( $1 \text{ cst}=1 \text{ cm}^2/\text{s}$ ). Το δυναμικό και κινηματικό ιξώδες σχετίζονται με τη σχέση:  $\nu=\eta/\rho$  όπου  $\rho$  πυκνότητα του υγρού (σε  $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Η μέτρηση του ιξώδους γίνεται με ειδικά όργανα, τα ιξωδόμετρα (viscometers). Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ιξωδομέτρων, οι όποιοι στηρίζονται και σε διαφορετικό τρόπο προσδιορισμού του ιξώδους. Η επιλογή του καταλληλότερου σε κάθε περίπτωση ιξωδομέτρου καθορίζεται από μια σειρά παραμέτρων, όπως για παράδειγμα ο τύπος του ρευστού, η απαιτούμενη στάθμη αξιοπιστίας των μετρήσεων, η ευκολία χειρισμού, η θερμοκρασιακή περιοχή μετρήσεων, το κόστος κτλ. Για παράδειγμα αναφέρουμε τα ιξωδόμετρα τριχοειδούς ροής, ιξωδόμετρα περιστροφής, ιξωδόμετρα ταλάντωσης, ιξωδόμετρα πτώσης σώματος.

## 3.2 Τύποι Ιξωδομέτρων

### Τύπου Cannon Fenskes

Το ιξωδόμετρο σχήματος U αντίστροφης ροής (Cannon Feskes) είναι κατασκευασμένο από καθαρό βόριο πυριτικό ή από γυαλί, ανθεκτικό σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Ανάλογα με το εύρος του ιξώδους που μπορεί να μετρήσει ένα τέτοιο ιξωδόμετρο, μεταβάλλει τη διάμετρο του τριχοειδούς σωλήνα. Για να μετρήσουμε το ιξώδες κάποιο ρευστού, διηθούμε από το δείγμα 12-15 cm<sup>3</sup>, ανάλογα με το μέγεθος του ιξωδομέτρου. Μεταγγίζουμε το διηθημένο δείγμα στο σωλήνα πλήρωσης του ιξωδομέτρου, χωρίς να υπερβούμε την ανώτερη γραμμή πλήρωσης. Αφήνουμε το δείγμα να ρέει μέσα από το τριχοειδές σωληνάκι, φροντίζοντας η στήλη του υγρού να είναι συνεχής μέχρι να φτάσει σε μια θέση περίπου 5 mm, κάτω από την κατώτερη γραμμή πλήρωσης. Διακόπτουμε τη ροή κλείνοντας το λεπτό σωλήνα με πώμα. Τοποθετούμε το ιξωδόμετρο στο λουτρό και όταν αυτό πάρει τη θερμοκρασία του λουτρού φέρουμε τη στάθμη του υγρού ακριβώς στην ανώτερη γραμμή πλήρωσης. Απομακρύνουμε το πώμα και αφήνουμε το δείγμα να ρεύσει. Μετράμε το χρόνο, σε sec  $t_1$ ,  $t_2$ , που απαιτείται για να ρεύσει από την κατώτατη στην ανώτατη γραμμή χρονομέτρησης. Με αυτόν τον τύπο του ιξωδομέτρου γίνεται μόνο μια μέτρηση. Το συνολικό ιξώδες προκύπτει από το μέσο όρο των μετρήσεων  $v_1$ ,  $v_2$ . Το δυναμικό ιξώδες προφανώς βρίσκεται πολλαπλασιάζοντας το κινηματικό ιξώδες με τη πυκνότητα του ρευστού. Για το συγκεκριμένο τύπου ιξωδόμετρο, ισχύει ότι ο χρόνος ροής για ένα συγκεκριμένο σταθερό όγκο είναι ανάλογος του κινηματικού ιξώδους.



Εικόνα 14

### 3.3 Ιξωδόμετρο τύπου πτώσης σφαίρας

#### Ιστορική αναδρομή

Το 1932 ο Fritz πήρε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την κατασκευή του πρώτου ιξωδόμετρο με πτώση σφαίρας, που μπορούσε να προσδιορίσει το δυναμικό ιξώδες. Περισσότερα ιξωδόμετρα αναπτύχθηκαν από τον Fritz στο Medingen της Γερμανίας τύπου πίεσης Ball Consistometer.

#### Λειτουργιά

Ο Νόμος Stokes είναι η βάση της πτώσης σφαίρας ιξωδόμετρο, στην οποία το ρευστό είναι στάσιμο σε ένα κατακόρυφο γυάλινο σωλήνα. Μια σφαίρα γνωστού μεγέθους και πυκνότητας αφήνεται να κατέλθει μέσω του υγρού. Αν επιλεγεί σωστά, φτάνει στην τελική ταχύτητα, η οποία μπορεί να μετρηθεί από το χρόνο που χρειάζεται για να περάσει από δύο σημάτων επί του σωλήνα. Ηλεκτρονική ανίχνευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αδιαφανή υγρά. Γνωρίζοντας την τελική ταχύτητα, το μέγεθος και η πυκνότητα της σφαίρας, και την πυκνότητα του υγρού, ο νόμος του Stokes μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ιξώδους του ρευστού. Μια σειρά από χαλύβδινα ρουλεμάν διαφορετικής διαμέτρου χρησιμοποιούνται συνήθως στο κλασικό πείραμα για να βελτιώσει την ακρίβεια του υπολογισμού. Στα πειράματα των σχολείων χρησιμοποιείται γλυκερίνη ως ρευστό, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται βιομηχανικά ώστε να ελέγχει το ιξώδες των υγρών που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες. Περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά έλαια, και πολυμερές υγρά όπως και διαλύματα. Το 1851, George Gabriel Stokes ανέπτυξε μία έκφραση για τη δύναμη τριβής (που ονομάζεται επίσης οπισθέλκουσα δύναμη) που ασκείται επί σφαιρικών αντικειμένων με πολύ μικρούς αριθμούς Reynolds (π.χ., πολύ μικρά σωματίδια) σε ένα συνεχή παχύρρευστο ρευστό, αλλάζοντας το μικρό όριο ρευστού-μάζα από το γενικό τύπο Navier-Stokes εξισώσεις:

$$F = 6\pi\eta r v$$

όπου:

- $F$  είναι η δύναμη τριβής,
- $r$  είναι η ακτίνα του σφαιρικού αντικειμένου,
- $\eta$  είναι το ιξώδες του ρευστού, και

- $v$  είναι η ταχύτητα του σωματιδίου.

Εάν τα σωματίδια που εμπίπτουν στο ιξώδες του ρευστού από το δικό τους βάρος, στη συνέχεια, η τελική ταχύτητα, επίσης γνωστή ως η ταχύτητα καθίζησης, επιτυγχάνεται όταν η δύναμη τριβής σε συνδυασμό με την δύναμη άνωσης ακριβώς στην εξισορρόπηση της βαρυτικής δύναμης. Η προκύπτουσα ταχύτητα καθίζησης (ή τελική ταχύτητα) δίνεται από:

$$V_s = \frac{2r^2g(\rho_p - \rho_f)}{9\mu}$$

όπου:

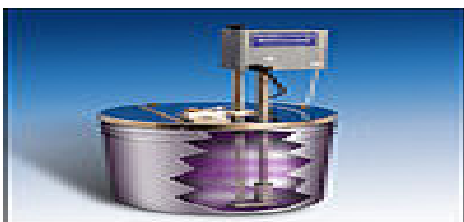
- $V_s$  είναι ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων (m / s) (κάθετα προς τα κάτω εάν  $\rho_p > \rho_f$ , προς τα πάνω, αν  $\rho_p < \rho_f$ ),
- $r$  είναι η ακτίνα Stokes του σωματιδίου (m),
- $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $m / s^2$ ),
- $\rho_p$  είναι η πυκνότητα των σωματιδίων ( $kg / m^3$ ),
- $\rho_f$  είναι η πυκνότητα του ρευστού ( $kg / m^3$ ), και
- $\mu$  είναι η (δυναμική) ρευστό ιξώδες (Pa s).

Σημειώστε ότι η ροή Stokes υποτίθεται, ότι ο αριθμός Reynolds πρέπει να είναι μικρός. Ένας περιοριστικός παράγοντας για την εγκυρότητα του αποτελέσματος είναι η τραχύτητα της σφαίρας που χρησιμοποιείται. Μια τροποποίηση της ευθείας πτώσης σφαίρας ιξωδόμετρο είναι ένα κυλιόμενο ιξωδόμετρο μπάλας που φέρει την μπάλα σε τροχιά, ενώ βυθίζεται στο υγρό της δοκιμής. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας μια πατενταρισμένη πλάκα V η οποία αυξάνει τον αριθμό των περιστροφών με την διανυόμενη απόσταση, επιτρέποντας μικρότερες πιο φορητές συσκευές. Αυτό το είδος της συσκευής είναι επίσης κατάλληλο για χρήση επί του σκάφους του πλοίου.



### 3.4 Ιξωδόμετρο με πτώση εμβόλου

Επίσης γνωστό ως το ιξωδόμετρο Norcross από τον εφευρέτη της, Austin Norcross. Η αρχή της μέτρησης του ιξώδους σε αυτή την ευαίσθητη βιομηχανική συσκευή βασίζεται σε ένα **έμβολο** συναρμολόγησης και ένα κύλινδρο. Το έμβολο αυξάνεται περιοδικά από ένα μηχανισμό ανύψωσης αέρα, αντλώντας το υλικό να μετρείται κάτω και μέσω του διακένου μεταξύ του εμβόλου και του τοιχώματος του κυλίνδρου εντός του χώρου που διαμορφώνεται κάτω από το έμβολο καθώς αυτό ανυψώνεται. Το συγκρότημα αυτό συνήθως καθυστερεί για λίγα δευτερόλεπτα, και στη συνέχεια αφήνεται να πέσει με τη βαρύτητα, την αποβολή του δείγματος έξω από το ίδιο μονοπάτι που τέθηκε, δημιουργώντας έτσι ένα φαινόμενο διάτμησης επί του μετρούμενου υγρού, το οποίο καθιστά αυτό το ιξωδόμετρο ιδιαίτερα ευαίσθητο και καλό για τη μέτρηση ορισμένων ισοτροπικών υγρών. Ο χρόνος της πτώσης είναι το μέτρο του ιξώδους, με το διάκενο μεταξύ του εμβόλου και του εσωτερικού του κυλίνδρου που σχηματίζει το στόμιο μέτρησης. Ο ελεγκτής ιξώδες μετρά το χρόνο πτώσης (χρόνο-πτώσης δευτερολέπτων είναι το μέτρο του ιξώδους) και εμφανίζει την προκύπτουσα τιμή ιξώδους. Ο ελεγκτής μπορεί να ρυθμίσει την τιμή του χρόνου-από-πτώση στο κύπελλο σε δευτερόλεπτα (γνωστό και ως κύπελλο εκροής), Saybolt καθολική δεύτερη (SUS) ή centipoise . Βιομηχανική χρήση της συσκευής αυτής είναι δημοφιλής λόγω της απλότητας, της επαναληψιμότητας, το χαμηλό κόστος συντήρησης και τη μακροζωία. Αυτό το είδος της μέτρησης δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα ροής ή εξωτερικών δονήσεων. Η αρχή λειτουργίας της μπορεί να προσαρμοσθεί για πολλές διαφορετικές συνθήκες, καθιστώντας το ιδανικό για τον έλεγχο της διαδικασίας



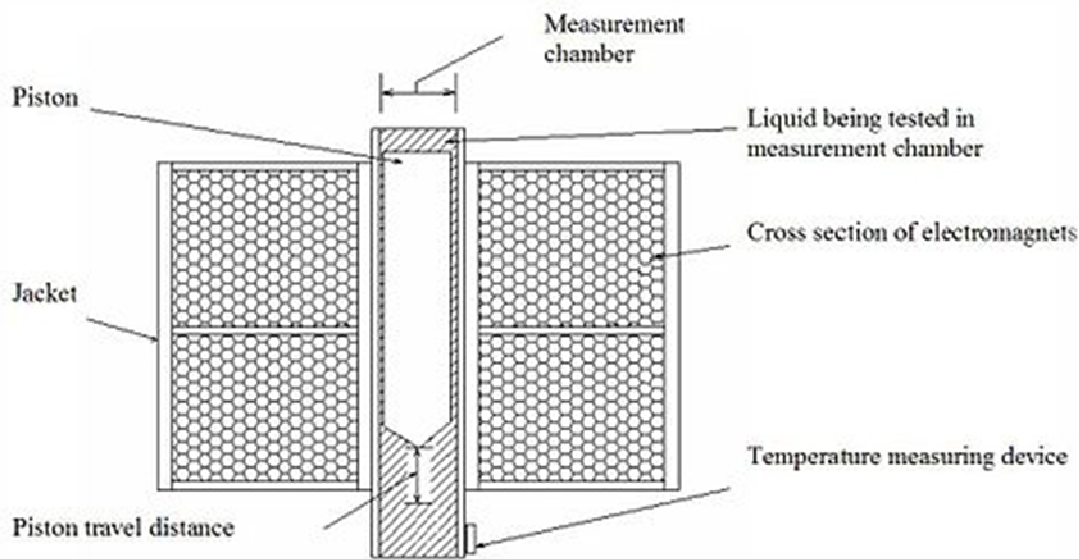
Εικόνα 16



### 3.5 Ιξωδόμετρο με έμβολο ταλάντωσης

Μερικές φορές αναφέρεται ως ηλεκτρομαγνητικό ιξωδόμετρο ή EMV ιξωδόμετρο, εφευρέθηκε στο Cambridge (Επισήμως Cambridge Εφαρμοσμένων Συστημάτων) το 1986 Ο αισθητήρας (βλέπε εικόνα παρακάτω) περιλαμβάνει ένα θάλαμο μέτρησης και που επηρεάζει μαγνητικά το έμβολο. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται σύμφωνα με το δείγμα που εισάγεται μέσα στον θερμικά ελεγχόμενο θάλαμο μέτρησης, όπου το έμβολο είναι. Ηλεκτρονικά οδηγεί το έμβολο σε ταλαντευτική κίνηση εντός του θαλάμου μέτρησης με ένα ελεγχόμενο μαγνητικό πεδίο. Μια διατμητική τάση που επιβάλλεται επί του υγρού (ή αέριο), λόγω της παλινδρομικής κίνησης του έμβολο το ιξώδες προσδιορίζεται με τη μέτρηση του χρόνου διαδρομής του εμβόλου. Οι παράμετροι για την κατασκευή του δακτυλιοειδούς διακένου μεταξύ του εμβόλου και του θαλάμου μετρήσεων, η ισχύς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, και η απόσταση της διαδρομής του εμβόλου χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ιξώδες σύμφωνα με το Νόμο του Νεύτωνα .

Η τεχνολογία ταλάντωσης εμβόλου ιξωδόμετρο έχει προσαρμοστεί για μικρό ιξώδες του δείγματος και δοκιμές του ιξώδους σε εργαστηριακές εφαρμογές. Επίσης, έχει προσαρμοστεί για τη μέτρηση της πίεσης υψηλού ιξώδους και υψηλής θερμοκρασίας μετρήσεις του ιξώδους τόσο σε εργαστηριακές και διαδικασία περιβάλλοντα. Οι αισθητήρες ιξώδους έχουν κλιμακωθεί για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών όπως μικρά ιξωδόμετρα μέγεθος για χρήση σε συμπιεστές και κινητήρες, ιξωδόμετρα flow-through για διεργασίες επίστρωσης με εμβάπτιση, in-line ιξωδόμετρα για χρήση σε διυλιστήρια, και εκατοντάδες άλλες εφαρμογές. Οι βελτιώσεις στην ευαισθησία από τη σύγχρονη ηλεκτρονική, η εξέλιξη του ιξωδόμετρο με ταλάντωση σφαίρας και η χρησιμότητα του σε ακαδημαϊκά εργαστήρια εξερεύνηση του ιξώδους του φυσικού αερίου.



Εικόνα 17

### 3.6 Περιστροφικό ιξωδόμετρο

Τα ιξωδόμετρα περιστροφής χρησιμοποιούν την ιδέα ότι η ροπή που απαιτείται για να μετατρέψει ένα αντικείμενο σε ένα ρευστό είναι μία συνάρτηση του ιξώδους του εν λόγω ρευστού. Μετρούν την ροπή που απαιτείται για την περιστροφή ενός δίσκου ή bob σε ένα ρευστό σε μια γνωστή ταχύτητα. «Κύπελλο και bob» ιξωδόμετρα λειτουργούν καθορίζοντας την ακριβή ποσότητα του δείγματος που πρέπει να περάσει σε ένα κελί δοκιμής? η ροπή που απαιτείται για να επιτευχθεί μια ορισμένη ταχύτητα περιστροφής μετράται και χαράσσεται. Υπάρχουν δύο τύπων γεωμετρία σε "κύπελλο και bob" ιξωδόμετρα, γνωστή ως και συστήματα "Couette" "Searle". Το περιστρεφόμενο κύπελλο προτιμάται σε ορισμένες περιπτώσεις, επειδή μειώνει την εμφάνιση του [Taylor δίνες](#) , αλλά είναι πιο δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια σε insument. «Cone και Plate» ιξωδόμετρα χρησιμοποιεί έναν κώνο από πολύ ρηχή γωνία σε γυμνή επαφή με μία επίπεδη πλάκα. Με το σύστημα αυτό ο ρυθμός διάτμησης κάτω από την πλάκα που είναι σταθερή σε ένα μέτριο βαθμό ακρίβειας και από την συνέλιξη μιας καμπύλης ροής και το γράφημα της διατμητικής τάσης (ροπής)

η συναρτήσει της ταχύτητας διατμήσεως (γωνιακή ταχύτητα) αποδίδει το ιξώδες σε ένα απλό τρόπο.



Εικόνα18

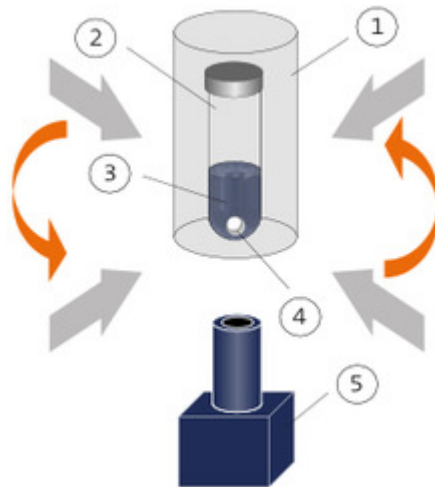
### **3.7 Ιξωδόμετρο με ηλεκτρομαγνητική περιστρεφόμενη σφαίρα**

Το EMS Ιξωδόμετρο μετρά το ιξώδες των υγρών μέσω της παρατήρησης της περιστροφής μιας σφαίρας η οποία οδηγείται από την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση: Δύο μαγνήτες που συνδέεται με ένα ρότορα δημιουργούν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Το δείγμα (3) που πρόκειται να μετρηθεί είναι σε ένα μικρό δοκιμαστικό σωλήνα (2). Στο εσωτερικό του σωλήνα είναι μια σφαίρα αλουμινίου (4). Ο σωλήνας βρίσκεται σε ένα θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας (1) και ρυθμίζεται έτσι ώστε η σφαίρα βρίσκεται στο κέντρο των δύο μαγνητών. Το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί δινορεύματα στον τομέα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου και αυτά τα δινορεύματα δημιουργούν ροπή που περιστρέφει τη σφαίρα. Η ταχύτητα περιστροφής της σφαίρας εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου, το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου και το ιξώδες του δείγματος γύρω από τη σφαίρα. Η κίνηση της σφαίρας παρακολουθείται από μια κάμερα

βίντεο (5) που βρίσκεται κάτω από το κύτταρο. Η ροπή που εφαρμόζεται στην σφαίρα είναι ανάλογη προς τη διαφορά της γωνιακή ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου  $\Omega_B$  και εκείνο της σφαίρας  $\Omega_S$ . Υπάρχει έτσι μια γραμμική σχέση μεταξύ  $(\Omega_B - \Omega_S) / \Omega_S$  και το ιζώδες του υγρού.

Αυτή η νέα αρχή μέτρησης αναπτύχθηκε από Sakai et al. στο Πανεπιστήμιο του Τόκιο. Το ιζωδόμετρο EMS ξεχωρίζει από τα άλλα περιστροφικά ιζωδόμετρα από τρία κύρια χαρακτηριστικά:

- Όλα τα μέρη του ιζωδομέτρου που έρχονται σε άμεση επαφή με το δείγμα είναι μιας χρήσης και ανέξοδη.
- Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε ένα σφραγισμένο δοχείο δείγματος.
- Το EMS Ιζωδομέτρου απαιτεί μόνο πολύ μικρές ποσότητες του δείγματος (0.3 mL).



Εικόνα 19

### 3.8 ιξωδόμετρο Stabinger

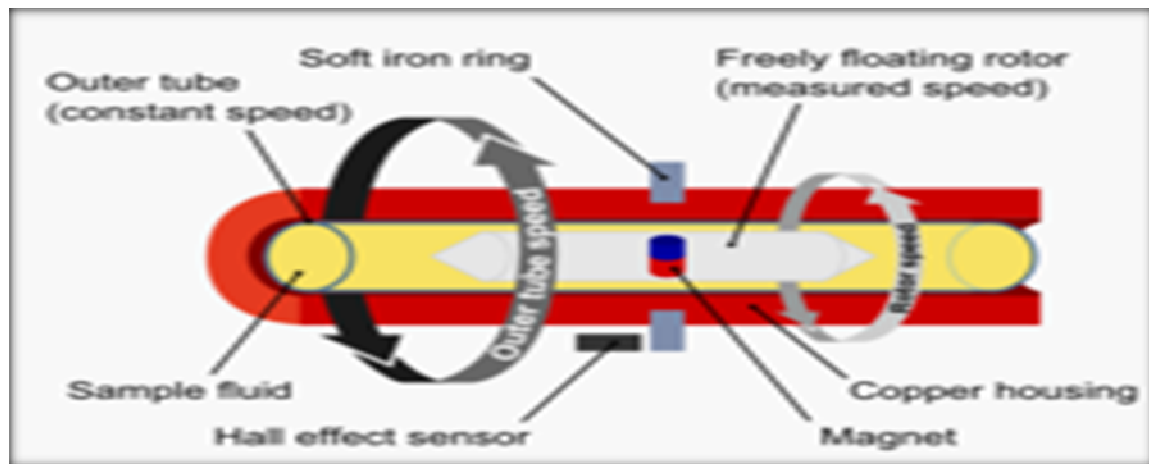
Τροποποιώντας το κλασικό τύπο Couette περιστροφικό ιξωδόμετρο, είναι δυνατόν να συνδυάσουμε την ακρίβεια του προσδιορισμού του κινηματικού ιξώδους με ένα ευρύ φάσμα μετρήσεων.

Ο εξωτερικός κύλινδρος του είναι ένας σωλήνας που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα με ελεγχόμενη θερμοκρασία περίβλημα χαλκού. Ο κοίλος εσωτερικός κύλινδρος - διαμορφώνεται ως κωνικό ρότορα - είναι ειδικώς ελαφρύτερος από τα δείγματα και επιπλέει ελεύθερα στο εσωτερικό τους, κεντράρεται με φυγόκεντρες δυνάμεις. Με τον τρόπο αυτό φέρουν τριβή, έναν αναπόφευκτο παράγοντα στις περισσότερες συσκευές περιστροφής. Οι διατμητικές δυνάμεις της περιστροφής του ρευστού σε κίνηση το δρομέα, ενώ ένας μαγνήτης στο εσωτερικό του ρότορα σχηματίζει μια πέδη δινορευμάτων με τον περιβάλλοντα περίβλημα χαλκού. Η σταθερή ταχύτητα του ρότορα που είναι εγκατεστημένος ανάμεσα στην οδήγηση και την επιβράδυνση των δυνάμεων, η οποία είναι ένα ξεκάθαρο μέτρο του δυναμικού ιξώδους. Η ταχύτητα και η ροπή μέτρησης υλοποιείται χωρίς άμεση επαφή με ένα φαινόμενο Hall αισθητήρας που μετρά τη συχνότητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Αυτό επιτρέπει για μια εξαιρετικά ακριβή ροπή ανάλυση των 50 pN · m και ένα ευρύ φάσμα μέτρησης από 0,2 έως 20.000 mPa · s με ένα ενιαίο σύστημα μέτρησης. Ένας ενσωματωμένος πυκνωτής μέτρησης με βάση την ταλάντωση επιτρέπει τον προσδιορισμό του κινηματικού ιξώδους που χρησιμοποιεί τη σχέση

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

όπου:

- $\nu$  είναι το κινηματικό ιξώδες (χιλιοστά<sup>2</sup> / s)
- $\eta$  είναι το δυναμικό ιξώδες (mPa.s)
- $\rho$  είναι η πυκνότητα (g / cm<sup>3</sup>)



Εικόνα 20

### 3.9 Ορθογώνια-σχισμής Ιξωδομέτρου

Ο βασικός σχεδιασμός ενός ορθογώνιου-σχισμής ιξωδόμετρο / ροόμετρο, που αναπτύχθηκε από τον [RheoSense](#), αποτελείται από μια ορθογώνια, σχισμή κανάλι με ομοιόμορφο εμβαδόν διατομής. Ένα υγρό δοκιμής αντλείται σε ένα σταθερό ρυθμό ροής διαμέσου αυτού του καναλιού. Αισθητήρες πολλαπλών πιέσεων τοποθετούνται χωνευτά σε γραμμική απόσταση κατά μήκος της κατεύθυνσης. **Αρχή μέτρησης:** Η σχισμή ιξωδόμετρο / ροόμετρο βασίζεται στη θεμελιώδη αρχή ότι ένα παχύρρευστο υγρό αντιστέκεται της ροής και παρουσιάζει μια μειωμένη πίεση κατά το μήκος της σχισμής. Η μείωση της πίεσης ή πτώσης ( $\Delta P$ ) συσχετίζεται με την διατμητική τάση στα όρια των τοιχώματων. Ο φαινόμενος ρυθμός διάτμησης είναι άμεσα συνδεδεμένα με το ρυθμό ροής και τη διάσταση της σχισμής. Ο φαινόμενος ρυθμός διάτμησης, η αλλιώς διατμητική τάση, και το φαινομενικό ιξώδες υπολογίζονται:

$$\dot{\gamma}_a = \frac{6Q}{wh^2}$$

$$\sigma = \frac{hw}{2(w+h)} \frac{\Delta P}{l}$$

$$\eta_a = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}_a}$$

$\dot{\gamma}$

= Φαινομενική Shear Rate ( $s^{-1}$ )

$\sigma$  = Shear Stress (Pa)

$\eta_a$  = Φαινομενική Ιξώδες (Pa-s)

$\Delta P$  = διαφορά πίεσης μεταξύ του πρότερου αισθητήρα πίεσης και τον αισθητήρα τελευταία πίεση (Pa)

$Q$  = ρυθμός ροής (ml / s)

$W$  = το πλάτος του καναλιού ροής (χιλιοστά)

$h$  = βάθος του καναλιού ροής (χιλιοστά)

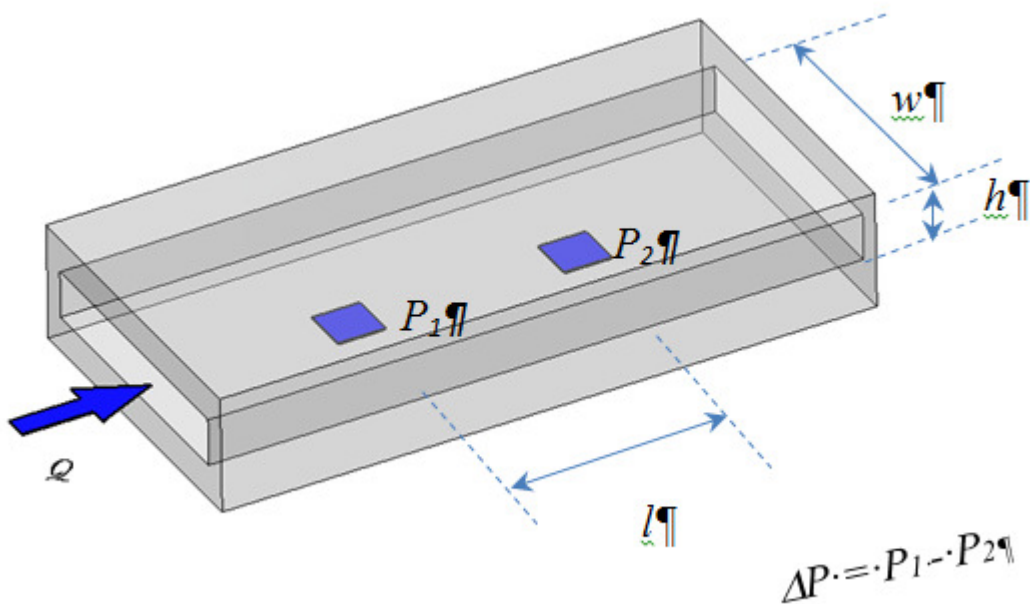
$L$  = η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα πίεσης που οδηγεί και τον αισθητήρα τελευταία πίεση (mm)

Για να προσδιοριστεί το ιξώδες ενός υγρού, αφήνουμε το δείγμα να ρεύσει μέσα από το κανάλι σε ένα σταθερό ρυθμό ροής και μετράμε της πτώσης πίεσης. Μετά από αυτές τις εξισώσεις, υπολογίζει το φαινομενικό ιξώδες για τον εμφανή ρυθμό διάτμησης. Για ένα Νευτώνειο υγρό, το φαινομενικό ιξώδες είναι το ίδιο με το πραγματικό ιξώδες και η μέτρηση μόνο του ρυθμού διάτμησης είναι επαρκής. Για μη νευτώνεια υγρά, το φαινομενικό ιξώδες δεν είναι αληθές ιξώδες. Για να αποκτήσει πραγματικό ιξώδες, μετράμε τα εμφανή ιξώδη σε πολλαπλές εμφανή ρυθμούς διάτμησης. Στη συνέχεια, τον υπολογισμό του πραγματικού ιξώδους,  $\eta$ , σε διάφορες ταχύτητες διατμήσεως χρησιμοποιώντας συντελεστή διόρθωσης Weissenberg-Rabinowitsch-Mooney:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{1}{2\eta_a} \left( 2 + \frac{d \ln \dot{\gamma}_a}{d \ln \sigma} \right)$$

Η υπολογισμένη πραγματική τιμή του ιξώδους θα είναι η ίδια όπως του κώνου και της πλακός στον ίδιο ρυθμό διάτμησης.

Μια τροποποιημένη εκδοχή της ορθογώνιας σχισμής ιξωδόμετρο / ροόμετρο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του φαινόμενου extensional ιξώδες.



Εικόνα21



### 3.10 Διάφορα είδη ιξωδόμετρο

Άλλοι τύποι ιξωδόμετρο χρησιμοποιούν μπάλες ή άλλα αντικείμενα. που μπορούν να χαρακτηρίσουν μη-Νευτώνεια ρευστά ονομάζονται συνήθως rheometers ή plastometers .

Στο ICI "Oscar" ιξωδόμετρο, είναι ένας σφραγισμένος κύλινδρος που μπορεί να ταλαντωθεί στρεπτηκά, και με έξυπνες τεχνικές μέτρησης είναι δυνατόν να μετρηθεί τόσο το ιξώδες αλλά και η ελαστικότητα του δείγματος.

Το γωνί Marsh μέτρα ιξώδες από το χρόνο ( *χρόνος εκροής* ) παίρνει ένα γνωστό όγκο του υγρού να ρέει από την βάση ενός κώνου μέσω ενός βραχέως σωλήνα. Αυτό είναι παρόμοιο κατ 'αρχήν με τις κούπες ροή (εκροή φλιτζάνια), όπως τα Ford , Zahn και Shell κύπελλα που χρησιμοποιούν διαφορετικά σχήματα στον κώνο και διάφορα μεγέθη ακροφυσίων. Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σύμφωνα με το πρότυπο ISO 2431, ASTM D1200 - 10 ή DIN 53411.

Η Ευέλικτη ροόμετρο λεπίδα βελτιώνει την ακρίβεια των μετρήσεων για τα υγρά χαμηλότερο εύρος ιξώδους χρησιμοποιώντας τις ανεπαίσθητες αλλαγές στον τομέα της ροής λόγω της ευελιξίας του κινούμενου ή σταθερή λεπίδα (μερικές φορές ονομάζεται πτέρυγα ή και μόνο πλευρά εμπλέκεται cantilever).

## Επίλογος - Συμπεράσματα

Στις μέρες μας ο ηλεκτρισμός και η γνώση του θεωρείται ένα από τα σημαντικά κομμάτια για την λειτουργία ενός σύγχρονου Μηχανοστασίου. Η γρήγορη και επιμελής πρόβλεψη μπορεί να σώσει κάποιο μηχανήμα πλοίου που έχει αρχίζει να φτάνει στα όρια της ολικής φθοράς. Αυτό γίνεται με την επίβλεψη ενός θερμομέτρου, η ενός μανόμετρου όπου μπορεί να δίνει εντολή σε ένα εγκέφαλο ενός (PLC) και αυτό με την σειρά του να κινεί ένα ρελε για να γίνεται αυτόματο σταμάτημα της λειτουργίας (Shut down) ενός μηχανήματος πριν αυτό φτάσει στην καταστροφή είτε από φθορά, η από κακό χειρισμό του πληρώματος. Θα έλεγα ότι τα καράβια τείνουν να γίνονται όλο και πιο ηλεκτρικά όσο πέρνα ο χρόνος. Αυτό σημαίνει ότι μελλοντικά θα χιαστή ίσως πιο ειδικευμένη γνώση για την λειτουργία και την συντήρηση του πλοίου. Η συγκεκριμένη εργασία μιλά για μετρητές ιξώδους, Αισθητήρες, και στο τελευταίο κεφάλαιο που αναφέρεται στα ιξωδόμετρα ένα πολύ σημαντικό μηχανήμα που η χρησιμότητα του μας βοηθάει στην μέτρηση του ιξώδους των υγρών . Ευελπιστώ ότι μελλοντικά το σύστημα παρακολούθησης της λειτουργίας στα καράβια θα εξελιχτεί σημαντικά ώστε θα μπορεί μια ομάδα από ειδικευμένους χειρίστες να είναι σε θέση να λειτουργούν ένα μικρό στόλο ιδίων βαποριών από απόσταση. Πιστεύω όμως ότι ακόμα είναι πάρα πολύ δύσκολο να αντικατασταθεί πλήρως η λήψη των αποφάσεων από ένα ρομποτικό χέρι, η ένα ηλεκτρονικό εγκέφαλο το οποίο θα λαμβάνει και θα ενεργή χωρίς την ανθρωπινή επέμβαση (decision making). Αν και η τεχνολογία μας έχει κάνει τεραστία άλματα των τελευταίο καιρό, πιστεύω ότι ακόμα είμαστε αρκετά μακριά από αυτό το στάδιο. Επίσης αυτό θα ήταν αρκετά ακριβό άλλα και παράλληλα ελκυστικό πακέτο ώστε να δημιουργηθεί ένα τέτοιου είδους μελλοντικό καράβι, που εάν το κοιτάζουμε από οικονομικής φύσεως, σίγουρα θα ήταν πάρα πολύ ασύμφορο να λειτουργήσει στο Εμπορικό Ναυτικό.

## Βιβλιογραφία

- 1) Introduction to Marine Engineering by DA Taylor
- 2) Το θερμόμετρο από (Wikipedia) πηγές ιντερνέτ.
- 3) Το ιξώδες από (Wikipedia) πηγές ιντερνέτ.
- 4) Μετρητές ροής από πηγές ιντερνέτ
- 5) Αισθητήρες από (Wikipedia) από πηγές ιντερνέτ.
- 6) Υπολογισμός καλωδίων Μέσης τάσης από την Ζουράρη Σ Μαρία (ΕΜΠ)
- 7) Ιξωδόμετρο, ιξώδες από (Wikipedia) από πηγές ιντερνέτ και Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας διδάσκων καθηγητής Νικόλαο Ανδρίτσο
- 8) Electrical Engineering by Mc-Hill
- 9) Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες από των Αθανάσιος Α. Αργυρίου Επίκουρο Καθηγητή Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Φυσικής.

## Παράρτημα

Πίνακας 1 Μεγίστη θερμοκρασία αγωγού, διάφορα είδη μονωτικού υλικού

| Insulating compound                             | Maximum conductor temperature<br>°C |   |
|---|-------------------------------------|---|
|   | Normal operation                    | Short-circuit<br>(5 s maximum duration) |
| Polyvinyl chloride (PVC/B)                      |                                     |   |
| Conductor cross-section $\leq 300 \text{ mm}^2$ | 70                                  | 160                                     |
| Conductor cross-section $> 300 \text{ mm}^2$    | 70                                  | 140                                     |
| Cross-linked polyethylene (XLPE)                | 90                                  | 250                                     |
| Ethylene propylene rubber (EPR and HEPR)        | 90                                  | 250                                     |

Πίνακας 2 Ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις και θερμοκρασιακές σταθερές

| Material  | Resistivity ( $\rho$ )<br>ohm · m at 20 °C | Temperature<br>coefficient ( $\alpha_{20}$ )<br>per K at 20 °C |
|---|--|--|
| a) <i>Conductors</i>  |  |  |
| Copper  | 1,7241 $10^{-8}$                           | 3,93 $10^{-3}$   |
| Aluminium   | 2,8264 $10^{-8}$                           | 4,03 $10^{-3}$   |
| b) <i>Sheaths and armour</i>  |  |  |
| Lead or lead alloy  | 21,4 $10^{-8}$                             | 4,0 $10^{-3}$  |
| Steel   | 13,8 $10^{-8}$                             | 4,5 $10^{-3}$  |
| Bronze  | 3,5 $10^{-8}$                              | 3,0 $10^{-3}$  |
| Stainless steel   | 70 $10^{-8}$                               | Negligible   |
| Aluminium   | 2,84 $10^{-8}$                             | 4,03 $10^{-3}$   |
| NOTE Values for copper conductors are taken from IEC 60028.<br>Value for aluminium conductors are taken from IEC 60889. |  |  |

Πίνακας 3 Θερμικές ειδικές αντίστασης υλικών

| Material  | Thermal resistivity ( $\rho_T$ )<br>Km/W |
|---|--|
| <i>Insulating materials*</i>  |  |
| Paper insulation in solid type cables   | 6,0                                      |
| Paper insulation in oil-filled cables   | 5,0                                      |
| Paper insulation in cables with external gas pressure   | 5,5                                      |
| Paper insulation in cables with internal gas pressure:  |  |
| a) pre-impregnated  | 5,5                                      |
| b) mass-impregnated   | 6,0                                      |
| PE  | 3,5                                      |
| XLPE  | 3,5                                      |
| PPL   | 5,5                                      |
| Polyvinyl chloride:   |  |
| up to and including 3 kV cables   | 5,0                                      |
| greater than 3 kV cables  | 6,0                                      |
| EPR:  |  |
| up to and including 3 kV cables   | 3,5                                      |
| greater than 3 kV cables  | 5,0                                      |
| Butyl rubber  | 5,0                                      |
| Rubber  | 5,0                                      |
| <i>Protective coverings</i>   |  |
| Compounded jute and fibrous materials   | 6,0                                      |
| Rubber sandwich protection  | 6,0                                      |
| Polychloroprene   | 5,5                                      |
| PVC:  |  |
| up to and including 35 kV cables  | 5,0                                      |
| greater than 35 kV cables   | 6,0                                      |
| PVC/bitumen on corrugated aluminium sheaths   | 6,0                                      |
| PE  | 3,5                                      |
| <i>Materials for duct installations</i>   |  |
| Concrete  | 1,0                                      |
| Fibre   | 4,8                                      |
| Asbestos  | 2,0                                      |
| Earthenware   | 1,2                                      |
| PVC   | 6,0                                      |
| PE  | 3,5                                      |
| <p>* For the purposes of current rating calculations, the semiconducting screening materials are assumed to have the same thermal properties as the adjacent dielectric materials. Where plastic or elastomeric materials are used for protective coverings, the thermal resistivities shall be taken to be the same as those for the insulating grades of the materials given in this table.</p> |  |

Πινάκας 4 Μέγιστη αντίσταση αγωγού στους 20 c<sup>0</sup>, αγωγοί για μονοπολικά και πολυπολικά καλώδια

| 1   | 2  | 3  | 4                  | 5            | 6      | 7  | 8                                       | 9                          | 10  |
|---|--|----|--------------------|--------------|--------|----|---|----------------------------|---|
| Nominal cross-sectional area<br>mm <sup>2</sup> | Minimum number of wires in the conductor |    |                    |              |        |    | Maximum resistance of conductor at 20°C |                            |   |
|   | Circular                                 |    | Circular compacted |              | Shaped |    | Annealed copper conductor               |                            | Aluminium or aluminium alloy conductor <sup>c</sup><br>Ω/km |
|   | Cu                                       | Al | Cu                 | Al           | Cu     | Al | Plain wires<br>Ω/km                     | Metal-coated wires<br>Ω/km |   |
| 0,5   | 7  | -  | -                  | -            | -      | -  | 36,0                                    | 36,7                       | -   |
| 0,75  | 7  | -  | -                  | -            | -      | -  | 24,5                                    | 24,8                       | -   |
| 1,0   | 7  | -  | -                  | -            | -      | -  | 18,1                                    | 18,2                       | -   |
| 1,5   | 7  | -  | 6                  | -            | -      | -  | 12,1                                    | 12,2                       | -   |
| 2,5   | 7  | -  | 6                  | -            | -      | -  | 7,41                                    | 7,56                       | -   |
| 4   | 7  | -  | 6                  | -            | -      | -  | 4,61                                    | 4,70                       | -   |
| 6   | 7  | -  | 6                  | -            | -      | -  | 3,08                                    | 3,11                       | -   |
| 10  | 7  | 7  | 6                  | 6            | -      | -  | 1,83                                    | 1,84                       | 3,08  |
| 16  | 7  | 7  | 6                  | 6            | -      | -  | 1,15                                    | 1,16                       | 1,91  |
| 25  | 7  | 7  | 6                  | 6            | 6      | 6  | 0,727                                   | 0,734                      | 1,20  |
| 35  | 7  | 7  | 6                  | 6            | 6      | 6  | 0,524                                   | 0,529                      | 0,868   |
| 50  | 19                                       | 19 | 6                  | 6            | 6      | 6  | 0,387                                   | 0,391                      | 0,641   |
| 70  | 19                                       | 19 | 12                 | 12           | 12     | 12 | 0,268                                   | 0,270                      | 0,443   |
| 95  | 19                                       | 19 | 15                 | 15           | 15     | 15 | 0,193                                   | 0,195                      | 0,320   |
| 120   | 37                                       | 37 | 18                 | 15           | 18     | 15 | 0,153                                   | 0,154                      | 0,253   |
| 150   | 37                                       | 37 | 18                 | 15           | 18     | 15 | 0,124                                   | 0,126                      | 0,206   |
| 185   | 37                                       | 37 | 30                 | 30           | 30     | 30 | 0,0991                                  | 0,100                      | 0,164   |
| 240   | 37                                       | 37 | 34                 | 30           | 34     | 30 | 0,0754                                  | 0,0762                     | 0,125   |
| 300   | 61                                       | 61 | 34                 | 30           | 34     | 30 | 0,0601                                  | 0,0607                     | 0,100   |
| 400   | 61                                       | 61 | 53                 | 53           | 53     | 53 | 0,0470                                  | 0,0475                     | 0,0778  |
| 500   | 61                                       | 61 | 53                 | 53           | 53     | 53 | 0,0366                                  | 0,0369                     | 0,0605  |
| 630   | 91                                       | 91 | 53                 | 53           | 53     | 53 | 0,0283                                  | 0,0286                     | 0,0469  |
| 800   | 91                                       | 91 | 53                 | 53           | -      | -  | 0,0221                                  | 0,0224                     | 0,0367  |
| 1 000   | 91                                       | 91 | 53                 | 53           | -      | -  | 0,0176                                  | 0,0177                     | 0,0291  |
| 1 200   |  |    |                    | <sup>b</sup> |        |    | 0,0151                                  | 0,0151                     | 0,0247  |
| 1 400 <sup>a</sup>                              |  |    |                    | <sup>b</sup> |        |    | 0,0129                                  | 0,0129                     | 0,0212  |
| 1 600   |  |    |                    | <sup>b</sup> |        |    | 0,0113                                  | 0,0113                     | 0,0186  |
| 1 800 <sup>a</sup>                              |  |    |                    | <sup>b</sup> |        |    | 0,0101                                  | 0,0101                     | 0,0165  |
| 2 000   |  |    |                    | <sup>b</sup> |        |    | 0,0090                                  | 0,0090                     | 0,0149  |
| 2 500   |  |    |                    | <sup>b</sup> |        |    | 0,0072                                  | 0,0072                     | 0,0127  |

<sup>a</sup> These sizes are non-preferred. Other non-preferred sizes are recognized for some specialized applications but are not within the scope of this standard.

<sup>b</sup> The minimum number of wires for these sizes is not specified. These sizes may be constructed from 4, 5 or 6 equal segments (Milliken).

<sup>c</sup> For stranded aluminium alloy conductors having the same nominal cross-sectional area as an aluminium conductor the resistance value should be agreed between the manufacturer and the purchaser.

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| Περηληψη.....  | 3  |
| Abstract.....  | 4  |
| Προλογος.....  | 5  |
| Κεφάλαιο 1   |    |
| Το ιξώδες.....   | 6  |
| Ροη γύρω από σφαίρα.....   | 8  |
| Ισορροπία δυνάμεων κατά την πτώση σφαιρικού σωματιδίου σε υγρο.... | 11 |
| Μονάδες Μέτρησης Ιξώδους.....                                      | 14 |
| Μέτρηση του Ιξώδους.....   | 14 |
| Κεφάλαιο 2   |    |
| Αισθητήρες.....  | 16 |
| Θερμομετρα.....  | 18 |
| Περιγραφή υδραργυρικού θερμομέτρου.....                            | 19 |
| Ιστορική Ανάδρομη.....   | 19 |
| Τύποι θερμομέτρων.....   | 20 |
| Μηχανικά Μανόμετρα Τύπου Bourdon.....                              | 21 |
| Θερμοζευγη.....  | 22 |
| Ειδή Αισθητήρων Υπερύθρου.....                                     | 27 |
| Θερμόμετρα Μεταβαλλόμενης ωμικής αντίστασης Αισθητήρες RTD.....    | 28 |
| Συστήματα Παρακολούθησης Πλοίου.....                               | 32 |
| Κεφάλαιο 3   |    |
| Ιξωδόμετρα .....   | 34 |
| Διάφορα Είδη ιξωδόμετρων.....                                      | 36 |
| Επίλογος Συμπεράσματα.....   | 48 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| Βιβλιογραφία..... | 49 |
| Παράρτημα.....    | 50 |



