

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΪΞΩΔΟΥΣ ΣΤΗ
ΝΑΥΤΙΛΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΙΑΟΥΡΑΣ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΗΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ
2016

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΪΞΩΔΟΥΣ
ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΙΑΟΥΡΑΣ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ
ΑΜ : 4966

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρακάτω πτυχιακή εργασία γίνεται ανάπτυξη των αισθητήρων ιξώδους και αισθητήρων μέτρησης ροής ενός υγρού. Η όλη εργασία αναπτύσσεται σε τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά και περιγραφή των αισθητήρων, τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και τον τρόπο που λαμβάνουν και μετατρέπουν τις πληροφορίες που δέχονται. Θα γίνει επίσης αναφορά στον μαθηματικό τρόπο κατά τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί των μετρήσεων μέσα στον αισθητήρα.

Έπειτα, γίνεται αναφορά στο ιξώδες, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την ναυτιλία καθώς με αυτό γίνεται ο υπολογισμός κυρίως της ποσότητας του πετρελαίου που παραλαμβάνεται στις πετρελεύσεις. Οι αισθητήρες ιξώδους που το μετράνε θεωρούνται από τους σημαντικότερους στην ναυτιλία, διότι πρέπει να είναι ακριβείς και με δυνατότητα να εντοπίζουν την παραμικρή διακύμανση στην τιμή του ιξώδους για αποφευχθούν μηχανικές βλάβες.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή της ροής, τον τρόπο υπολογισμού της και τη σημασία που έχει η ροή ενός υγρού τόσο της κίνησης του, όσο και της επίδρασης που έχει με το περιβάλλον γύρω του. Θα γίνει αναφορά και στους αισθητήρες που μετράνε την ροή. Θα γίνει κατηγοριοποίηση τους και αναφορά του τρόπου μέτρησης και υπολογισμού του καθένα και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

ABSTRACT

The following coursework has to do with viscosity sensors and flow measurement sensors of a liquid. The whole project is developed in three chapters. In the first chapter it becomes a reference description of the sensors generally, their technical characteristics and the way they receive and convert the information they were given. It will also be referred to mathematically that in which the measurement calculations in the sensor.

After that, there is a reference to the viscosity, which is very important for merchant marine since it is primarily the calculation of the quantity of oil received in bunkering. The viscosity sensors that count are considered the most important in merchant marine, they must be accurate and can detect the slightest variation in the viscosity to avoid mechanical damage.

In the last chapter, there is a description of the flow, calculation methods and the importance of the flow of a liquid of both the motion and the effect it has on the surrounding environment. Reference will be made for the sensors which measure the flow. It will be made categorization of sensors and the ways of measurements of each and their technical characteristics. Finally, technical characteristics of viscosity and flow measurements sensors are provided.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι αισθητήρες είναι συσκευές που έχουν σαν στόχο την ανίχνευση ενός σήματος ή μιας διέγερσης και την παραγωγή μιας μετρήσιμης εξόδου. Τους αισθητήρες τους χρησιμοποιούμε για τη συλλογή πληροφοριών και εν γένει για τον έλεγχο των συστημάτων. Οι κατηγορίες των αισθητήρων είναι πολλές ανάλογα με το είδος μέτρηση. Μερικές από αυτές είναι: μέτρηση κίνησης, ύψους, στάθμης, βάρους, όγκου, πίεσεως, θερμοκρασίας, ροής, ιξώδους, κτλ. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα γίνει περιγραφή των αισθητήρων μέτρησης ροής και ιξώδους.

Το ιξώδες είναι η ιδιότητα του ρευστού που προκαλεί διατμητικές τάσεις σε ένα ρευστό. Χωρίς ιξώδες δεν υπάρχει αντίσταση ρευστού, το οποίο χωρίζεται σε κινηματικό και δυναμικό ιξώδες. Τα δύο μεγέθη σχετίζονται μεταξύ τους με μια φυσική παράμετρο που δεν είναι άλλη από την πυκνότητα του ρευστού. Έτσι οι αισθητήρες μετράνε το κινηματικό ιξώδες εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες των ρευστών που μετράνε.

Στην Κινηματική και τη Δυναμική με τον όρο ροή των ρευστών καλείται ειδικότερα η κίνηση των σωματιδίων των ρευστών, επειδή ακριβώς αυτά ρέουν, η οποία όμως κίνηση περιλαμβάνει επίσης τις έννοιες της δύναμης που προκαλεί την κίνηση, της ταχύτητας καθώς και της επιτάχυνσης του ρευστού. Στους επιμέρους κλάδους της Δυναμικής (Υδροδυναμική και Αεροδυναμική) αντί του όρου "κίνηση" χρησιμοποιείται ο όρος "ροή". Οι δύο αυτοί κλάδοι είναι υποκλάδοι του γενικότερου πεδίου της Ρευστοδυναμικής η οποία είναι γενικότερα υποκλάδος της επιστήμης της Ρευστομηχανικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ **ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ**

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ

Με τον όρο αισθητήρες περιγράφονται όλες εκείνες οι συσκευές που μετρούν μια φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό -συνήθως- σήμα. 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 που οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται. Εφαρμογές τους συναντούμε στα αυτοκίνητα, σε μηχανές, στην αεροναυπηγική, την ιατρική, τη βιομηχανία και τη ρομποτική.

Οι πρώτοι αισθητήρες και τα όργανα μέτρησης ήταν μηχανικά. Η συστηματική μελέτη του ηλεκτρισμού οδήγησε στην ανάπτυξη νέων αισθητήρων ηλεκτρικών, των οποίων η έξοδος ήταν ένα αναλογικό σήμα. Για να συνειδητοποιήσει κάποιος λοιπόν τη ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των αισθητήρων αρκεί να θυμηθεί τα αυτοκίνητα παραγωγής της δεκαετίας του '60 και του '70. Αυτά περιλάμβαναν δύο μόνο απλούς ηλεκτρικούς αισθητήρες: έναν για την μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού και έναν δεύτερο για την μέτρηση της στάθμης του καυσίμου, σε αντίθεση με τα σύγχρονα αυτοκίνητα που διαθέτουν πολλαπλάσιους αισθητήρες.

Σημαντική ώθηση στην εξέλιξη των αισθητήρων ήταν η ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων της σύγχρονης έρευνας στις θετικές επιστήμες, καθώς και της εξέλιξης της τεχνολογίας. Οι μελλοντικοί εξελιγμένοι αισθητήρες αναμένονται να προκύψουν από την έρευνα στη νανοτεχνολογία και στη βιοτεχνολογία. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, εμφανίζονται πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των αισθητήρων, τρεις από τους οποίους αναφέρονται στη συνέχεια.

Ο πρώτος αφορά το τι μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας με πιο σημαντική διάκριση αυτή μεταξύ των φυσικών και χημικών αισθητήρων. Οι φυσικοί αισθητήρες ελέγχουν φυσικά μεγέθη όπως θέση, μάζα, ρεύμα, χρόνο και σχετικά τους μεγέθη ενώ οι χημικοί ελέγχουν την παρουσία διαφορετικών αερίων σε συγκεκριμένη ατμόσφαιρα.

Η δεύτερος τρόπος σχετίζεται με τα υλικά στις φυσικές ιδιότητες των οποίων βασίζεται η λειτουργία του αισθητήρα, με κύριες κατηγορίες τους αισθητήρες με αγωγή, ημιαγωγή, διηλεκτρικά, μαγνητικά και υπεραγωγή υλικά.

Τέλος, ή τρίτος τρόπος κατηγοριοποίησης αναφέρεται στη χρήση του αισθητήρα με σημαντικότερες κατηγορίες τους βιομηχανικούς, τους ιατρικούς, στρατιωτικούς, περιβαλλοντικούς αισθητήρες καθώς και τους αισθητήρες μεταφοράς και αυτοματισμού.

1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι αισθητήριες διατάξεις αποτελούν τις πιο ευρέως διαδεδομένες συσκευές που χρησιμοποιούνται ευρέως για διάφορες μετρήσεις σήμερα. Το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία κάθε αισθητήρα καθορίζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που εμφανίζει αυτός απέναντι στις υπόλοιπες αισθητήριες διατάξεις. Για την επιλογή του κατάλληλου οργάνου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, σημασία έχει η γνώση των χαρακτηριστικών του αισθητήρα που αποτυπώνουν την απόδοση και την συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τα σημαντικότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά για τα αισθητήρια όργανα περιγράφονται στη συνέχεια.

- Συμβατότητα
- Εύρος λειτουργίας
- Αβεβαιότητα
- Ακρίβεια
- Επαναληψιμότητα
- Διακριτότητα
- Ευαισθησία
- Υστέρηση
- Θόρυβος
- Διαστάσεις
- Γραμμικότητα

Η **συμβατότητα** είναι ένα μέγεθος που περιγράφει κατά πόσον η εγκατάσταση του οργάνου θα επηρεάσει την τιμή της παραμέτρου που πρόκειται να μετρήσει. Ιδανικό από άποψη συμβατότητας θεωρείται ένα όργανο που δεν την επηρεάζει καθόλου.

Το **εύρος λειτουργίας** ενός αισθητήρα ορίζεται από τα όρια, εντός των οποίων μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα. Συνήθως, εκφράζεται με την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει. Επιπλέον, ως εύρος λειτουργίας αναφέρεται το θερμοκρασιακό εύρος, το εύρος τιμών

πίεσης ή το εύρος τιμών υγρασίας, εννοώντας την περιοχή τιμών θερμοκρασίας, πίεσης ή υγρασίας αντίστοιχα, στην οποία είναι δυνατή η χρήση του αισθητήρα.

Η **ακρίβεια** ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να περιέχεται στην ένδειξή του. Στην πράξη όλες οι συσκευές παράγουν σφάλμα στις μετρήσεις τους και το ζητούμενο είναι αυτό το σφάλμα να είναι το μικρότερο δυνατό.

Επαναληψιμότητα ονομάζεται ο βαθμός στον οποίο μια συσκευή παρέχει το ίδιο αποτέλεσμα τροφοδοτούμενος με την ίδια είσοδο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Η **διακριτότητα** ή διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μικρότερο διάστημα που μπορεί να μετρηθεί από αυτόν. Όσο μεγαλύτερη διακριτότητα διαθέτει μία αισθητήρια διάταξη, τόσο μικρότερο βήμα μετράει.

Η **ευαισθησία** ενός οργάνου είναι η ελάχιστη μεταβολή της εισόδου του που είναι σε θέση να δώσει μεταβολή στην έξοδό του.

Η **υστέρηση** προκαλεί διαφορές στην έξοδο ενός αισθητήρα όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Έτσι παράγεται σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής.

Θορύβος δημιουργείται κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης από εξωτερικούς παράγοντες, όπως γειννίαση με πηγές τάσης υψηλής συχνότητας, πηγές εκπομπής ήχου κ.α.. Η βάση λειτουργίας κάθε αισθητήρα καθορίζει κατά πόσον επηρεάζεται η ακρίβειά του και η διακριτότητά του λόγω θορύβου.

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα αναφέρονται στο μέγεθός του.

Γραμμικότητα ονομάζεται ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μια ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός για μια περιοχή τιμών.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται δεν μπορούν συνήθως να συνδυάσουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε ικανοποιητικά επίπεδα για το χρήστη. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να διαθέτει μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία, αλλά να έχει υψηλό κόστος.

Συχνά οι αισθητήρες δεν δίδουν στην έξοδό τους κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Τότε απαιτείται η χρήση ενός επιπρόσθετου ηλεκτρονικού κυκλώματος, το οποίο να λαμβάνει την έξοδο του αισθητήρα και να τη μετατρέπει σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των επόμενων βαθμίδων. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται κύκλωμα ρύθμισης σήματος (signal conditioning circuit), κύκλωμα ελέγχου (control circuit) ή εξωτερική μονάδα (outer ή external module). Για παράδειγμα, υπάρχουν αισθητήρες στάθμης που μετρούν το χρόνο που απαιτείται για να ανακλαστεί ένα υπερηχητικό κύμα από τη μετρούμενη επιφάνεια και να επιστρέψει στο σημείο από όπου εκπέμφθηκε. Σε αυτούς πρέπει να υπάρχει κατάλληλο κύκλωμα για τη μετατροπή των τιμών χρόνου σε ανάλογες τιμές τάσης.

Οι αισθητήρες που απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν ονομάζονται ενεργοί. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης LVDT πρέπει να τροφοδοτείται από κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση. Οι αισθητήρες που δημιουργούν μόνοι τους μία τάση και δε χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ονομάζονται παθητικοί. Τέτοιοι είναι για παράδειγμα οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι, που όταν πιεστούν αναπτύσσουν στα άκρα τους ηλεκτρική τάση.

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες για πολύ μεγάλο αριθμό φυσικών μεγεθών και με διαρκείς ερευνητικές προσπάθειες προκύπτουν νέοι αισθητήρες για μεγέθη για τα οποία δεν υπήρχαν τέτοιοι, όπως επίσης βελτιώνονται διαρκώς οι υπάρχοντες αισθητήρες και οι αντίστοιχες ηλεκτρονικές διατάξεις που συνιστούν το σύστημα μέτρησης.

Επακόλουθο της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας των αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ήταν η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (hardware) και του αντίστοιχου λογισμικού (software). Εξαιτίας των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρέχουν τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα, το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων μέτρησης σήμερα βασίζεται σε ψηφιακά ηλεκτρονικά (CPUs, μικροεπεξεργαστές, μικροελεγκτές, PCs, κλπ).

Πραγματικά, τα ψηφιακά συστήματα προσφέρουν εξαιρετική ακρίβεια, πολύ μεγάλες δυνατότητες επεξεργασίας του σήματος (σύνθετους αλγορίθμους φιλτραρίσματος και μετατροπής, στατιστική ανάλυση, κλπ.), δυνατότητα μεταφοράς της μέτρησης σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (σε οποιοδήποτε σημείο της γης ή ακόμα και σε διαστημικές αποστάσεις), απεικόνιση με μεγάλη ανάλυση (πχ. πολλά δεκαδικά ψηφία) χωρίς να επεμβαίνει η υποκειμενικότητα του παρατηρητή, και αναλλοίωτη στο χρόνο αποθήκευση των μετρήσεων. Επίσης, το λογισμικό επαναπρογραμματίζεται εύκολα για την προσαρμογή του συστήματος μέτρησης σε νέες απαιτήσεις.

Για παράδειγμα σε έναν «έξυπνο αισθητήρα», εκτός από τον υπολογισμό του μετρούμενου μεγέθους, η μονάδα επεξεργασίας πραγματοποιεί λειτουργίες, όπως αυτοέλεγχο, πολυανίχνευση (multisensing), αυτόματη βαθμονόμηση (auto-calibration), επικοινωνία με αναλογικούς και ψηφιακούς διαύλους επικοινωνίας (πχ. 4-20 mA, RS232, κλπ.), έλεγχο ενεργοποιητών κλπ. Ανάλογα με την εφαρμογή, η έξοδος ενός έξυπνου αισθητήρα μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή.

Έτσι, ο αισθητήρας μετασχηματίζεται από ένα απλό παθητικό εξάρτημα σε ένα ολοκληρωμένο περιφερειακό υποσύστημα μιας διάταξης μέτρησης και ελέγχου. Η ανάπτυξη των έξυπνων αισθητήρων συμβάλλει στη μείωση του μεγέθους και του κόστους των συστημάτων μέτρησης, καθώς η ρύθμιση και η επεξεργασία του σήματος του αισθητήρα γίνονται εσωτερικά σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, χωρίς να απαιτούνται εξωτερικές ηλεκτρονικές διατάξεις και καλωδιώσεις.

Οι αισθητήρες καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών και έχουν καταστεί τόσο συνηθισμένοι στη σύγχρονη κοινωνία, που συχνά θεωρούμε την ύπαρξή τους ως δεδομένη. Αυτό δημιουργεί φυσικά την απαίτηση οι τεχνικοί και οι μηχανικοί να έχουν μία πρακτική γνώση για αυτούς, ώστε να μπορούν να επιλέξουν την κατάλληλη συσκευή από ένα κατάλογο με αναλυτικές προδιαγραφές ή να επισκευάζουν, να επιλέγουν και να βαθμονομούν τους αισθητήρες που υπάρχουν σε κάποιο τμήμα εξοπλισμού που λειτουργεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ

2.1 ΙΞΩΔΕΣ

Το ιξώδες προέρχεται από τη λέξη ιξός (τη γνωστή κολλώδη ουσία που περιέχει κάποιους καρπούς) και σημαίνει το κολλώδες. Το ιξώδες είναι μια ιδιότητα που προκύπτουν από τις συγκρούσεις μεταξύ γειτονικών σωματιδίων σε ένα υγρό που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Όταν το υγρό ωθείται διαμέσου ενός σωλήνα, τα σωματίδια τα οποία συνθέτουν το ρευστό είναι γενικά πιο γρήγορα κοντά στον άξονα του σωλήνα και πιο αργά κοντά του τοιχώματα: ως εκ τούτου κάποιο στρες, (όπως είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο άκρων του σωλήνα), είναι που απαιτείται για να ξεπεραστεί η τριβή μεταξύ των στρωμάτων σωματιδίων για να κρατήσει το κινούμενο ρευστό. Για το ίδιο μοτίβο η ταχύτητα και η πίεση που απαιτείται είναι ανάλογη με το ιξώδες του ρευστού.

Ένα υγρό που δεν έχει αντοχή σε διατμητικές τάσεις είναι γνωστό ως ένα ιδανικό ή ιδεατό ρευστό. Μηδενικό ιξώδες παρατηρείται μόνο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες σε υπερρευστά. Διαφορετικά, όλα τα υγρά έχουν θετικό ιξώδες, και τεχνικά λέγεται ότι είναι παχύρρευστο ή κολλώδης. Στην καθομιλουμένη, ωστόσο, ένα υγρό λέγεται ότι είναι παχύρρευστο εφόσον το ιξώδες του είναι ουσιαστικά μεγαλύτερο από αυτό του νερού, και μπορεί να περιγραφεί ως κινητό αν το ιξώδες είναι αισθητά μικρότερο από το νερό. Ένα υγρό με σχετικά υψηλό ιξώδες, για παράδειγμα, πίσσα, μπορεί να φαίνεται ότι είναι ένα στερεό.

Το ιξώδες αναφέρεται σαν δυναμικό (η) και σαν κινηματικό (ν). Το **δυναμικό ιξώδες** (η) είναι η αναλογία μεταξύ της εφαρμοζόμενης διατμητικής τάσης ή τάσης απόσχισης (τ) και της ταχύτητας διάτμησης ή ταχύτητας απόσχισης (u) και εκφράζεται από τη σχέση:

$$\tau = F/E = \eta (du/dx)$$

Το **δυναμικό ιξώδες** (η) μετριέται συνήθως σε centiPoise (cP). Στο CGS μονάδα ιξώδους είναι το 1 Poise (P) που ισούται με $1 \text{ dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2 = 1 \text{ g}/\text{cm} \cdot \text{s}$. Στο SI μονάδα ιξώδους είναι το $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ που είναι ισοδύναμο με 10 P (Poise).

Το **κινηματικό ιξώδες** (ν) είναι το μέτρο της αντίστασης στη ροή ενός ρευστού, κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Ισχύει δε για τα νευτώνεια υγρά:

$$\nu = \eta/\rho$$

Όπου: ν = το κινηματικό ιξώδες

η = το δυναμικό ιξώδες

ρ = η πυκνότητα του υγρού

Μονάδα του κινηματικού ιξώδους στο CGS είναι το Stokes (St) που ισούται με $1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Συνήθως χρησιμοποιείται το centistokes (cSt) που ισούται με $1 \text{ mm}^2/\text{s}$. Για συγκεκριμένο ιξωδόμετρο, ο χρόνος ροής καθορισμένου όγκου του υγρού είναι ανάλογος του κινηματικού ιξώδους. Ισχύει δηλαδή:

$$\nu = c \tau$$

Όπου: ν = το κινηματικό ιξώδες, σε cSt

c = η σταθερά του ιξωδομέτρου, σε cSt / s

t = ο χρόνος ροής, σε s.

Ο πιο απλός τρόπος για να μετρήσουμε το ιξώδες ενός υγρού είναι να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω σχέση:

$$\text{Log}_{10}\text{log}_{10}(n+0,7)=A-B\text{log}_{10}(T+237)$$

Στην παραπάνω σχέση το n είναι το κινηματικό ιξώδες, T η θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$ και το A και B είναι χαρακτηριστικά νούμερα των υγρών και δίνονται στα αντίστοιχα datasheets τους.

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:

$$\text{Re} = U d / \nu$$

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

$$F_D = C_D A \rho / 2 U^2$$

Όπου C_D 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,

$A=\pi d^2/4$). Ο συντελεστής αντίστασης, C_D , είναι συνάρτηση του αριθμού Reynolds. 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.

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 C_D μπορεί να βρεθεί από τις ακόλουθες σχέσεις:

$5 < Re < 850$	$C_D = 24 / Re$	Σχέση του Stokes
$0.2 < Re < 5$	$C_D = 24 / Re (1 + 3/16 Re)$	Σχέση του Qseen
$Re < 0.2$	$C_D = 24 / Re (1 + Re^{2/3}/6)$	Σχέση του Klyachhko

Ο Ισαάκ Νεύτωνας έγραψε το 1687 στο περίφημο βιβλίο του Philosophiae Naturalis Principia Mathematica: «Η αντίστασης που προκύπτει από την έλλειψη της ολισθηρότητας που προέρχονται από ένα ρευστό, και άλλα πράγματα που είναι ίσες, είναι ανάλογη προς την ταχύτητα με την οποία τα τμήματα του ρευστού διαχωρίζονται το ένα από το άλλο». Σε μία διάσταση αυτός ο νόμος μπορεί να γραφεί ως:

$$\tau_{yx} = \eta \, d_u \, x / d_y$$

Ο Stokes το 1845 τελικά έγραψε αυτόν τον νόμο σε τρισδιάστατη μαθηματική μορφή και το 1856 τα πειράματα του Poiseuille σε ένα τριχοειδές ροόμετρο (capillary rheometer) απέδειξαν τον νόμο του Νεύτωνα πειραματικά.

Εάν ' η ' σταθερό και ανεξάρτητο από τον ρυθμό διάτμησης τότε το ρευστό λέγεται Νευτώνειο και το σύμβολο μ χρησιμοποιείται για να δηλώσει ιξώδες. Όμως σε πολλά ρευστά το ιξώδες εξαρτάται από τον ρυθμό διάτμησης.

Εάν ' η ' μειώνεται με τον ρυθμό διάτμησης, το ρευστό λέγεται ρευστό διατμητικής λέπτυνσης (shear-thinning fluid).

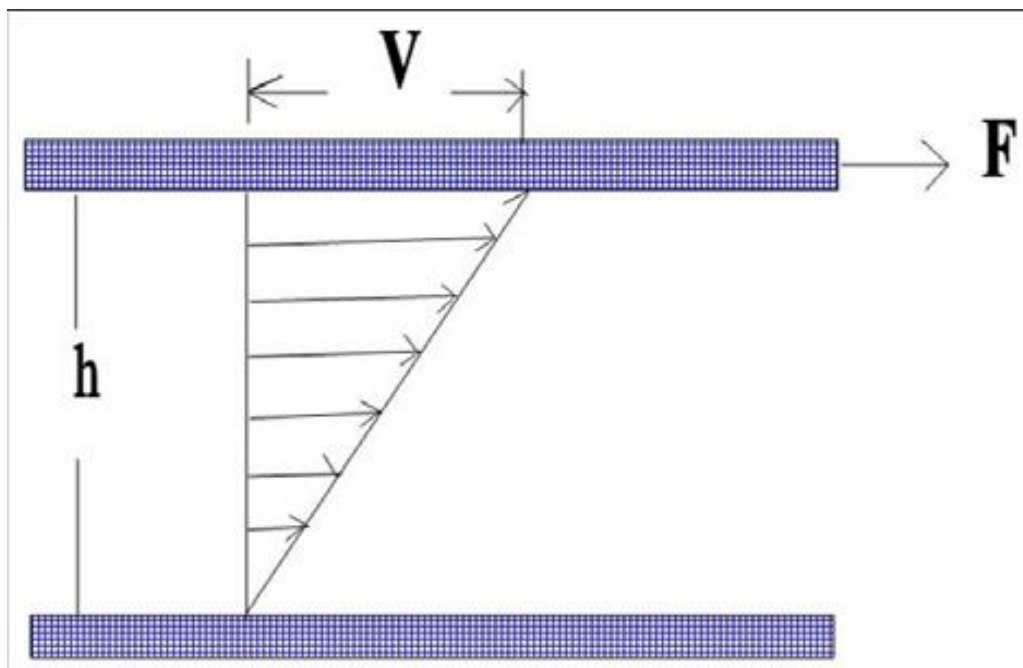
Εάν ' η ' αυξάνει με τον ρυθμό διάτμησης, το ρευστό λέγεται ρευστό διατμητικής πάχυνσης (shear-thickening fluid).

Επίσης, υπάρχει και το φαινόμενο της απλής διάτμησης όπου σε αυτό η ροή μπορεί να δημιουργηθεί στον χώρο μεταξύ δύο παράλληλων πλακών όταν αποχωρίζονται προς αντίθετες κατευθύνσεις με μία σχετική ταχύτητα V . Η διατμητική τάση σε αυτήν την περίπτωση είναι:

$$\tau_{yx} = \frac{F}{A}$$

Ο ρυθμός διάτμησης ή η κλίση ταχύτητας είναι:

$$\gamma = \frac{du_x}{dy} = \frac{V}{h}$$



Εικόνα 1: Απεικόνιση Απλής Διατμητικής Ροής

2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΙΞΩΔΟΥΣ

Κατά κύριο λόγο τα ιξωδόμετρα βασίζονται στην αρχή του Newton, ο οποίος ήταν ο πρώτος που είχε ασχοληθεί με το ιξώδες των ρευστών και είχε βρει ότι, η πίεση του ρευστού είναι ανάλογη του διαφορικού της ταχύτητας του ρευστού. Ρευστά που υπακούουν τον νόμο του Νεύτωνα λέγονται Νευτωνικά ρευστά (Newtonian fluids). Πολυμερή (polymeric liquids), αιωρήματα

(suspensions), γαλακτώματα (slurries), πάστες (pastes) και άλλα ρευστά που δεν περιγράφονται ρεολογικά από τον νόμο του Νεύτωνα λέγονται μη- Νευτωνικά ρευστά (non Newtonian fluids).

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 μειώσει 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.

2.2.1 Αισθητήρας Πυκνότητας-Θερμοκρασίας



Εικόνα 2: Αισθητήρας Μέτρησης Πυκνότητας-Θερμοκρασίας

Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιεί τον αποδεδειγμένα σε πεδίο, κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας,* chip ρευστής πυκνότητας και έχει σημαντικές αναβαθμίσεις στα ηλεκτρονικά και λογισμικά για την παροχή ακόμα υψηλότερων επιδόσεων και ικανοτήτων. Μια σημαντική βελτίωση είναι η διαθεσιμότητα, ενός προαιρετικά διασυνδεδεμένου υπολογιστή με προσαρμοσμένο πρόγραμμα για τον αισθητήρα για τη μετατροπή της πυκνότητας σε μια τιμή μαζί με τα δεδομένα της διαδικασίας παρακολούθησης και καταγραφής.

Η σειριακή επικοινωνία της πυκνότητας και της θερμοκρασίας είναι διαθέσιμες με την επιλογή διασύνδεσης σε υπολογιστή. Αυτές οι αλλαγές υλικού και το λογισμικού έχουν ως

αποτέλεσμα να είναι ένας αισθητήρας που παρέχει μία μέτρηση υψηλής ακρίβειας πυκνότητα / θερμοκρασίας, συσκευασμένα σε ένα μικρό περίβλημα κατάλληλο για ενσωμάτωση σε αναλυτικό ή φορητό εξοπλισμό.

Η καρδιά των αισθητήρων είναι ένας αισθητήρας πυκνότητας ρευστού κατασκευασμένος από πυρίτιο. Τα παραδοσιακά συστατικά ενός σιδερένιου δονούμενου μετρητή πυκνότητας, είναι σήμερα κατασκευασμένος χρησιμοποιώντας τεχνολογία πυριτίου - επεξεργασίας. Το αποτέλεσμα είναι ένας αισθητήρας που παρέχει μία καλύτερη μέτρηση του ιξώδους σε μία συσκευασία μικρότερη από ένα νύχι.

Η χαμηλή μάζα του πυριτίου (1/3 από ότι ο ανοξειδωτος χάλυβας) και η πολύ υψηλή αντοχή του (3x από τον ανοξειδωτο χάλυβα) είναι ένας τέλειος συνδυασμός για έναν αισθητήρα ιξώδους. Ένας μικρός κοίλος σωλήνας πυριτίου είναι το αισθητήριο στοιχείο. Δονούμενος σε πολύ υψηλές συχνότητες, ο αισθητήρας ανιχνεύει τις αλλαγές στο ιξώδες του ρευστού ως μια μετατόπιση στη συχνότητα του σωλήνα. Μια ολοκληρωμένη πλατίνα αισθητήρα θερμοκρασίας άμεσου χρόνου, είναι κατασκευασμένη στο εσωτερικό του αισθητήρα για άμεση μέτρηση της θερμοκρασίας του ρευστού.

Το ιξώδες του υγρού είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σύνθεσής του. Το μετρούμενη ιξώδες μπορεί να μετατραπεί σε μια χημική συγκέντρωση χρησιμοποιώντας την προαιρετικά ενσωματωμένη μαθηματική εξίσωση που χρησιμοποιεί πυκνότητα και θερμοκρασία για να υπολογίσει τη συγκέντρωση με βάση δημοσιευμένα τυποποιημένες μετρήσεις ή μετρήσεις που προέρχεται από τον πελάτη. Με τη χρησιμοποίηση του προαιρετικού λογισμικού διεπαφής, ένας χρήστης τώρα μπορεί να επαναπρογραμματίσει τον αισθητήρα να λειτουργεί πάνω από ένα προσαρμοσμένο εύρος των δυαδικών χημικών συγκεντρώσεων.

Χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

- Τροφοδοτική Τάση: 5-6 volt DC , 35 ma
- Ρευστό εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας : 5-70C
- Πρότυπο Εύρους Πυκνότητας : 0,6 έως 1,3 γραμμάρια / cc
- Ακρίβεια μέτρησης Πυκνότητας : 0.001 γραμμάρια / cc
- Μετρήσεις Προτύπου : Πυκνότητα , Θερμοκρασία

2.2.2 Υπερηχητικός Αισθητήρας Fork



Εικόνα 3: Υπερηχητικός Αισθητήρας

Η ηχητική ταχύτητα ενός υγρού εξαρτάται από τη συγκέντρωση των επιμέρους στοιχείων. Προκειμένου να προσδιοριστεί η ηχητική ταχύτητα, ένας ηχητικός παλμός στέλνεται μέσα στο υγρό και ο χρόνος πτήσης μεταξύ του πομπού και του ανιχνευτή μετράται. Η ηχητική ταχύτητα μπορεί να υπολογιστεί, επειδή η απόσταση μεταξύ του υπερηχητικού πομπού και του δέκτη είναι σταθερή.

Η σχέση μεταξύ της ηχητική ταχύτητας, της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης είναι διαφορετική σε κάθε υγρό και είναι γνωστή για χιλιάδες υγρά, (αν δεν είναι γνωστό, η σχέση μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί.) Τα προκύπτοντα σύνολα δεδομένων του προϊόντος αποθηκεύονται στον ελεγκτή και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της σωστής συγκέντρωσης. Εάν το επιθυμείτε, μπορείτε να προσαρμόσετε τα αποτελέσματα μέτρησης για τις δικές αναφορές μέσω του ελεγκτή.

Το σύστημα αποτελείται από έναν ελεγκτή και έναν ή περισσότερους αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες σας. Κάθε αισθητήρας προσφέρει μια πραγματική μέτρηση υπερήχων και εξαιρετικά ακριβή ανίχνευση της θερμοκρασίας. Μια πλήρης σειρά από βρεχόμενα υλικά και οι συνδέσεις διαδικασίας είναι διαθέσιμα.

Οι αισθητήρες συνδέονται ψηφιακά με τον ελεγκτή ο οποίος επιτρέπει σε μία ασφαλής έναντι αστοχίας, ανταλλαγή δεδομένων. Ο ελεγκτής υπολογίζει και παρέχει τη συγκέντρωση του υγρού μέσω μιας έγχρωμης οθόνης TFT που περιλαμβάνει μια διεπαφή χειριστή με πληκτρολόγιο μεμβράνης. Τυπική έξοδο 4-20 mA, καθώς και μια ενσωματωμένη έξοδος Web server και fieldbus, είναι διαθέσιμα.

Ωστόσο, η υγρή πυκνότητα είναι μια σημαντική παράμετρος διεργασίας σε εφαρμογές τόσο διαφορετικές όσο η ανίχνευση διασύνδεσης αγωγών, καυσαέριο από-θείωσης ή ελέγχου συγκέντρωση οξέος. Σε πολλές περιπτώσεις η διαδικασία του σημείου μέτρησης, οι συνθήκες και το ίδιο το υγρό κάνει μέτρηση της πυκνότητας δύσκολο - είτε είναι λόγω της διάβρωσης και των κινδύνων διάβρωσης, υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, είτε η περιορισμένη προσβασιμότητα.

Οι συσκευές εγγυώνται υψηλή ακρίβεια μετρήσεων και χωρίς παρεμβολές μεταφορά δεδομένων σε αποστάσεις μέχρι 1000 m (3280 ft). Μπορούν να λειτουργήσουν σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας: θερμοκρασίες μεταξύ -100°C (-150°F) και 200°C (375°F) , πιέσεις λειτουργίας των λίγων mbar έως 500 bar (7000 PSI) , κλπ.

Χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

-Φάσμα Πυκνότητα: 0,5 - 2,5 g / cc (500 - 2500 kg / m³)

-Εύρος Βαθμονόμησης: 0,8 έως 1,2 g / cc (800-1200 kg / m³)

-Ακρίβεια: ± 0.002 g / cc (± 2 kg / m³)? ± 0.001 g / cc (± 1 kg / m³)

-Επαναληψιμότητα: $\pm 0,0002$ g / cc ($\pm 0,2$ kg / m³)

-Εύρος θερμοκρασίας: $-100 \sim 200$ βαθμός Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$)

-Φάσμα Ιξώδους: 0-20000 cP

-Επίδραση της Θερμοκρασίας: Λιγότερο από 0,1 kg / m³ / $^{\circ}\text{C}$ (μετά τη βαθμονόμηση)

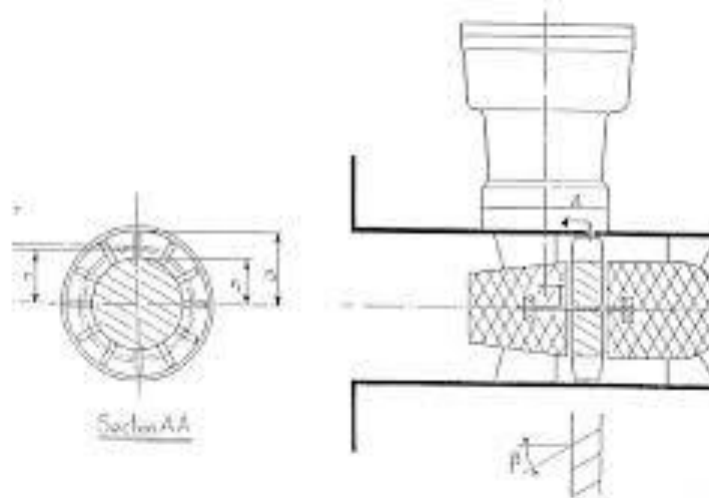
-Επιπτώσεις από την πίεση: Αμελητέες

-Ισχύς Τροφοδοσίας: 24VDC \geq 500 mA

-Αναλογική Έξοδος: 4 -20 mA, 0-1000Hz, RS485 Modbus RTU

-Ακρίβεια πυκνότητα - λειτουργίας (20°C): $\pm 0,1\%$ ή $\pm 0,05\%$

2.2.3 Ιξωδόμετρο με έμβολο ταλάντωσης



Εικόνα 4: Αισθητήρας με Έμβολο Ταλάντωσης

Μερικές φορές αναφέρεται ως ηλεκτρομαγνητικό ιξωδόμετρο ή EMV ιξωδόμετρο, εφευρέθηκε στο Cambridge το 1986. Ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα θάλαμο μέτρησης 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 οδηγούμενο με ταλαντευτική κίνηση εντός του θαλάμου μέτρησης μέσα σε 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 μετρήσεως, 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 σε ιξωδόμετρο έχει προσαρμοστεί για μικρό δείγμα ιξώδους και δοκιμές του ιξώδους σε εργαστηριακές εφαρμογές. Επίσης, έχει προσαρμοστεί για τη μέτρηση της πίεσης υψηλού ιξώδους και υψηλής θερμοκρασίας μέτρησης του ιξώδους τόσο σε εργαστηριακές και συνθήκες εργασίας. 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.

2.2.3 Περιστροφικό Ιξωδόμετρο

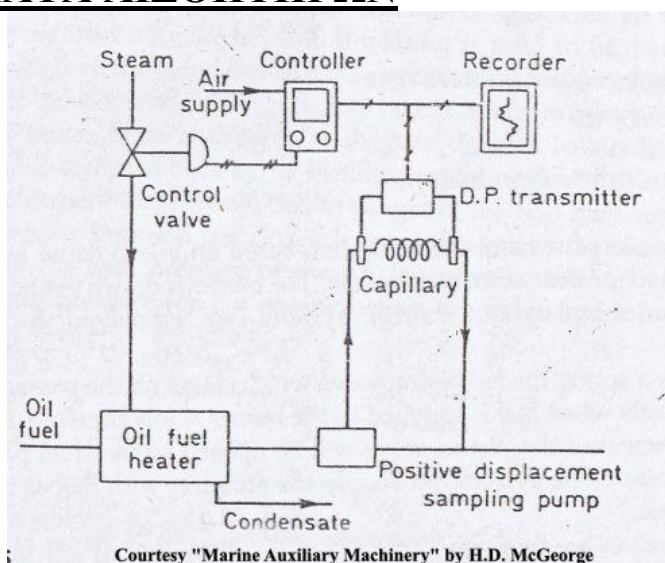


Εικόνα 5: Περιστροφικό Ιξωδόμετρο

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, γνωστά ως και συστήματα "Couette" "Searle", 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.

Το περιστρεφόμενο κύπελλο προτιμάται σε ορισμένες περιπτώσεις, επειδή μειώνει την εμφάνιση των δινών Taylor, αλλά είναι πιο δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια σε insument. «Cone και Plate» ιξωδόμετρα χρησιμοποιούν 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) εν συναρτήσει της ταχύτητας διατμήσεως (γωνιακή ταχύτητα) αποδίδετε το ιξώδες.

2.3 ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ



Εικόνα 6: Σχηματική Απεικόνιση Συστήματος Ελέγχου Ιξώδους Πετρελαίου

Σε περιβαλλοντική διαδικασία, η διασφάλιση του ορθού ιξώδους είναι ένας βασικός παράγοντας. Χρειάζεται ένα ακριβές, αξιόπιστο και ανθεκτικό ιξωδόμετρο γραμμής με δυνατότητα παρακολούθησης της αντίστασης του υγρού χωρίς να απαιτείται πολλή συμμετοχή ή τη συντήρηση από το χειριστή. Το ιξώδες του πετρελαίου εξαρτάται από το βαθμό του ελαίου. Αν το ιξώδες του πετρελαίου και του δείκτη ιξώδους του είναι στην υψηλότερη πλευρά, θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη δυσκολία στην επίτευξη στατικής διάσπασης των ατόμων και φτωχής καύσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου του κινητήρα.

Το ιξώδες είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην επιλογή κάθε είδους πετρελαίου, τα καύσιμα ή λιπαντικού λάδια. Είναι το μέτρο της αλλαγής του ιξώδους του ελαίου με διακύμανση της θερμοκρασίας. Από τότε που το πετρέλαιο θερμαίνεται για να επιτευχθεί σωστός ψεκασμός, πρέπει να έχει και κατάλληλο VI. Αν είναι στην υψηλότερη πλευρά, θα είναι δύσκολο να αλλάξει το ιξώδες του πετρελαίου από τον θερμαντήρα.

Το ιξώδες της ναυτικού καυσίμου HFO όταν παραδίδεται στους 50 βαθμούς C κυμαίνεται από 180cst έως 380cSt. Το καύσιμο θερμαίνεται και το ιξώδες του καυσίμου μειώνεται σε 13 ~ 15 cst μέσω θερμαντήρων ηλεκτρικών ή ατμού ή και τα δύο, κατά τη στιγμή της έγχυσης στον κινητήρα. Το ιξώδες στην αντλία υψηλής πίεσης πετρελαίου πρέπει να διατηρείται περίπου στα 13 cst για να επιτευχθεί αποτελεσματική καύση.

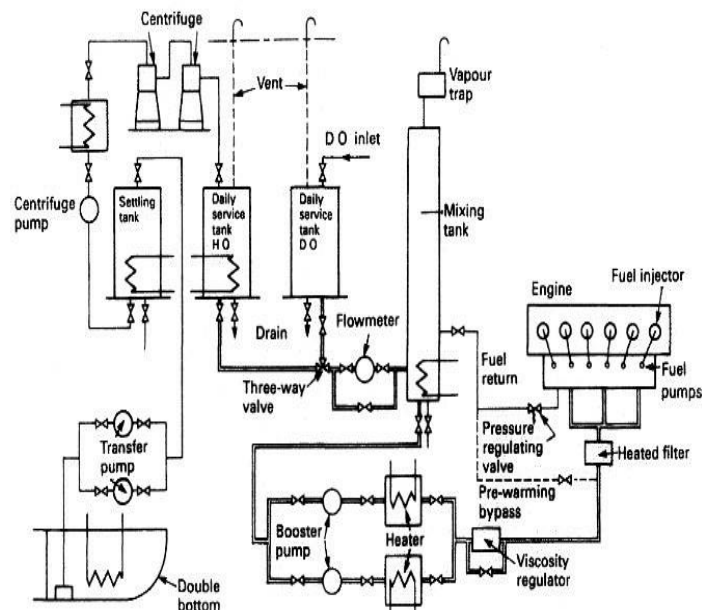
Κανονικά το πνευματικό σύστημα ελέγχου χρησιμοποιεί φυσητήρα, πτερύγιο και ακροφύσιο. Το σήμα εξόδου από το ιξωδόμετρο είναι συνδεδεμένο με φυσητήρα μέτρησης κάτω από τον ελεγκτή ιξώδους. Ένας άλλος φυσητήρας παρέχεται με το σημείο ρύθμισης του απαιτούμενου ιξώδους και αμφότεροι οι φυσητήρες συνδέονται απέναντι ο ένας από τον άλλον για να

ολοκληρωθεί ένα σύστημα ελέγχου ακροφυσίων σε σχήμα κώνου. Η έξοδος του ακροφυσίου είναι το σήμα ελέγχου της 3-όδου βαλβίδας του θερμαντήρα πετρελαίου.

Μία 3-όδος βαλβίδα έχει 2 ανοίγματα στα οποία το ένα είναι είσοδος και 2 είναι έξοδοι. Μία έξοδος περνά διαμέσου του θερμαντήρα και μία έξοδος συνδέεται με μία γραμμή παράκαμψης του θερμαντήρα.

Όταν η τιμή ρύθμισης και οι μετρούμενες τιμές είναι ίδιες, δεν δίνεται σήμα για τον έλεγχο της βαλβίδας και η θέση της βαλβίδας παραμένει ίδια με αποτέλεσμα περισσότερος ατμός να παρακάμπτει τον θερμαντήρα. Όταν η μετρούμενη τιμή μειώνεται, το σήμα εξόδου ανοίγει τη βαλβίδα ελέγχου στην πλευρά του ατμού έτσι ώστε περισσότερος ατμός να παρέχεται και το ιξώδες μπορεί να μειωθεί.

Είναι σημαντικό να έχουμε μια καλύτερη ποιότητα ναυτικών καυσίμων με κατάλληλο δείκτη ιξώδους για τη διατήρηση της σωστής απόδοσης του κινητήρα και να μειωθεί η φθορά στα τμήματα έγχυσης καυσίμου. Στη ναυτιλία κατά κόρων χρησιμοποιούνται δίχρονες αργόστροφες μηχανές βαρέως πετρελαίου, οι οποίες χρειάζονται ένα συγκεκριμένο δίκτυο παροχής για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία τους.



Εικόνα 7: Σχηματική Απεικόνιση Δικτύου Πετρελαίου Δίχρονης Πετρελαιομηχανής

Μια δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή συνήθως διατάσσεται για να λειτουργεί συνεχώς σε βαρύ πετρέλαιο και έχουν στη διάθεσή τους μία παροχή πετρελαίου για συνθήκες ελιγμών. Στο σύστημα αυτό το λάδι αποθηκεύεται σε δεξαμενές διπλού πυθμένα από τις οποίες αντλείται σε μία δεξαμενή καθίζησης και θερμαίνεται. Μετά το πέρασμα μέσα από φυγοκεντρητές το καθαρισμένο, θερμαινόμενο πετρέλαιο αντλείται σε μία ημερήσια δεξαμενή κατανάλωσης. Από την καθημερινή δεξαμενή υπηρεσίας το πετρέλαιο ρέει μέσω μιας τριόδου βαλβίδας σε μία δεξαμενή ανάμιξης.

Ένας μετρητής ροής έχει τοποθετηθεί μέσα στο σύστημα για να δείξει την κατανάλωση καυσίμου. Οι προωθητικές αντλίες χρησιμοποιούνται για την άντληση του πετρελαίου μέσα από θερμαντήρες και έναν ρυθμιστή ιξώδους στις αντλίες πετρελαίου που κινούνται από τον κινητήρα. Οι αντλίες πετρελαίου θα καταθλίψουν πετρέλαιο υψηλής πίεσεως προς τους αντίστοιχους καυστήρες τους.

Ο ρυθμιστής ιξώδους ελέγχει τη θερμοκρασία του πετρελαίου προκειμένου να παρέχετε το σωστό ιξώδες για καύση. Μία βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης εξασφαλίζει παροχή σταθερής πίεσης στις αντλίες πετρελαίου, και μια παράκαμψη προ-θέρμανσης χρησιμοποιείται για να θερμάνει το καύσιμο πριν την εκκίνηση του κινητήρα.

Μπορεί να εγκατασταθεί μια δεξαμενή καθημερινής κατανάλωσης πετρέλαιο ντίζελ και να είναι συνδεδεμένη με το σύστημα μέσω μιας 3-όδου βαλβίδας. Ο κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει και να κινείται στο πετρέλαιο ντίζελ ή ακόμα και με μείγμα ντίζελ και το βαρέως πετρελαίου. Η δεξαμενή αναμίξεως χρησιμοποιείται για τη συλλογή ανακυκλοφοριμένου πετρελαίου και επίσης δρα ως ένα ρυθμιστικό ή δεξαμενή αποθήκευσης, δεδομένου ότι θα τροφοδοτήσει με πετρέλαιο όταν η δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης είναι άδεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΟΗΣ

3.1 ΡΟΗ

Με τον όρο ροή χαρακτηρίζεται γενικά οποιαδήποτε παρατηρούμενη συνεχόμενη κίνηση μορφής της ύλης μέσα στο χώρο. Συναφής επίσης όρος είναι και το «ρεύμα» που απαντάται περισσότερο στον Ηλεκτρισμό και στη Μετεωρολογία. Ακόμη όμως απαντάται και στις καθημερινές εκφράσεις, περιφραστικά της ιδέας της συνεχούς κίνησης όπως π.χ. ροή ειδήσεων, ροή τηλεοπτικού προγράμματος κ.λπ.

Περισσότερο όμως ως επιστημονικός όρος αφορά την κίνηση των ρευστών και ειδικότερα των υγρών με συνέπεια να θεωρείται ο σημαντικότερος όρος στη Μηχανική των ρευστών δηλαδή στην Υδροδυναμική και στην Υδραυλική. Παράλληλα όμως θεωρείται εξίσου σημαντικός όρος στη Βιολογία, τη Γεωλογία, την Οπτική, στις πάσης φύσεως ακτινοβολίες, λαμβάνοντας και μορφή ενεργειακού μεγέθους, καθώς ακόμη και στα Μαθηματικά ως ολοκλήρωμα σε διανυσματικά πεδία.

Η κίνηση ενός ρευστού προκαλείται από διατμητικές τάσεις καθώς και από μη ισοζυγισμένες κάθετες τάσεις (πιέσεις) που ασκούνται στο ρευστό. Η ανάλυση των δυνάμεων αυτών αποτελεί το αντικείμενο μελέτης και έρευνας της "*δυναμικής των ρευστών*", ενώ η σπουδή των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των δυνάμεων αυτών που παράγουν τη κίνηση, δηλαδή την ταχύτητα και την επιτάχυνση, με την αντίστοιχη περιγραφή και απεικόνιση της κίνησης, αποτελούν αντικείμενα μελέτης της "*κινηματικής των ρευστών*".

Η μελέτη της ροής των ρευστών επιτελείται με τους ακόλουθους τρεις βασικούς τρόπους: την "*μακροσκοπική*", την "*διαφορική*", και την "*διαστατική ανάλυση*".

Στη Μακροσκοπική ανάλυση εξετάζεται ο όγκος ελέγχου ρευστού. Ως όγκος ελέγχου ορίζεται μια περιοχή του χώρου με πεπερασμένες διαστάσεις εντός της οποίας συμβαίνει ροή μάζας ρευστού. Επειδή όμως αυτή η μάζα κινούμενη αποτελεί φορέα ορμής (ενέργειας), θεωρείται ότι ο όγκος ελέγχου ανταλλάσσει ενέργεια με το περιβάλλον χώρο. Έχοντας λοιπόν υπόψη τις αρχές διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας στον όγκο ελέγχου του ρευστού, προκύπτουν οι ολοκληρωμένες ή μακροσκοπικές εξισώσεις συνέχειας ορμής και ενέργειας αντίστοιχα. Έτσι λύνοντας τις εξισώσεις αυτές καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός των μέσων τιμών των διαφόρων παραμέτρων του ρευστού όπως είναι π.χ. η μέση ταχύτητα ροής του, η πτώση πίεσης κ.λπ.

Η *αρχή διατήρησης της μάζας* προτάσσει ότι η συνολική μάζα ενός συστήματος σωμάτων διατηρείται σταθερή ανεξαρτήτως των εσωτερικών αλληλεπιδράσεων. Περίπου ισοδύναμη πρόταση είναι ότι η ύλη μπορεί να αλλάζει μορφές, αλλά η ποσότητά της παραμένει σταθερή. Η

αρχή είναι σημαντικότερη, πολύ ισχυρή και εύχρηστη στις χημικές αλληλεπιδράσεις. Βεβαιώνει ότι η μάζα των αντιδρώντων ισούται με την μάζα των προϊόντων. Στις πυρηνικές αντιδράσεις όμως, τα πράγματα είναι πολύ περιπλοκότερα. Η ιδέα απέκτησε με καθαρότητα και σαφήνεια την σύγχρονη της μορφή από τον Αντουάν Λαβουαζιέ, πατέρα της σύγχρονης χημείας. Ως ιδέα όμως υπάρχει σαφώς από παλιότερα, ακόμα και από την αρχαιότητα.

Σύμφωνα με την *αρχή διατήρησης της ορμής (Α.Δ.Ο.)* το διανυσματικό άθροισμα των ορμών ενός συστήματος σωμάτων παραμένει πάντα σταθερό, αν η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων είναι μηδέν. Η ορμή ενός σώματος είναι διανυσματικό μέγεθος που είναι ίσο με το γινόμενο της μάζας ενός σώματος επί την στιγμιαία ταχύτητά του. Η αρχή της διατήρησης της ορμής είναι απόρροια της ομογένειας του χώρου, δηλαδή της συμμετρίας του ως προς τις χωρικές μετακινήσεις των σωμάτων.

Εάν: $\Sigma F=0$, τότε **P:σταθερό**
, άρα $\mathbf{P}_{αρχ}=\mathbf{P}_{τελ} \Rightarrow m \mathbf{V}_{αρχ} = m$

Όπου: m =μάζα, $V_{αρχ}$ = αρχική ταχύτητα και $V_{τελ}$ = τελική ταχύτητα. Η συνολική δύναμη που ασκείται στο σώμα που δέχεται μονάχα εσωτερικές δυνάμεις είναι ίση με:

$$\Sigma F=\Delta P/\Delta T$$

Η *αρχή διατήρησης της ενέργειας* είναι ότι το αλγεβρικό άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας που εμφανίζονται σε ένα (απομονωμένο) σύστημα διατηρείται σταθερό με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτό το άθροισμα μπορεί να ληφθεί υπόψιν η ενέργεια που οφείλεται σε τυχόν έλλειμμα μάζας. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας συμπεριλαμβάνεται στη γενικότερη Αρχή διατήρησης της ενέργειας-μάζας. Η *αρχή διατήρησης της ενέργειας* είναι μια από τις θεμελιώδεις αρχές της Φυσικής, της Χημείας και γενικά των θετικών και φυσικών επιστημών. Σε αυτήν την αρχή στηρίζεται η θεωρητική πρόβλεψη των νετρίνων.

Στη Διαφορική ανάλυση εξετάζεται μεν ο όγκος ελέγχου ρευστού, όπως παραπάνω πλην όμως σε απειροστές διαστάσεις όπου και εφαρμόζονται ομοίως οι αρχές διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας. Έτσι ομοίως με την εφαρμογή τους προκύπτουν οι διαφορικές εξισώσεις της συνέχειας αυτών, η επίλυση των οποίων με τη χρήση οριακών αρχικών συνθηκών παρέχουν ακριβείς τιμές, ή και κατανομές των ιδιοτήτων των ρευστών, όπως π.χ. η ταχύτητα, η πίεση, η

διατμητική τάση κ.λπ. Εξ αυτών καθίσταται δυνατός ακόμη και ο υπολογισμός των μέγιστων τιμών αυτών των μεγεθών.

Διάτμηση ονομάζεται η καταπόνηση που εμφανίζεται σε ένα σώμα όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονα του. Στη μηχανική διατμητική τάση ονομάζεται το πηλίκο της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που εφαρμόζεται σε μια διατομή του υλικού προς την επιφάνεια της διατομής. Δηλαδή η διατμητική τάση είναι η τάση που είναι παράλληλη στο επίπεδο της διατομής. Συμβολίζεται δε με το ελληνικό μικρόγραμμα τ (ταυ). Μονάδα μέτρησης της διατμητικής τάσης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το πασκάλ που είναι ίσο με 1 Νιούτον (μονάδα ασκούμενης δύναμης) ανά τετραγωνικό μέτρο (μέτρο επιφάνειας εφαρμογής στο SI).

Ειδικότερα, στη μηχανική των ρευστών η *διατμητική τάση* είναι η δύναμη που συνηθέστερα παραμορφώνει τα ρευστά, στη ροή τους, ανεξάρτητα το πόσο μικρή μπορεί να είναι. Ως διατμητική τάση χαρακτηρίζεται το πηλίκο της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που εφαρμόζεται σε μια επιφάνεια ρευστού, προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Συνέπεια του παραπάνω ορισμού είναι ότι κάθε ρευστό (υγρό ή αέριο) που βρίσκεται σε ισορροπία δε δέχεται διατμητική τάση. Η Διατμητική τάση εφαρμόζεται εφαπτομενικά σε αντίθεση με την πίεση που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια του ρευστού.

Τύπος: $\tau = \mathbf{F} / \mathbf{A}$, όπου \mathbf{F} η παράλληλη συνιστώσα της δύναμης εφαρμογής και \mathbf{A} η επιφάνεια εφαρμογής.

Η Διαστατική ανάλυση εφαρμόζεται στις περιπτώσεις εκείνες της ροής των ρευστών που δεν επιδέχονται ακριβή θεωρητική λύση, ή η μαθηματική επίλυσή τους δεν είναι δυνατή. Έτσι στις περιπτώσεις αυτές ακολουθείται η πειραματική μελέτη αυτών όπου και εφαρμόζεται η διαστατική ανάλυση κατά την οποία το πλήθος των διαφόρων μεγεθών συγκροτούν, προς ευκολία συσχέτισής τους, περιορισμένο αριθμό αδιάστατων ομάδων.

Για τη πληρέστερη μελέτη και ανάλυση της ροής των ρευστών, από τα τέλη του 18ου αιώνα, προτάθηκε η διάκριση της ροής των ρευστών στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες - πρότυπα, αντίστοιχα με τη διάκρισή των ίδιων των ρευστών: στη ροή των *τέλειων* ή *ιδανικών* ή *ιδεωδών ρευστών*, τη ροή των *φυσικών*, ή *νευτώνειων ρευστών* και τη ροή των *μη νευτώνειων*, ή *θιζότροπων ρευστών*. Γενικά η ροή των ρευστών μέσα σε αγωγούς ή σωλήνες παρουσιάζει δύο τύπους-μορφές ροής. Έτσι αυτή μπορεί να είναι: είτε *ομαλή*, ή *στρωτή*, ή *παράλληλη ροή*, είτε *στροβιλώδης* ή *τυρβώδης ροή*.

Στη ροή των *τέλειων*, ή *ιδανικών*, ή *ιδεωδών υγρών* εφαρμόζονται δύο βασικοί *Νόμοι της Υδροδυναμικής*:

- Νόμος της συνεχείας της ροής.
- Νόμος του Μπερνούλι.

Συναφές επίσης είναι και το Θεώρημα του Torricelli.

Η Υδροδυναμική είναι ιδιαίτερος κλάδος της Μηχανικής των ρευστών δηλαδή της Υδρομηχανικής και ειδικότερα της Δυναμικής. Ο επιστημονικός κλάδος αυτός έχει ως αντικείμενο έρευνας και μελέτης τους νόμους που διέπουν την κίνηση των ασυμπίεστων υγρών όπως τη ροή των ρευστών, την ταχύτητα αυτών, την διεύθυνση των αγωγών ή φλεβών, την παροχή τους, τις διάφορες πιέσεις αυτών κ.λπ. καθώς επίσης και την συμπεριφορά των διαφόρων σωμάτων (αντιστάσεις) που εμφανίζουν κατά την κίνησή τους μέσα στα υγρά.

Ο Νόμος της συνέχειας της ροής είναι από τους σημαντικότερους νόμους στην Υδροδυναμική. Η σχέση που περιγράφει αυτόν τον νόμο ονομάζεται εξίσωση της συνέχειας της ροής και αναφέρει ότι η παροχή παραμένει σταθερή κατά μήκος μίας φλέβας (ενός σωλήνα), που διαρρέεται από υγρό. Η εξίσωση αυτή είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ύλης. Η μαθηματική της έκφραση είναι:

$$A_1 u_1 = A_2 u_2$$

Όπου **A** η διατομή του σωλήνα και **u** η ταχύτητα του υγρού.

Η εξίσωση αυτή διατυπώθηκε από τον Ελβετό φυσικό Ντάνιελ Μπερνούλι και είναι αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης της ενέργειας σε κινούμενο υγρό. Σύμφωνα με αυτή σε μία ρευματική γραμμή το άθροισμα της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου, της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου και της πίεσης παραμένουν σταθερά, σε οποιοδήποτε σημείο μίας ρευματικής γραμμής. δηλαδή ισχύει:

$$P + \frac{1}{2} \rho u^2 + \rho gh = \text{σταθερό}$$

Το Θεώρημα του Τοριτσέλι, που διατυπώθηκε από τον Ιταλό φυσικό Τοριτσέλι, προσδιορίζει την εκροή ιδεώδους ρευστού στο ελεύθερο αέρα. Στην απλούστερη διατύπωσή του το θεώρημα αυτό λέει ότι:

"Όταν ένα υγρό εκρέει στον ελεύθερο αέρα υπό την επίδραση της βαρύτητας από μια οπή βάθους h (από την ελεύθερη επιφάνειά του) αποκτά "ταχύτητα εκροής" ίση με εκείνη που θα ελάμβανε εάν έπεφτε ελεύθερα από ίδιο ύψος".

- Προϋπόθεση ισχύος του θεωρήματος αυτού είναι το εμβαδόν διατομής εκροής να είναι κατά πολύ μικρότερο της ελεύθερης επιφάνειας.

Η ταχύτητα v στο σημείο της εκροής δίνεται από τον τύπο:

$$v = \sqrt{2gh} \text{ ,σε m/sec}$$

Η δε παροχή Q , όταν η διατομή της οπής εκροής είναι F , δίνεται από τον τύπο:

$$Q = F \sqrt{2gh} \text{ ,σε m}^3\text{/sec}$$

Η ροή των φυσικών υγρών είναι διάφορη από εκείνη των ιδεωδών και τούτο διότι επηρεάζονται από τα τρία χαρακτηριστικά των φυσικών υγρών, δηλαδή το συμπιεστόν τους, την συνοχή των μορίων τους και την συνάφεια αυτών προς τα τοιχώματα των αγωγών. Το συμπιεστόν εν τούτοις ελάχιστα επηρεάζει τη ροή, δεδομένου ότι τα υγρά θεωρούνται πρακτικά ασυμπίεστα σε αντίθεση με τα αέρια όπου η επίρεια είναι μεγαλύτερη.

Η συνοχή όμως των μορίων του φυσικού υγρού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικής τριβής μεταξύ αυτών, η οποία χαρακτηρίζεται από τον λεγόμενο συντελεστή συνεκτικότητας ή συντελεστή εσωτερικής τριβής ή συντελεστή ιξώδους. Η συνάφεια, τέλος, προέρχεται από τη δύναμη επαφής μεταξύ του υγρού και των τοιχωμάτων του αγωγού. Αυτή εκδηλώνεται κατά τέτοιο τρόπον ώστε τα μόρια του υγρού που βρίσκονται σ' επαφή με τα τοιχώματα να παρουσιάζουν μηδενική ταχύτητα, σε αντίθεση μ' εκείνα που βρίσκονται στο κέντρο του αγωγού και παρουσιάζουν τη μέγιστη ταχύτητα.

Στρωτή ροή ονομάζεται η ροή που μπορεί να περιγραφεί με την παραδοχή ότι το ρευστό αποτελείται από πολλά λεπτά στρώματα που ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο. Κατά την ομαλή ροή ή στρωτή ροή ή παράλληλη ροή η μόνιμη ροή το ρευστό ρέει σε παράλληλες προς τον άξονα του αγωγού γραμμές δίνοντας έτσι την εικόνα της ομαλής ή στρωτής ροής επιπλέον όλα τα σωματίδια που διέρχονται από ένα σημείο έχουν την ίδια ταχύτητα. Συνήθης εικόνα παράλληλης ροής είναι εκείνη του νερού από τις βρύσες.

Κατά τη *στροβιλώδη ροή*, ή *στροβιλοειδή ροή*, ή *τυρβώδη ροή* οι γραμμές ροής του ρευστού λαμβάνουν μορφή ακανόνιστων καμπυλών οι οποίες τέμνουν συνεχώς αλλήλους, δίνοντας έτσι την εικόνα ροής με στροβιλισμούς. Εικόνες τυρβώδους ροής μας παρέχουν οι ποταμοί όταν παρουσιάζουν στροβίλους που μπορεί να οφείλονται σε υποκείμενα ρεύματα, σε τριβές σε βραχώδεις όχθες ή σε πετρώματα του βυθού ή σε απότομη στένωση του πλάτους τους. Τυρβώδη ροή επίσης είναι δυνατόν να προκαλέσουν και πλοία ή λέμβοι που κινούνται ενάντια στο ρεύμα του ποταμού καθώς επίσης και οι αεροστρόβιλοι που μπορεί να επηρεάσουν την άντωση του αεροπλάνου με συνέπεια να προκληθούν τρανταγμοί του σκάφους.

3.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΟΗΣ

Η μέτρηση παροχής όγκου είναι μια μέτρηση που απασχολεί κάθε παραγωγική διαδικασία που σχετίζεται με την διαχείριση πρώτων υλών υγρών, αερίων, μιγμάτων κ.λ.π. Στην Ελλάδα έχουμε συνηθίσει να τα ονομάζουμε με διάφορες ονομασίες όπως ροόμετρα, παροχόμετρα, υδρομετρητές, ογκομετρητές κ.α.

Οι αισθητήρες ροής που βρίσκονται στην αγορά, σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οικοδομές και λοιπές εφαρμογές, εμφανίζουν πολλές μορφές και τόσο σε μέγεθος, όσο και στον τρόπο μέτρησης της ροής του επιμέρους ρευστού. Χαρακτηριστικά έχουμε μετρητές στροβίλου, μετρητές στένωσης, τον σωλήνα Venturi, μετρητές με κάθετο στόμιο εκροής, μετρητές με ακροφύσιο, ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα, Ultrasonic ροόμετρα. Ροόμετρα ενδείκτη, ροόμετρα σωλήνα, κ.α.

Επίσης, τα ροόμετρα κατηγοριοποιούνται και σε δύο επιμέρους διακρίσεις ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης της ροής σε:

- Μέτρηση του όγκου
- Μέτρηση της ταχύτητας

3.2.1 ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ

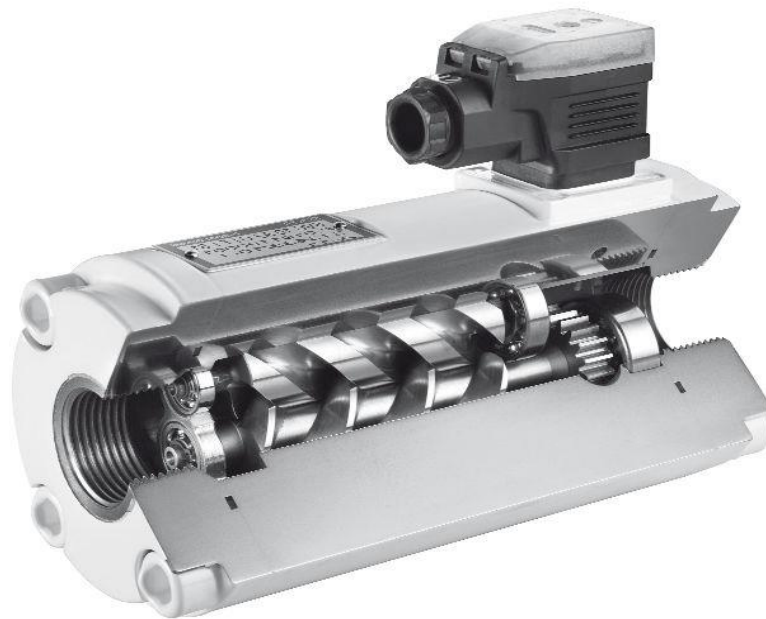
Οι βασικότερες τεχνικές αυτού του είδους ροομέτρων είναι:

- Ο μετρητής ελικοειδούς κοχλία
- Ο μετρητής περιστρεφόμενου λοβού
- Ο μετρητής στροβίλου

- Ο μετρητής υδροτροχού

Ο μετρητής ελικοειδούς κοχλία και ο μετρητής περιστρεφόμενου λοβού αποτελούν θετικής μετατόπισης που σημαίνει ότι το ρευστό ρέει σε θαλάμους γνωστού όγκου και αναγκάζει τον κοχλία ή τους λοβούς να κινηθούν. Η αρχή λειτουργίας των μετρητών θετικής μετατόπισης είναι η διαίρεση της ροής του ρευστού σε γνωστές ποσότητες και στη συνέχεια η πρόσθεση αυτών των ποσοτήτων για το προσδιορισμό της συνολικής ποσότητας που έχει περάσει στη μονάδα του χρόνου.

3.2.1.1 Μετρητής Ελικοειδούς Κοχλία



Εικόνα 8: Ροόμετρο Ελικοειδούς Κοχλία

Ο μετρητής ροής τύπου κοχλία είναι βασικά θετικής μετατόπισης μετρητής ροής. Η μηχανή έχει δύο άξονες μέτρησης που εμπλέκονται μέσα σε ένα προφίλ σχήματος κοχλία. Ένα ρουλεμάν επαφής και ένα περίβλημα έχει χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την τριβή. Οι άτρακτοι σε αναγκάζονται να περιστραφούν από τη ροή του υγρού το οποίο περνά με αξονική κατεύθυνση μέσα από τη συσκευή. Αυτοτελείς ογκομετρικές μερίδες συνεχώς γεμίζουν και αδειάζουν στη συσκευή.

Επίσης, δημιουργία πίεσης ή εμφάνιση δονήσεως δεν αναπτύσσονται από την αρχή λειτουργίας της μέτρησης. Δύο αισθητήρες που δεν έρχονται σε επαφή σαρώνουν το αισθητήριο τροχό που είναι συνδεδεμένος με τον τροχό μέτρησης. Μια ροή διπλής κατεύθυνσης είναι δυνατή μέσω δύο αισθητήρες. Δεν παράγεται καμία εκτροπή από την εισροή και εκροή υγρού στον αισθητήρα, ωστόσο μία σχετικά μικρή πτώση πίεσης εμφανίζεται στη συσκευή. Εάν η μέτρηση γίνεται με αυτόν τον τρόπο, τότε δεν υπάρχει ανάγκη για τη ροή να ηρεμήσει κατά την έξοδο και

την είσοδο από τη συσκευή. Ένα μέσο μέτρησης χρησιμοποιείται για τη λίπανση όλων των κινούμενων μερών.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

- Υψηλό βαθμό ακρίβειας, ο οποίος είναι, ως επί το πλείστον, είναι ανεξάρτητος από το ιξώδες
- Μέτρησης χωρίς παλμούς
- Χαμηλότερες απώλειες πιέσεως
- Σύντομο χρόνο απόκρισης λόγω του καινοτόμου προφίλ του ρότορα και μειωμένη μάζα
- Απαλές μετρήσεις ρευστού
- Υψηλότερη λειτουργικότητα, χάρη στην ευφυή τεχνολογία αισθητήρων

Ο ίδιος ο αισθητήρας διαθέτει δύο γέφυρες GMR (sin / cos) και στεγάζονται σε μια αφαιρούμενη θήκη φυσιγγίου από ανοξείδωτο χάλυβα μαζί με κλιματιζόμενο σήμα και μονάδα ενισχυτή. Μπορεί να αντικατασταθεί χωρίς προβλήματα, όπως απαιτείται. Μεταξύ άλλων, η συσκευή διαθέτει ένα προγραμματιζόμενο φίλτρο σήματος, το οποίο είναι σε θέση να αντισταθμίσει τις ανεπιθύμητες, αρνητικές ακολουθίες παλμών και ανιχνεύει και αποθηκεύει τιμές που υπερβαίνουν τις αναφερόμενες τιμές ροής και θερμοκρασίας. Ένα ξεχωριστό κατευθυντήριο σήμα είναι διαθέσιμο για αξιολογήσεις ενός καναλιού.

Συνεπώς, είναι επίσης δυνατόν να λειτουργούν συσκευές μεγάλου όγκου χωρίς απώλεια της συχνότητας και της ακρίβειας, ενώ χρησιμοποιώντας χαμηλές ταχύτητες ροής. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα κατά τη λειτουργία με υψηλό ιξώδες καθώς και με λειαντικά υγρά. Συχνότητες εξόδου ανάλογα προς τη ροή έως 100 kHz είναι δυνατόν. Η λειτουργικότητα μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω με άλλες προγραμματιζόμενες επιλογές, για παράδειγμα, ο μετρητής ροής μπορεί να προσαρμόζεται στην αντίστοιχη εργασία μέτρησης χωρίς να επενδύουν πάρα πολλή προσπάθεια από την πλευρά της αξιολόγησης.

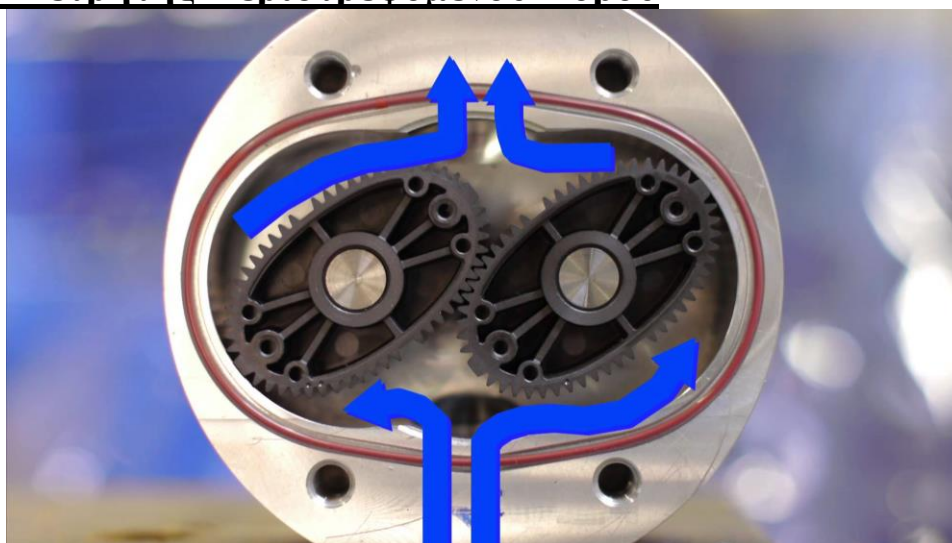
Πίεσης Λειτουργίας: Min.: 0 bar (0 psi)

Max.: 400 bar (5801.51 psi)

Ογκομετρική παροχή: Min.: 0.4 l/min (0.11 us gal/min)

Max.: 3750 l/min (990.65 us gal/min)

3.2.1.2 Μετρητής Περιστρεφόμενου Λοβού



Εικόνα 9: Ροόμετρο Περιστρεφόμενων Λοβών

Οι οβάλ μετρητές ροής που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τη μέτρηση της ογκομετρικής ροής των ρευστών υψηλού ιξώδους, όπως: βαρέων προϊόντων πετρελαίου, εποξικές ρητίνες, χρώματα, κλπ που είναι πάρα πολύ δύσκολο για τους περισσότερους άλλους τύπους μετρητών ροής, λόγω των περιορισμών του αριθμού Reynold που τους χαρακτηρίζει.

Εισερχόμενου υγρού εξασκεί μία διαφορική πίεση κατά την κάτω όψη ενός ωοειδούς γραναζιού, αναγκάζοντας τα δύο συμπλέκονται οβάλ γραναζία να περιστρέφεται. Κατά αυτόν τον τρόπο το υγρό που ρέει εισέρχεται στην κοιλότητα του δεύτερου οβάλ γραναζιού μεταξύ γραναζιού και το τοίχωμα του σώματος του μετρητή ροής, ενώ ένας ίσος όγκος υγρού ταυτόχρονα περνά έξω από την κοιλότητα μεταξύ του πρώτου οβάλ γραναζιού και του τοιχώματος του σώματος του μετρητή ροής.

Εν τω μεταξύ, ανοδική πίεση συνεχίζει να αναγκάσει τα δύο οβάλ γραναζία να περιστραφεί συνέχεια. Με βάση αυτήν την συνθήκη, μια προκαθορισμένη ποσότητα του υγρού έχει πάλι γεμίσει την κοιλότητα μεταξύ του δεύτερου οβάλ γραναζιού και του σώματος του μετρητή ροής. Αυτό το μοτίβο επαναλαμβάνεται συνεχώς κινώντας τέσσερις φορές το υγρό χωρητικότητας κάθε κοιλότητας με κάθε περιστροφή των περιστρεφόμενων γραναζιών. Ως εκ τούτου, ο ρυθμός ροής είναι ανάλογος με την ταχύτητα περιστροφής των οδοντωτών τροχών.

Μαγνήτες, ενταγμένοι σε κάθε άκρο των περιστρεφόμενων οβάλ γραναζιών, χρησιμοποιούνται για να ανοίξει και να κλείσει ένα διάλυτο διακόπτη εξόδου σήματος, να ενεργοποιήσει ένα μικροεπεξεργαστή ή Hall Effect Παραλαβή για τη μεταδώσει την εσωτερική κίνηση (περιστροφική καταμέτρηση) σε ένα αξιοποιήσιμο σήμα εξόδου.

Η αλληλεπίδραση του ιξώδους υγρών και πτώση πίεσης κατά μήκος του μετρητή μπορεί να είναι σημαντική για την ποιότητα της απόδοσης ενός μετρητή ροής περιστρεφόμενων λοβών σε λειτουργία υψηλού ιξώδους. Καθώς το ιξώδες αυξάνεται, η διαρροή μέσω του μετρητή μειώνεται. Αυτό βελτιώνει την ακρίβεια της μέτρησης στο κατώτερο άκρο της περιοχής ροής. Ωστόσο, υψηλότερο ιξώδες αυξάνει επίσης την πτώση πίεσης κατά μήκος του μετρητή. Η μέγιστη πτώση πίεσης περιορίζει τη μέγιστη ικανότητα ροής σε όλους τους μετρητές ροής θετικά εκτοπίσεως.

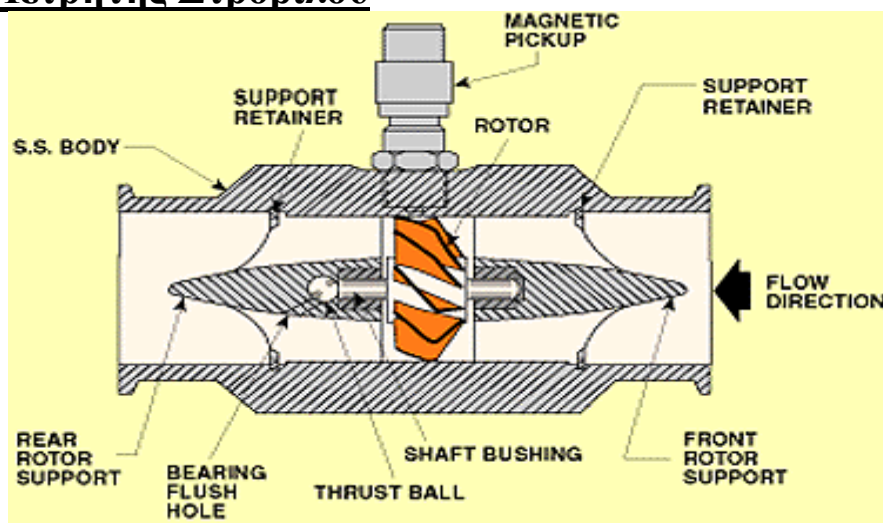
Πλεονεκτήματα Μετρητών Περιστρεφόμενων Λοβών:

- Υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα
- Διαχείριση κολλώδους ροής
- Αποδοτική
- Ακρίβεια ανεπηρέαστη από τις μεταβολές του ιξώδους
- Απαιτεί ελάχιστη συντήρηση

Μειονεκτήματα Μετρητών Περιστρεφόμενων Λοβών:

- Τυπικά υλικά κατασκευής ευαίσθητα στη διάβρωση από τα υγρά με βάση το νερό

3.2.1.3 Μετρητής Στροβίλου



Εικόνα 10: Ροόμετρο Στροβίλου

Εμπορικά εισήχθη στη δεκαετία του 1940, ο μετρητής της ροής στροβίλου έχει γίνει μία από τις δημοφιλέστερες τεχνολογίες μέτρησης ογκομετρικής παροχής που προσφέρεται για την παρακολούθηση της ροής των περισσότερων υγρών και αερίων, σε σωλήνες σχεδόν όλων των μεγεθών.

Το σώμα στροβίλου εντός της γραμμής περιέχει ένα ρότορα στροβίλου, τοποθετημένο σε έναν άξονα με έδρανα και το συγκρότημα στήριξης ρότορα. Το υγρό που διαρρέει το μετρητή διοχετεύεται στην είσοδο μέσα από ένα τμήμα ευθυγράμμισης της ροής (συγκρότημα στήριξης του ρότορα αντίθετης ροής). Αυτό μειώνει το μοτίβο της τυρβώδους ροής * σε ένα πιο σταθερό, αστρόβιλης ροής, πριν να έρθει σε επαφή με το πολύ-περύγιο στρόβιλο του ρότορα. Η ροή μέσω των γωνιακών περυγίων του ρότορα προκαλεί το στρόβιλο του ρότορα να περιστραφεί σε μία ταχύτητα ανάλογη με την ταχύτητα του ρέοντος μέσου.

Καθώς ο τροχός του στροβίλου περιστρέφεται, μία ηλεκτρική τάση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) παράγεται σε ένα μαγνητικό πηνίο παραλαβής, τοποθετημένο στο περίβλημα του μετρητή (σώμα), που βρίσκεται αμέσως δίπλα στην διάδρομο ροής. Καθώς κάθε περύγιο του ρότορα περνά μέσα από το μαγνητικό πεδίο, ένας παλμός παράγεται. Η κυματομορφή που παράγεται είναι ένα τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα που προσεγγίζει ένα καθαρό ημιτονοειδές κύμα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ρότορα. Η συχνότητα του σήματος AC είναι ανάλογη προς την ταχύτητα ροής μέσα από τον μετρητή του στροβίλου.

Σε μετρητές ροής στροβίλου, το περίβλημα (σώμα) είναι κατασκευασμένο από μη μαγνητικά υλικά, όπως αλουμίνιο, ανοξείδωτος χάλυβας 316 ή μια ποικιλία από τραχιά πλαστικά (για χημική συμβατότητα). Ο ρότορας του στροβίλου κατασκευάζεται από μαγνητικό ή μαγνητισμένο υλικά, όπως σειρά 400 (μαρτενσιτικός) από ανοξείδωτο χάλυβα. Ο ρότορας μπορεί επίσης να "εμπλουτισμένους" με μίνι μαγνήτες, όταν χρησιμοποιείται επαγωγικού τύπου μαγνητικό pickup ή Hall Effect pickup.

Οι τρεις τύποι ρουλεμάν χρησιμοποιούνται σε μετρητές ροής στρόβιλο: το ρουλεμάν με σφαίρες, το ρουλεμάν χιτωνίου (περιοδικό) και το έδρανο περιστροφής. Το ρουλεμάν με σφαίρες είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο, συνήθως σε 440C ανοξείδωτο χάλυβα, προσφέροντας σχετικά εύρωστη, λειτουργία "χαμηλής αντίστασης". Το ρουλεμάν χιτωνίου είναι πιο συχνά προτεινόμενο σε καρβίδιο βολφραμίου για την εξαιρετική αντοχή του. Είναι η πιο κατάλληλη για ρευστά που περιέχουν λειαντικά σωματίδια. Το έδρανο περιστροφής χρησιμοποιεί σκληρά υλικά κοσμημάτων (ζαφείρι) στα σημεία επαφής (άξονας και υποστήριξη). Αυτό παρέχει λιγότερη τριβή από ρουλεμάν. Επίσης, είναι σχετικά αδιαπέραστο σε χημικές επιθέσεις. Ωστόσο, η ικανότητα μεταφοράς φορτίου και οι επιτρεπόμενες ταχύτητες αυτού του τύπου ρουλεμάν είναι επίσης χαμηλότερες από το ρουλεμάν με σφαίρες.

Οι μετρητές ροής στροβίλου χρησιμοποιούν μια ποικιλία μετατροπέων pickup για να μετατρέψουν την περιστροφική ενέργεια (ταχύτητα) της τουρμπίνας σε ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα. Αυτοί οι μετατροπείς τότε διαβιβάζουν το σήμα εξόδου ανάλογα προς εξωτερικές οθόνες ανάγνωσης ή άλλο εξοπλισμό διασύνδεσης και απόκτησης ηλεκτρονικών δεδομένων. Το μηχανικό

γρاناζωτό σύστημα χρησιμοποιεί ένα άξονα ο οποίος είναι μηχανικά οδηγούμενος από ένα γρανάζι στερεωμένο στον άξονα του ρότορα. Αυτός άξονα, με τη σειρά του, οδηγεί ένα μηχανικό ανάγνωσης το οποίο μπορεί να εμφανίσει το ρυθμό ροής, ολική ποσότητα, ή και τα δύο. (Παρόμοιο με ένα ταχύμετρο αυτοκινήτων και χιλιομετρικών αποστάσεων).

3.2.1.4 Μετρητής Υδροτροχού



Εικόνα 11: Ροόμετρο Υδροτροχού (Περιστρεφόμενων Πτερυγίων)

Αυτοί οι μετρητές χρησιμοποιούν τον καθιερωμένο, χαμηλού κόστους συντήρησης μηχανισμό τύπου μέτρησης περιστρεφόμενων πτερυγίων. Σχεδιασμός με ελάχιστα κινούμενα μέρη, αυτοί οι μετρητές παρέχουν αξιοπιστία, χωρίς προβλήματα λειτουργίας.

Οι περιστροφικοί μετρητές πτερυγίου κατασκευάζονται σε διάφορα σχέδια, αλλά η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια για όλους αυτούς μετρητές. Υγρό εισέρχεται στο κυλινδρικό θάλαμο μέτρησης και αναγκάζεται να διαχωριστεί σε δύο ίσα ρεύματα, που ταξιδεύουν σε έναν βρόχο 360°. Τα ρεύματα διοχετεύονται περαιτέρω, από την ειδική διαμόρφωση του θαλάμου μέτρησης, σε μια σειρά δινών που προκαλούν το περιστροφικό πτερυγιοφόρο στροφέιο να περιστρέφεται σε άμεση αναλογία προς τον ρυθμό ροής. Αυτά τα ρεύματα διπλής ροής ανασυνδυάζονται σε ένα ενιαίο ρεύμα στην έξοδο του μετρητή. Η περιστροφική πτερωτή είναι συνδεδεμένη στον μετρητή καταχώρησης από ένα συγκρότημα μαγνητικού δίσκου. Κάθε μηχανική περιστροφή της πτερωτής καταχωρείται και εμφανίζεται στο μητρώο του μετρητή.

Με βάση το υλικό κατασκευής, η μέγιστη πίεση και το μέγιστο όριο θερμοκρασίας των μετρητών περιστροφικών πτερυγίων είναι 350 ° F και 1000 psig, αντίστοιχα. Το όριο του ιξώδους τους κυμαίνεται μεταξύ 1 και 25.000 centipoise. Ο μετρητής μπορεί να εξοπλιστεί με μέσο

μηχανικής ενσωμάτωσης για την υλοποίηση των τοπικών ενδείξεων, και μπορεί να είναι εξοπλισμένος με πομπό σήματος παλμού ή έξυπνο όργανο για την υλοποίηση του σήματος με μετάδοση εξ αποστάσεως.

Οι μετρητές περιστροφικών πτερυγίων είναι ανθεκτικοί στη φθορά, και τα πτερύγια μπορούν να λειτουργούν σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Η απώλεια πίεσης είναι μικρή. Η εξασθένηση της ακρίβειας είναι χαμηλή και η απώλεια πίεσης δεν είναι μεγαλύτερη από 0.1Μρα. Η δομή του ενιαίου περιβλήματος είναι απλή και το βάρος της είναι ελαφρύ, η δομή της διπλής θαλάμωσης δεν μπορεί να επηρεαστεί από θερμική διαστολή και διαφορά πίεσης, και η παραμόρφωσή της είναι πολύ μικρή.

Επίσης, η εγκατάσταση για το μετρητή είναι πολύ απλή και δεν υπάρχει ανάγκη για βοηθητικό εξοπλισμό όπως ευθύ τμήμα σωλήνας, έναν ανορθωτή, κλπ. Ο μετρητής δεν επηρεάζεται από κομμάτια σωλήνα όπως βαλβίδες, γωνίες, κλπ. Ο μετρητής μπορεί να λειτουργήσει πολύ σταθερά, χωρίς κραδασμούς και το θόρυβο.

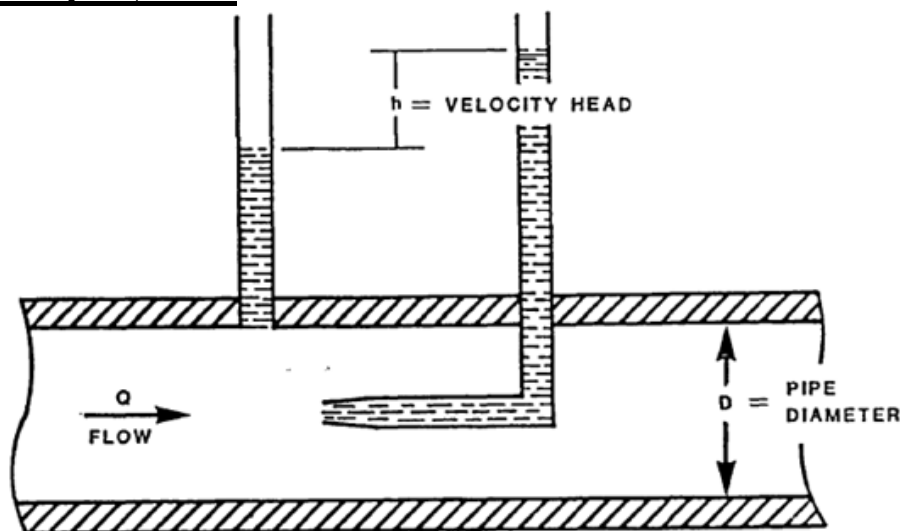
3.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΡΟΗΣ

Η αρχή λειτουργίας αυτών των ροομέτρων είναι:

- Ο σωλήνας Pitot
- Ο μετρητής ροής μεταβλητής διατομής

Οι μετρητές αυτοί εκμεταλλεύονται την κίνηση που έχει το υγρό το οποίο μετράνε μέσα στο σωλήνα με σκοπό τον υπολογισμό της συνολικής του παροχής στην εγκατάσταση. Με τη χρήση διάφορων τύπων που σχετίζονται με την ταχύτητα και την μετατροπή της σε ανάλογο μέγεθος που αντιπροσωπεύει την ποσότητα του υγρού που κινείται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα υπολογίζεται η παροχή. Έτσι αυτά τα συστήματα είναι πολύ ευαίσθητα και ακριβή στις μετρήσεις τους, καθώς έχουν ταχύτατη απόκριση και υπολογισμό της παροχής σε πραγματικό χρόνο με ελάχιστες απώλειες.

3.2.2.1 Σωλήνας Pitot



Εικόνα 12: Σωλήνας Pitot

Ένας σωλήνας pitot είναι ένα όργανο μέτρησης της πίεσης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ρευστού. Ο σωλήνας pitot επινοήθηκε από τον Γάλλο μηχανικό Henri Pitot στις αρχές του 18ου αιώνα και τροποποιήθηκε στη σύγχρονη μορφή του στα μέσα του 19ου αιώνα από τον Γάλλο επιστήμονα Henry Darcy. Χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της ταχύτητας των αεροσκαφών, την ταχύτητα μιας βάρκας, και για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής των υγρών, του αέρα και των αερίων σε βιομηχανικές εφαρμογές. Ο σωλήνας pitot χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της τοπικής ταχύτητας ροής σε δεδομένο σημείο στο ρεύμα ροής και όχι η μέση ταχύτητα ροής στο σωλήνα ή αγωγό.

Ο βασικός σωλήνα pitot αποτελείται από ένα σωλήνα κατάδειξης απευθείας μέσα στην ροή ρευστού. Καθώς αυτή η σωλήνα περιέχει υγρό, μία πίεση μπορεί να μετρηθεί. Το κινούμενο υγρό φέρεται να ‘ξεκουράζεται’ (λιμνάζει), καθώς δεν υπάρχει διέξοδος για να επιτρέψει τη ροή να συνεχίσει. Αυτή η πίεση είναι η πίεση στασιμότητας του υγρού, επίσης γνωστή ως η συνολική πίεση ή (ιδιαίτερα στην αεροπορία) την πίεση pitot. Η μετρήσιμη πίεση στασιμότητας δεν μπορεί η ίδια να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η ταχύτητα ροής του ρευστού. Ωστόσο, η εξίσωση Bernoulli αναφέρει:

Πίεση Στασιμότητας = Στατική Πίεση + Δυναμική Δίεση

Η οποία μπορεί επίσης να γραφεί:

$$p_t = p_s + \rho u^2/2$$

Λύνοντας αυτό για την ταχύτητα ροής:

$$u = \frac{\sqrt{2(pt-ps)}}{\rho}$$

Όπου:

- **u** είναι η ταχύτητα ροής πρέπει να μετριέται σε **m / s**
- **pt** είναι στασιμότητα ή ολική πίεση σε **pascal**
- **ps** είναι στατική πίεση σε **pascal**
- και **ρ** είναι η πυκνότητα του υγρού σε **kg / m³**

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η παραπάνω εξίσωση ισχύει μόνο για υγρά που μπορούν να αντιμετωπίζονται ως ασυμπίεστα. Τα υγρά αντιμετωπίζονται ως ασυμπίεστα κάτω από σχεδόν όλες τις συνθήκες. Αέρια υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να προσεγγιστούν ως ασυμπίεστα.

Η δυναμική πίεση, λοιπόν, είναι η διαφορά μεταξύ της πίεσης στασιμότητας και της στατικής πίεσης. Η δυναμική πίεση στη συνέχεια προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας ένα διάφραγμα μέσα σε ένα κλειστό δοχείο. Αν ο αέρας από τη μία πλευρά του διαφράγματος είναι στην στατική πίεση, και το άλλο στην πίεση στασιμότητας, τότε η εκτροπή του διαφράγματος είναι ανάλογη με τη δυναμική πίεση. Στα αεροσκάφη, η στατική πίεση μετράται συνήθως με τη χρήση των στατικών θυρών στην πλευρά της ατράκτου. Η δυναμική πίεση που μετράται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ενδεικτική ταχύτητα του αέρα του αεροσκάφους. Η διάταξη διαφραγμάτων που περιγράφηκε παραπάνω συνήθως περιέχεται μέσα στο δείκτη ταχύτητας του αέρα, ο οποίος μετατρέπει την δυναμική πίεση σε ένδειξη της ταχύτητας του αέρα με τη βοήθεια μηχανικών μοχλών.

3.2.2.2 Μεταβλητής Διατομής Μετρητής Ροής



Εικόνα 13: Ροόμετρο Μεταβλητής Διατομής

Ο πρώτης μεταβλητής περιοχής μετρητής με περιστρεφόμενο πλωτήρα εφευρέθηκε από τον Karl Kueppers στο Άαχεν το 1908. Αυτός περιγράφεται στο γερμανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 215225. Felix Meyer ίδρυσε την πρώτη βιομηχανική εταιρεία "Deutsche Rotawerke GmbH" στο Άαχεν αναγνωρίζοντας τη θεμελιώδη σημασία αυτής της εφεύρεσης. Βελτίωσαν αυτήν την εφεύρεση με νέα σχήματα πλωτήρα και του γυάλινου σωλήνα. Ο Kueppers εφηύρε το ειδικό σχήμα για το εσωτερικό του γυάλινου σωλήνα που αντιλαμβάνεται μία συμμετρική κλίμακα ροής.

Ένας μετρητής ρυθμού ροής αποτελείται από έναν κωνικό σωλήνα, τυπικά κατασκευασμένο από γυαλί με έναν «πλωτήρα», κατασκευασμένα είτε από ανοδιωμένο αλουμίνιο ή κεραμικό, στην πραγματικότητα ένα μορφοποιημένο βαρίδιο, το εσωτερικό του οποίου ωθείται από την ασκούμενη δύναμη αντίστασης της ροής και έλκεται κάτω από τη βαρύτητα. Η δύναμη έλξης για ένα δεδομένο υγρό και η διατομή του πλωτήρα, είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής με τετραγωνίδα. Ένα υψηλότερο ποσοστό ογκομετρικής ροή διαμέσου μιας συγκεκριμένης περιοχής αυξάνει την ταχύτητα ροής και την ασκούμενη δύναμη αντίστασης, έτσι ο πλωτήρας θα ωθηθεί προς τα πάνω. Ωστόσο, καθώς το εσωτερικό του μετρητή ρυθμού ροής είναι κωνικό (διευρύνει), η περιοχή γύρω από τον πλωτήρα διαμέσου του οποίου το μέσο ρέει αυξάνετε, η ταχύτητα ροής και η ασκούμενη δύναμη αντίστασης μειώνεται έως ότου υπάρξει μηχανική ισορροπία με το βάρος του πλωτήρα.

Οι πλωτήρες γίνονται σε πολλά διαφορετικά σχήματα, με σφαίρες και ελλειψοειδή να είναι τα πιο συνηθισμένα. Ο πλωτήρας μπορεί να είναι διαγωνίως αυλακωτός και μερικώς χρωματισμένος έτσι ώστε να περιστρέφεται αξονικά καθώς διέρχεται το ρευστό. Αυτό δείχνει αν ο πλωτήρας είναι κολλημένος, δεδομένου ότι θα περιστρέφεται μόνο αν είναι ελεύθερος. Οι μετρήσεις λαμβάνονται

συνήθως στην κορυφή του ευρύτερου τμήματος του πλωτήρα, δηλαδή το κέντρο για ένα ελλειψοειδές, ή η κορυφή για έναν κύλινδρο. Μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα. Το «βαρίδιο» δεν πρέπει να επιπλέει στο υγρό: πρέπει να έχει υψηλότερη πυκνότητα από το υγρό, αλλιώς θα επιπλέει στην κορυφή, ακόμη και αν δεν υπάρχει ροή.

Η μηχανική φύση της αρχής μέτρησης παρέχει μια συσκευή μέτρησης ροής που δεν απαιτεί καμία ηλεκτρική ενέργεια. Εάν ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από μέταλλο, η θέση επίπλευσης μεταφέρεται σε μια εξωτερική ένδειξη μέσω μιας μαγνητικής σύζευξης. Αυτή η ικανότητα έχει διευρύνει σημαντικά το εύρος των εφαρμογών για τους μεταβλητή περιοχής μετρητές ροής, δεδομένου ότι η μέτρηση μπορεί να παρατηρηθεί εξ αποστάσεως από τη διαδικασία ή να χρησιμοποιηθεί για αυτόματο έλεγχο.

Πλεονεκτήματα:

- Ένας μετρητής ρυθμού ροής δεν απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία ή καύσιμα, χρησιμοποιεί μόνο τις εγγενείς ιδιότητες του ρευστού, μαζί με τη βαρύτητα, για τη μέτρηση του ρυθμού ροής.
- Ένας μετρητής ρυθμού ροής είναι επίσης μια σχετικά απλή συσκευή που μπορεί να κατασκευαστεί μαζικά από φθηνά υλικά, επιτρέποντας την ευρεία χρήση του.
- Δεδομένου ότι η περιοχή της διόδου ροής αυξάνεται καθώς ο πλωτήρας κινείται προς τα πάνω στον σωλήνα, η κλίμακα είναι περίπου γραμμική.
- Το διαφανές γυαλί που χρησιμοποιείται είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στο θερμικό σοκ και χημική δράση.

Μειονεκτήματα:

- Λόγω της χρήσης του βαριδίου, ένας μετρητής ρυθμού ροής πρέπει πάντα να προσανατολίζονται κατακόρυφα και σωστό τρόπο, με το ρευστό να ρέει προς τα πάνω.
- Λόγω της εξάρτησή του από την ικανότητα του υγρού ή αερίου να εκτοπίσει το βαρίδιο, διαβαθμίσεις σε δεδομένο μετρητή ρυθμού ροής θα είναι ακριβείς για μια δεδομένη ουσία σε μία δεδομένη θερμοκρασία και μόνο. Η κύρια ιδιαίτερης σημασίας ιδιότητα, είναι η πυκνότητα του ρευστού. Ωστόσο, το ιξώδες μπορεί επίσης να είναι σημαντικό. Οι πλωτήρες είναι ιδανικά σχεδιασμένοι για να είναι ευαίσθητοι στο ιξώδες. Ωστόσο, αυτό είναι σπάνια επαληθεύσιμο από τις προδιαγραφές των κατασκευαστών. Έτσι είτε χωριστοί μετρητές ρυθμού ροής για διαφορετικές πυκνότητες και ιξώδη μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλές κλίμακες στο ίδιο μετρητή ρυθμού ροής.

- Λόγω της άμεση ένδειξης της ροής, η ανάλυση είναι σχετικά φτωχή σε σύγκριση με άλλες αρχές μέτρησης. Η αβεβαιότητα ένδειξης γίνεται χειρότερη κοντά στο κάτω μέρος της κλίμακας. Ταλαντώσεις του πλωτήρα και παράλλαξη ενδέχεται να αυξηθούν περαιτέρω την αβεβαιότητα της μέτρησης.
- Δεδομένου ότι ο πλωτήρας πρέπει να διαβάζετε διαμέσω του ρέοντος μέσου, ορισμένα υγρά μπορεί να συγκαλύψουν την ένδειξη. Ένας μετατροπέας ενδέχεται να απαιτηθεί για την ηλεκτρονικά μέτρηση της θέσης του πλωτήρα.
- Οι μετρητές ρυθμού ροής δεν προσαρμόζονται εύκολα για ένδειξη από μηχανή, αν και μαγνητικοί πλωτήρες που οδηγούν έναν ακολουθητή έξω από το σωλήνα είναι διαθέσιμοι.
- Οι μετρητές ρυθμού ροής γενικά δεν κατασκευάζονται σε μεγέθη μεγαλύτερο από 6 ίντσες / 150 mm, αλλά σχέδια παράκαμψης χρησιμοποιούν μερικές φορές πολύ μεγάλους σωλήνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Marine in sight
- 2) Integrated Sensing Systems
- 3) Applied Engineering, INC.
- 4) Emerson Electric Co.
- 5) Εργασία: «Fuel Oil System & Fuel Injection Equipment»
- 6) Εργασία: «Αισθητήρες Μετρήσεων», από ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας Βιβλιοθήκη
- 7) Βικιπαίδεια για εύρεση πληροφοριών σχετικέ με: αισθητήρα, viscosity, ροή των ρευστών, ρευστό, ροή, pitot tube και rotameter
- 8) Εργασία: «Μετρητές ροής Ιξώδους και εφαρμογές στην Ναυτιλία», από Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας Σχολή Μηχανικών
- 9) Εργασία: «Ιξώδες και οι Μηχανισμοί της Μεταφοράς Ορμής»
- 10) Εργασία: «Κεφάλαιο 2^ο: Ιξώδες Ρευστό (Viscous Fluid)» Πανεπιστήμιο Κρήτης Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών
- 11) Εργαστηριακή Άσκηση: «Μέτρηση Ιξώδους», από Εργαστήριο Ναυτικής Μηχανολογίας Ι, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας
- 12) Εργαστηριακή Άσκηση: «Κινηματικό Ιξώδες Διάφανων και Αδιάφανων Υγρών (ASTM D – 445, IP 71)», από Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Χημικών Μηχανικών
- 13) Εργασία: «Μετρητές Ροής, Ροόμετρα, Μετρητές Ροής Πετρελαίου, Υδρόμετρα, Ροόμετρα Υπερήχων, Μετρητές Μάζας, Μηχανικά Ροόμετρα, Επιτηρητές Ροής, Electromagnetic Flowmeter, Coriolis, Vortex, Variable Area»
- 14) VSE Volumentech GmbH
- 15) Direct Industry - Exhibit With Us The Online Industrial Exhibition-
- 16) Instrumart
- 17) Encyclopedia of Chemical Engineering Equipment
- 18) OMEGA website

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ, ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	6
1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
1.2.ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ, ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ.....	11
2.1. ΙΞΩΔΕΣ.....	11
2.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΙΞΩΔΟΥΣ.....	14
2.2.1. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	15
2.2.2. ΥΠΕΡΥΧΗΤΗΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ FORK.....	17
2.2.3. ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ ΜΕ ΕΜΒΟΛΟ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ.....	19
2.2.4. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ.....	20
2.3. ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ, ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΟΗΣ.....	24
3.1. ΡΟΗ.....	24
3.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΟΗΣ.....	29
3.2.1. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ.....	29
3.2.1.1. ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ ΚΟΧΛΙΑ.....	30
3.2.1.2. ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΛΟΒΟΥ.....	32
3.2.1.3. ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ.....	33
3.2.1.4. ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΥΔΡΟΤΡΟΧΟΥ.....	35
3.2.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΡΟΗΣ.....	36
3.2.2.1. ΣΩΛΗΝΑΣ ΡΙΤΟΤ.....	37
3.2.2.2. ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΡΟΗΣ.....	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	42
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	43