



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

**Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος αισθητήρων με χρήση  
Labview για τον έλεγχο της στάθμης δεξαμενών καυσίμου σε πλοίο.**

---

**Design and implementation of sensor system using Labview to  
control the fuel tank level on a ship.**

---

**Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:**

**Βασιλείου Γεώργιος**

**Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:**

**Γκανέτσος Θεόδωρος**

---

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Φεβρουάριος 2017**

**ΑΘΗΝΑ**



**Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος αισθητήρων με χρήση  
Labview για τον έλεγχο της στάθμης δεξαμενών καυσίμου σε πλοίο.**

**Βασιλείου Γεώργιος**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική  
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του  
Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες  
στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και  
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος  
Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ.**



### Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής διατριβής

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος / η .....Βασιλείου...Γεώργιος ....., του .....Δημητρίου....., με αριθμό μητρώου .....2..... φοιτητής / τρια του. Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ, δηλώνω ότι: *«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διατριβή. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διατριβή προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή».*

Ο δηλών

Ημερομηνία



## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική διατριβή γίνεται λόγος για τις διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων μέτρησης και ελέγχου στάθμης. Οι αισθητήρες για την επίτευξη αυτού, μπορούν να εφαρμοστούν είτε απευθείας στην δεξαμενή είτε με τα ροόμετρα στις σωληνώσεις πριν την κατάληξη στην δεξαμενή. Παρουσιάζονται, λοιπόν, όλες οι τεχνολογίες αισθητήρων και ροομέτρων που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία μέτρησης. Με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για το βέλτιστο σύστημα που υπάρχει, όπου για να έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα θα πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες του καυσίμου. Τέλος, θα γίνει η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος και μέσω της μαθηματικής έκφρασης αυτού, θα πραγματοποιηθεί προσομοίωση στο πρόγραμμα Labview.

Λέξεις κλειδιά : Τεχνολογίες, αισθητήρες, ροόμετρα, μετρήσεις, δεξαμενή, καύσιμο



## **Abstract**

In this dissertation refers to the various measuring sensor technologies and level control. Sensors for achieving this can be applied either directly to the tank or flowmeters in pipes before ending in the tank. Presented all sensor technologies and flowmeters used in the measurement process. In order to conclusion on the best available system, we need to know the characteristics and the fuel conditions. Finally, it will be the choice of the most suitable system and through this mathematical expression will be simulated to the Labview program.

Keywords: technologies, sensors, flowmeters, measurements, tank, fuel



## Περιεχόμενα

Περίληψη. . . . .	4
Abstract. . . . .	5
Περιεχόμενα. . . . .	6
Κατάλογος Εικόνων. . . . .	7
1.Εισαγωγή. . . . .	8
1.1 Έννοια Αισθητήρων. . . . .	9
1.2 Διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων στάθμης. . . . .	9
1.3 Σημασία μέτρησης στάθμης. . . . .	11
2. Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών. . . . .	13
2.1 Μέτρηση μέσω σωλήνα. . . . .	13
2.2 Πλωτός διακόπτης. . . . .	14
2.3 Μαγνητικοί δείκτες στάθμης. . . . .	15
2.4 Αισθητήρες χωρητικότητας. . . . .	16
2.5 Μέτρηση με μαγνητοσυστολική βέργα. . . . .	17
2.6 Μέτρηση με υπερήχους. . . . .	19
2.7 Μέτρηση με μικροκύματα. . . . .	20
2.8 Μέτρηση μέσω υδροστατικής συσκευής. . . . .	21
2.9 Μέτρηση με οπτικούς αισθητήρες. . . . .	25
2.10 Μέτρηση με ακτίνες γάμμα. . . . .	27
3. Τεχνολογίες μέτρησης ροής. . . . .	30
3.1 Μετρητές ροής με διαφορική πίεση. . . . .	33
3.2 Μέτρηση με ταχύτητα ροής. . . . .	38
3.2.1 Ροόμετρα στροβίλου. . . . .	38
3.2.2 Ροόμετρα δίνης. . . . .	39
3.2.3 Ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα. . . . .	40
3.2.4 Υπερηχητικά ροόμετρα. . . . .	41
3.3 Ροόμετρα θετικής μετατόπισης. . . . .	42
3.4 Ανοιχτού τύπου μετρητές. . . . .	47
3.5 Ροόμετρα μάζας. . . . .	48
4. Συμπεράσματα. . . . .	51
5. Βιβλιογραφία. . . . .	52
6. Υλοποίηση συστήματος Coriolis με Labview (Παράρτημα I). . . . .	59
7. Paper (Παράρτημα II) . . . . .	65



### Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.2 : Διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων στάθμης. ....	11
Εικόνα 2.1 : Σωλήνας μέτρησης. ....	13
Εικόνα 2.2 : Πλωτός διακόπτης (Φλοτέρ) ....	14
Εικόνα 2.3 : Μαγνητικός δείκτης στάθμης. ....	15
Εικόνα 2.4 : Χωρητικός αισθητήρας. ....	16
Εικόνα 2.5 : Μαγνητοσυστολική βέργα. ....	18
Εικόνα 2.6 : Υπερηχητικός μετρητής. ....	20
Εικόνα 2.7 : Μετρητής ραντάρ. ....	21
Εικόνα 2.8.1 : Σωλήνας μετατόπισης. ....	22
Εικόνα 2.8.2 : Διακόπτης μετατόπισης. ....	23
Εικόνα 2.8.3 : Φυσαλιδογόνο σύστημα. ....	24
Εικόνα 2.8.4 : Σύστημα διαφορικής πίεσης. ....	25
Εικόνα 2.9 : Οπτικός αισθητήρας λέιζερ. ....	27
Εικόνα 2.10 : Μετρητής ακτινοβολίας. ....	29
Εικόνα 3.1.1 : Μετρητής στομίου εκροής. ....	34
Εικόνα 3.1.2 : Ροόμετρο Venturi. ....	35
Εικόνα 3.1.3 : Σωλήνας Venturi. ....	35
Εικόνα 3.1.4 : Ακροφύσιο εκροής. ....	36
Εικόνα 3.1.5 : Σωλήνας pitot. ....	36
Εικόνα 3.1.6 : Γωνιακοί μετρητές. ....	37
Εικόνα 3.1.7 : Στοχευόμενος μετρητής. ....	37
Εικόνα 3.2.1 : Ροόμετρο στροβίλου. ....	39
Εικόνα 3.2.2 : Ροόμετρο δίνης. ....	39
Εικόνα 3.2.3 : Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο. ....	40
Εικόνα 3.2.4 : Υπερηχητικά ροόμετρα. ....	41
Εικόνα 3.3.1 : Σχεδιάγραμμα παλινδρομικών εμβόλων μέτρησης. ....	43
Εικόνα 3.3.2 : Παλινδρομικά έμβολα μέτρησης. ....	44
Εικόνα 3.3.3 : Οβάλ γρανάζια μέτρησης. ....	44
Εικόνα 3.3.4 : Ταλαντευόμενος δίσκος μέτρησης. ....	45
Εικόνα 3.3.5 : Περιστρεφόμενα πτερύγια μέτρησης. ....	46
Εικόνα 3.3.6 : Ελικοειδής ρότορας μέτρησης. ....	46
Εικόνα 3.4.1 : Μέτρηση ανοιχτού τύπου. ....	47
Εικόνα 3.5.1 : Θερμικό ροόμετρο μάζας. ....	49
Εικόνα 3.5.2 : Ροόμετρο μάζας Coriolis. ....	50

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

#### 1.Εισαγωγή

Στην καθημερινότητά μας γίνεται όλο και πιο έντονη η παρουσία της τεχνολογίας. Βρισκόμαστε στην χρονική περίοδο όπου η τεχνολογική εξέλιξη ανθεί και σε αυτό έχουν συντελέσει πολλοί παράγοντες. Μερικοί σημαντικοί παράγοντες θεωρούνται τα εργαλεία, τα μηχανήματα αλλά και οι αυτοματισμοί που έχουν αναπτυχθεί. Οι αυτοματισμοί έχουν κύριο σκοπό να μας απαλλάξουν και να μας διευκολύνουν από χρονοβόρες διαδικασίες. Έτσι, στην βιομηχανία και στην ναυτιλία έχουν ιδιαίτερη θέση στο παραγωγικό κομμάτι.

Η καρδιά ενός πλοίου θεωρείται η μηχανή του αλλά για να βρεθεί σε λειτουργία πρέπει να τροφοδοτηθεί με καύσιμο. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται, ονομάζεται ναυτιλιακό και χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: το πετρέλαιο Diesel και το βαρύ πετρέλαιο (heavy fuel). Αποθηκεύεται σε δεξαμενές και μέχρι την κατάληξή του στην μηχανή, υφίσταται μία διεργασία. Από το αρχικό στάδιο της αποθήκευσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, δηλαδή την πυκνότητά του, το ιξώδες και άλλα. Σημαντικό στοιχείο επίσης, είναι στη θερμοκρασία που βρίσκεται διότι μεταβάλλεται η πυκνότητά του και ο όγκος του λόγω της εξάτμισης του νερού που εμπεριέχει. Αυτή είναι η αιτία ύπαρξης ενός ιδιαίτερου προβλήματος στην μέτρηση του καυσίμου. Αν και στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες, οι μηχανικοί καλούνται να πραγματοποιούν την μέτρηση χειροκίνητα επειδή γίνονται πολλά σφάλματα από τα συστήματα [28].

Η διαδικασία ανεφοδιασμού ενός πλοίου λέγεται πετρέλευση. Στην πετρέλευση το καύσιμο αποθηκεύεται στις δεξαμενές εφοδιασμού. Και κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής, πραγματοποιούνται μετρήσεις για την ποσότητα παραλαβής. Έτσι, οποιοδήποτε σφάλμα στην ποσότητα μπορεί να μας οδηγήσει σε οικονομική απώλεια. Αν αναλογιστούμε ότι το 50% - 70% του λειτουργικού εξόδου ενός πλοίου είναι το καύσιμο τότε και το παραμικρό ποσοστό σφάλματος είναι σημαντικό. Το γεγονός αυτό μας οδήγησε στην βελτιστοποίηση των συστημάτων μέτρησης και τον έλεγχο της στάθμης του καυσίμου. Η πληροφορία της στάθμης μας βοηθάει στην εξαγωγή πολλών χρήσιμων συμπερασμάτων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

### 1.1 Έννοια Αισθητήρων

Η έννοια των αισθητήρων υφίσταται στη φύση ακόμα και σε εμάς τους ανθρώπους. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο άνθρωπος χρησιμοποιεί τα αυτιά του για τον ήχο, τα μάτια του για να βλέπει ένα φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών. Στοιχεία τα οποία είναι αναγκαία για την καθημερινότητα του ανθρώπου. Οι αισθητήρες που έχουν ανακαλυφθεί και χρησιμοποιούνται σε συσκευές μετρούν μία φυσική ποσότητα και την μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Δηλαδή, δέχονται ένα φυσικό ερέθισμα στην είσοδο και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα όπου με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα προσδιορίζουν το ερέθισμα αυτό. Οι αισθητήρες κατηγοριοποιούνται σε τρεις τομείς. Αρχικά βρίσκονται αυτοί που μετρούν φυσικά μεγέθη όπως το χρόνο, το ρεύμα, τη μάζα, τη θέση. Άλλη κατηγορία αισθητήρων μετρά φυσικές ιδιότητες όπως αγωγιμότητα, ημιαγωγιμότητα, διηλεκτρικά, μαγνητικά και υπεραγωγιμότητα υλικά. Και τέλος, βρίσκονται αυτοί που εφαρμόζονται σε χρήσεις για λόγους στρατιωτικούς, βιομηχανικούς, ιατρικούς, περιβαλλοντικούς, μεταφοράς και αυτοματισμού [36].

### 1.2 Διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων στάθμης

Για την μέτρηση στάθμης, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων. Κάθε αισθητήρας έχει τα πλεονεκτήματα του και τα μειονεκτήματα του. Ανάλογα την εφαρμογή, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του έτσι ώστε να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου. Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι τα εξής: η συμβατότητα, το εύρος λειτουργίας, η αβεβαιότητα, η ακρίβεια, η επαναληψιμότητα, η διακριτότητα, η ευαισθησία, η υστέρηση, ο θόρυβος, οι διαστάσεις και η γραμμικότητα.

Η *συμβατότητα* θεωρείται ένα μέγεθος, όπου λόγω της εγκατάστασης του αισθητηρίου, αν θα μας επηρεάσει την τιμή της μέτρησης. Εφόσον δεν μας επηρεάζει την τιμή είναι κατάλληλος για την εφαρμογή μας.

Το *εύρος λειτουργίας* καθορίζεται από όρια, τα οποία είναι από μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή μέτρησης. Αυτό μπορεί να αναφέρεται σε διάφορα μεγέθη μέτρησης, όπως σε θερμοκρασία, φωτεινότητα, πίεση και άλλα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Η *ακρίβεια* του αισθητήρα ονομάζουμε το μέγιστο ποσοστό σφάλματος που μπορεί να έχει στις μετρήσεις του. Όλες οι αισθητήριες διατάξεις εμπεριέχουν ένα ποσοστό λάθους και στόχος πάντα είναι να αναζητούμε το μικρότερο δυνατό.

Η *επαναληψιμότητα* θεωρείται η δυνατότητα της μεθόδου να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Η *διακριτότητα* ονομάζεται το ελάχιστο διάστημα που μπορεί να μετρηθεί. Όταν έχουμε μεγάλη διακριτότητα τότε η μέτρηση πραγματοποιείται με μικρό βήμα.

Η *ευαισθησία* του αισθητήρα λογίζεται η μικρότερη μεταβολή στην είσοδό του όπου θα μας δώσει την μεταβολή στην έξοδο.

Η *υστέρηση* μας δίνει διαφορές στο αποτέλεσμα της εξόδου το οποίο μεταβάλλεται από την αντιστροφή της κατεύθυνσης στην είσοδο.

Ο *θόρυβος* υφίσταται στις μετρήσεις από εξωγενής παράγοντες, για παράδειγμα από πηγές εκπομπής ήχου, από κοντινές πηγές τάσης υψηλής συχνότητας και άλλα. Σε κάθε αισθητήρα, η λειτουργία τους καθορίζεται από την επιρροή της διακριτότητας και της ακρίβειας που γίνεται από τον θόρυβο.

Οι *διαστάσεις* καθορίζονται από το μέγεθος του αισθητήρα.

Η *γραμμικότητα* είναι η προσέγγιση μίας ευθείας γραμμικής παράστασης, συνάρτησης της εξόδου με την είσοδο του αισθητήρα.

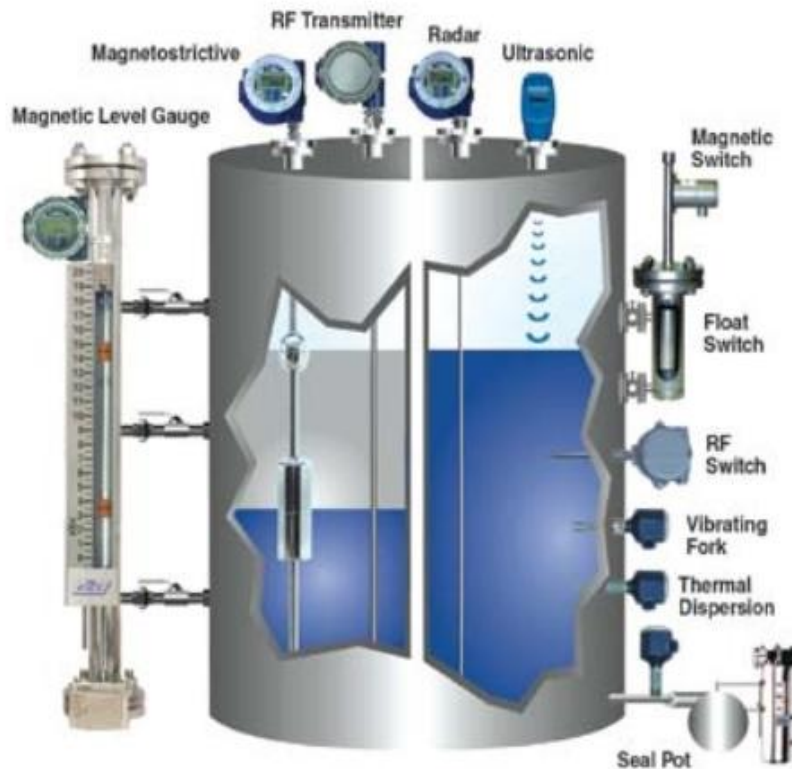
Όλα τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι δύσκολο να συνδυαστούν σε ικανοποιητικό βαθμό από τον χρήστη [36].

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέτρησης στάθμης είναι οι εξής [3][6][7]:

- Μέτρηση μέσω σωλήνα
- Πλωτός διακόπτης
- Μαγνητικοί δείκτες στάθμης
- Αισθητήρες χωρητικότητας
- Μέτρηση με μαγνητική βέργα
- Μέτρηση με υπέρηχους
- Μέτρηση με μικροκύματα
- Μέτρηση μέσω υδροστατικής συσκευής
- Μέτρηση με οπτικούς αισθητήρες

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

- Μέτρηση με ακτίνες γάμμα
- Μέτρηση στομίου εκροής
- Μέτρηση τύπου ακροφυσίου
- Μετρητές ροής με διαφορική πίεση
- Μέτρηση με ταχύτητα ροής
- Ροόμετρα θετικής μετατόπισης
- Ανοιχτού τύπου μετρητές
- Ροόμετρο μάζας



**Εικόνα 1.1** Διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων στάθμης. [6]

### 1.3 Σημασία μέτρησης στάθμης

Η μέτρηση είναι ο προσδιορισμός ενός μεγέθους ή ποσού με βάση ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου, που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα συστήματα μέτρησης. Ας δούμε αρχικά μερικούς βασικούς ορισμούς στην μέτρηση στάθμης. Στάθμη είναι η απόσταση της επιφάνειας του μετρούμενου

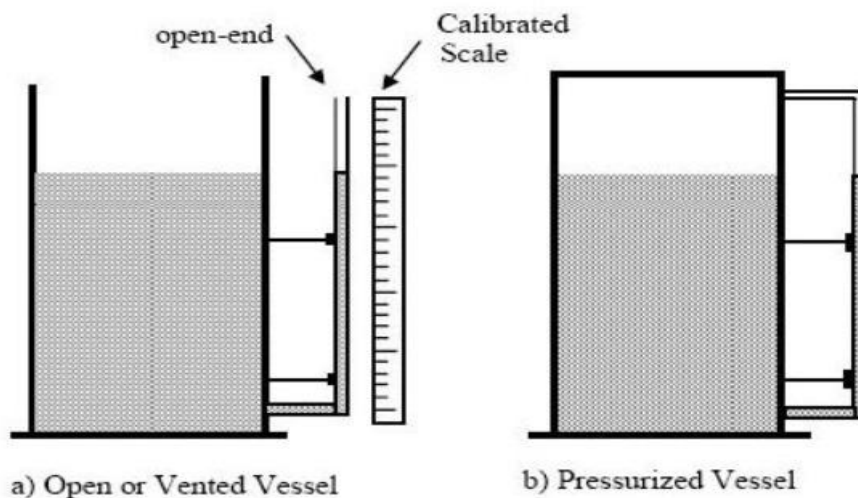
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

υλικού από ένα σημείο αναφοράς. Στο ελάχιστο (minimum) είναι η χαμηλότερη αποδεκτή στάθμη και στο μέγιστο (maximum) είναι η υψηλότερη αποδεκτή στάθμη. Η μέτρηση της στάθμης κατηγοριοποιείται σε σημειακή μέτρηση όπου γίνεται η ανίχνευση συγκεκριμένης στάθμης και στη συνεχή μέτρηση όπου γίνεται μέτρηση της ακριβούς τιμής εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής μέτρησης. Πιο αναλυτικά η σημειακή μέτρηση είναι η επίβλεψη του εάν έχει επιτευχθεί ή ξεπεραστεί ένα προκαθορισμένο όριο στάθμης ή εάν η στάθμη έχει πέσει κάτω από ένα κρίσιμο σημείο. Χρησιμοποιείται συνήθως για αποφυγή υπερχειλίσης ή εν ξηρών λειτουργία καθώς και για τήρηση κανονισμών ελαχίστου-μεγίστου ορίου στάθμης. Ενώ η συνεχής μέτρηση της τρέχουσας στάθμης υγρών ή στερεών γίνεται καθώς αυτή αυξομειώνεται. Χρησιμοποιείται συνήθως για την συνεχή επίβλεψη του υλικού διεργασίας. Το οποίο είναι σημαντικό για τη διαμόρφωση στρατηγικού ελέγχου. Ακόμα, μπορούμε να διεξάγουμε έλεγχο διεργασιών, εξαγωγή στατιστικών και πληροφοριών σχετικών με την κατανάλωση και για την αποφυγή απωλειών. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η συνεχής μέτρηση στάθμης έχει πλεονέκτημα έναντι της σημειακής.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

#### 2.1 Μέτρηση μέσω σωλήνα

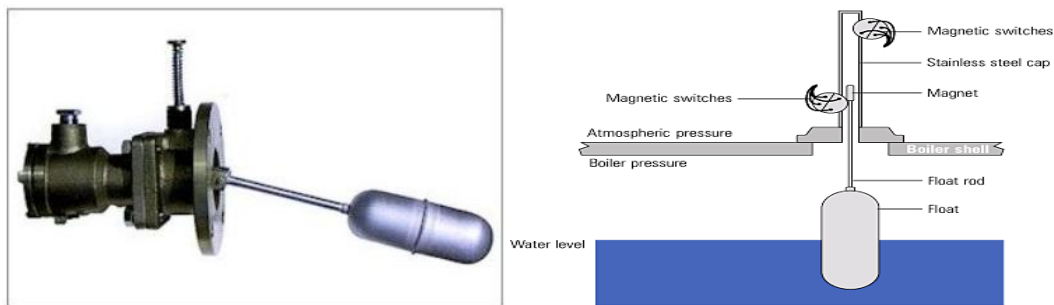
Αυτή είναι η πιο απλή μέθοδος μέτρησης στάθμης σε μια δεξαμενή (Gauge glass). Το όργανο αυτό είναι ένας μακρύς βαθμονομημένος σωλήνας από το ύψος του πυθμένα μέχρι την κορυφή της δεξαμενής. Εγκαθίσταται δίπλα από την δεξαμενή και η αρχή λειτουργίας του είναι αυτή των συγκοινωνούντων δοχείων. Αυτή η τεχνική χωρίς επαφή μετρητή διότι δεν υπάρχει αισθητήρας στην διαδικασία για το μετρούμενο υλικό. Ωστόσο, εκφράζονται ανησυχίες στην συγκεκριμένη μέθοδο γιατί υπάρχουν οι παράγοντες της αναταραχής, της θερμοκρασίας, της πίεσης, της διάβρωσης αλλά και η ιδιότητα του κολλώδους υλικού που μας δίνει εσφαλμένη μέτρηση. Σε αυτό το όργανο μπορούν να μετρηθούν μόνο υγρά υλικά. Συνηθίζεται το υλικό κατασκευής του να είναι από γυαλί, κάτι που το κάνει εύθραυστο και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής στην λειτουργία του. Επίσης, το υλικό κατασκευής του μπορεί να είναι από πλαστικό αλλά σε αυτή την περίπτωση έχει σοβαρό μειονέκτημα λόγο υψηλής θερμοκρασίας να αλλοιωθεί. Συνήθως αυτοί οι μετρητές είναι εξοπλισμένοι με αυτόματο κλείσιμο ή με την αυτόματη απενεργοποίηση. Μπορεί ακόμα, να τείνουν να σπάσουν ανά πάσα στιγμή, οδηγώντας έτσι σε τοπική πλημμύρα του χώρου. Για το λόγο αυτό, υπάρχει πάντα μια ασφάλεια που διακόπτει τη διοχέτευση, που συνήθως είναι στο κάτω άκρο του μετρητή. Αυτού του είδους τα όργανα μέτρησης βρίσκονται κυρίως σε μικρές δεξαμενές με νερό ή πετρέλαιο [3].



Εικόνα 2.1 Σωλήνας μέτρησης. [3]

### 2.2 Πλωτός διακόπτης

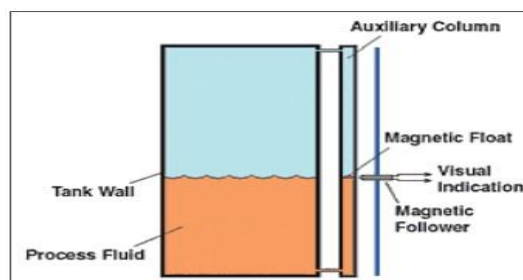
Αισθητήρες στάθμης τύπου πλωτήρα (Float switch) μπορεί να είναι διαφόρων τύπων. Οι πλωτήρες λειτουργούν με την απλή αρχή της θέσης ενός αντικειμένου που λόγω άνωσης και με ένα ειδικό βάρος μεταξύ εκείνων και του ρευστού διεργασίας μέσα στη δεξαμενή, μια μηχανική συσκευή χρησιμοποιείται για να διαβάσει τη θέση του. Μπορούν να αναφέρουν τη συνεχή διακύμανση της στάθμης του υγρού ή απλά με ένα συναγερμό υψηλής ή χαμηλής στάθμης. Πλωτήρες χρησιμοποιούνται επίσης για την πλήρωση μιας δεξαμενής, όταν το επίπεδο πέφτει και τη διακοπή πληρώσεως όταν το επίπεδο φθάνει στο βέλτιστο όριο. Οι περισσότερες δεξαμενές έχουν υψηλό και χαμηλό δείκτη επιπέδου που προβλέπεται στα τοιχώματα της δεξαμενής. Όταν το επίπεδο υγρού στη δεξαμενή φτάνει στο μέγιστο, ο πλωτήρας ανυψώνεται από την αυξανόμενη επιφάνεια του υγρού. Το αντίθετο άκρο της συσκευής του πλωτήρα έχει ένα μαγνήτη ο οποίος αντιστρέφει ένα άλλο μαγνήτη στο σταθερό μέρος του οργάνου. Η αναστροφή του μαγνήτη προκαλεί να σπάσει το κύκλωμα και να ανοίξει το σύστημα συναγερμού. Έχουν επίσης μια διάταξη για τη δοκιμή του συναγερμού και με το χέρι. Ενώ είναι μια βασική λύση στο πρόβλημα του εντοπισμού επιφάνειας ενός υγρού, η ανάγνωση θέσης ενός πλωτήρα (δηλαδή κάνοντας μια πραγματική μέτρηση επιπέδου) εξακολουθεί να είναι προβληματική. Το σύστημα χρησιμοποιεί μηχανικά εξαρτήματα, όπως καλώδια, ταινίες, τροχαλίες, και τα εργαλεία για να επικοινωνούν στο επίπεδο. Οι πομποί του πλωτήρα γίνεται με την προσομοίωση αναλογικών ή διακριτών επιπέδων, χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο αντιστάσεων και πολλαπλών διακοπών. Το οποίο σημαίνει ότι οι αλλαγές των σημάτων του πομπού γίνεται σε διακριτά σημεία. Σε αντίθεση με τις συσκευές συνεχούς μέτρησης στάθμης, δεν μπορούν να διακρίνουν την αξία του σημείου μέτρησης στο κάθε επίπεδο [3][4][6].



**Εικόνα 2.2** Πλωτός διακόπτης (Φλωτέρ). [3]

### 2.3 Μαγνητικοί δείκτες στάθμης

Οι συγκεκριμένοι μετρητές (Magnetic level gauges) έχουν κατασκευαστεί με σκοπό να αντικαταστήσουν τους απλούς μετρητές σωλήνας (Gauge glasses). Έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τους προαναφερθέντες πλωτήρες (Float switches), αλλά υπολογίζουν την επιφάνεια του υγρού μαγνητικά. Αυτού του τύπου φλοτέρ φέρει μια συστοιχία δυνατών μόνιμων μαγνητών, οι οποίοι κινούνται σε μία βοηθητική σωλήνα που είναι συνδεδεμένοι στη δεξαμενή. Καθώς ο πλωτήρας ακολουθεί την πορεία πάνω-κάτω με την στάθμη του υγρού, το μαγνητισμένο στοιχείο κινείται με αυτό, που δείχνει τη θέση του πλωτήρα και παρέχοντας έτσι την ένδειξη στο επίπεδο. Για τη μετατροπή της μέτρησης των επιπέδων της στάθμης σε ηλεκτρικό σήμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαδοχικοί μαγνητικοί διακόπτες στην ίδια θέση που βρίσκονται οι μαγνητικές ενδεικτικές μεταλλικές πλάκες. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε φορά που ο πλωτήρας με το μαγνητικό στοιχείο μεταβάλλει τη θέση του ανάλογα με το επίπεδο της στάθμης, ο αντίστοιχος μαγνητικός διακόπτης θα κλείνει κύκλωμα. Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο αν ο σωλήνας και η δεξαμενή είναι κατασκευασμένα από μη μαγνητικά υλικά. Πολλοί κατασκευαστές παρέχουν βελτιωμένα σχέδια πλωτήρα για το ειδικό βάρος του υγρού που μετράται, αν είναι βουτάνιο, προπάνιο, πετρέλαιο, οξύ, νερό, καθώς και μια μεγάλη ποικιλία υλικών κατασκευής πλωτήρα. Αυτό σημαίνει ότι οι μετρητές μπορούν να αντέξουν σε ακραίες συνθήκες όπως τις υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή πίεση, και τα διαβρωτικά υγρά. Σωλήνες, φλάντζες, και οι συνδέσεις μπορούν να γίνουν από βιομηχανικά πλαστικά όπως Kynar ή εξωτικά κράματα όπως Hastelloy C-276. Ειδικές διαμορφώσεις του θαλάμου μπορούν να χειριστούν τις ακραίες συνθήκες όπως για υγρό άζωτο και ψυκτικών. Πολυάριθμα μέταλλα και κράματα όπως τιτάνιο, Incoloy και Monel είναι διαθέσιμα για διάφορους συνδυασμούς υψηλής θερμοκρασίας, υψηλής πίεσης και χαμηλής ειδικής βαρύτητας εφαρμογές [6].



**Εικόνα 2.3** Μαγνητικός δείκτης στάθμης. [6]

### 2.4 Αισθητήρες χωρητικότητας

Η αρχή λειτουργίας στηρίζεται στη μέτρηση της χωρητικότητας ενός πυκνωτή.

$$C=K \cdot A/D$$

όπου:

$C$ =χωρητικότητα πυκνωτή Farad

$K$ =διηλεκτρική σταθερά του μέσου μεταξύ των πλακών

$A$ =η επιφάνεια κάθε πλάκας  $m^2$

$D$ =η απόσταση μεταξύ των πλακών  $m$

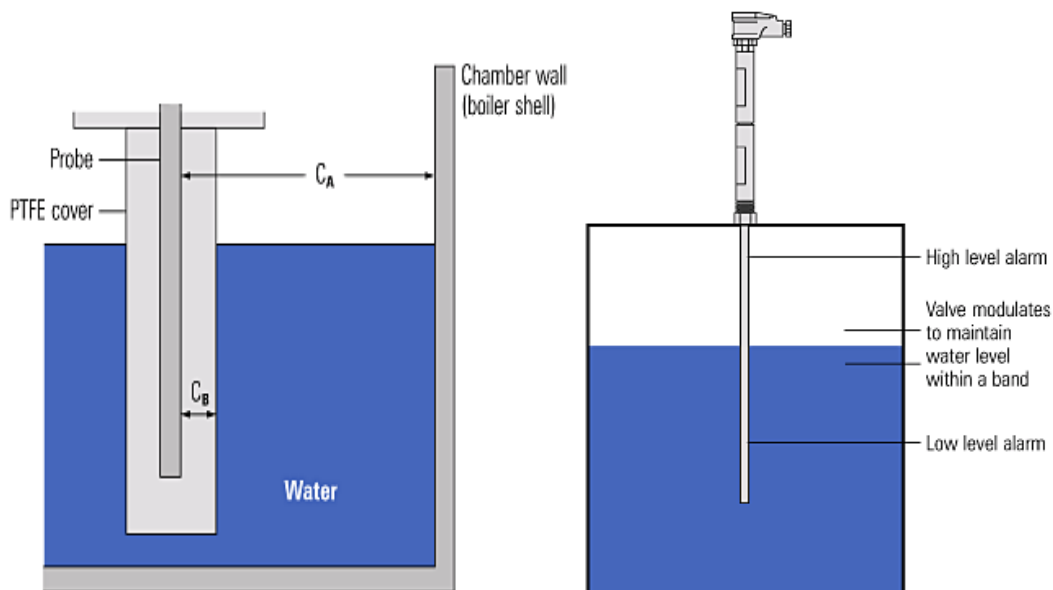
Αν βυθίσουμε τον πυκνωτή σε ένα διηλεκτρικό υγρό, η χωρητικότητα αυξάνεται όσο βυθίζονται οι πλάκες.

Η κατάσταση είναι κάπως διαφορετική στην περίπτωση που οι πλάκες βυθίζονται σε αγωγικό υγρό, όπως το νερό του λέβητα, καθώς το υγρό δεν δρα ως διηλεκτρικό. Η χωρητικότητα του συστήματος έχει δύο συνιστώσες.  $C=C_A+C_B$

$C_A$ , η χωρητικότητα πάνω από την επιφάνεια του υγρού. Η χωρητικότητα αναπτύσσεται μεταξύ του τοιχώματος του λέβητα και του αισθητηρίου.

$C_B$ , η χωρητικότητα κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Η χωρητικότητα αναπτύσσεται ανάμεσα στο αισθητήριο και το κάλυμμα.

Η χωρητικότητα  $C_B$  είναι πολύ μεγαλύτερη από τη  $C_A$ . Κάθε άνοδος της στάθμης του νερού θα προκαλέσει αύξηση της χωρητικότητας που μπορεί να μετρηθεί με κατάλληλη διάταξη.



Εικόνα 2.4 Χωρητικός αισθητήρας. [6]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

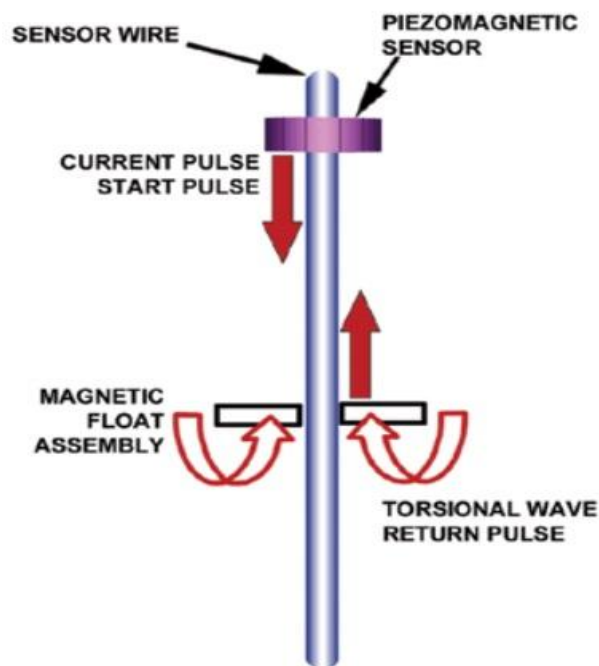
Έλαια έχουν διηλεκτρικές σταθερές από 1,8 έως 5, τα υδατικά διαλύματα είναι μεταξύ 50 και 80. Αυτή η τεχνολογία απαιτεί αλλαγή στην χωρητικότητα που ποικίλλει ανάλογα με την στάθμη του υγρού. Δημιουργείτε από μία μονωμένη ράβδο που συνδέεται με τον πομπό και το ρευστό διεργασίας, ή με μία μη μονωμένη ράβδο που συνδέεται με τον πομπό και το τοίχωμα του αγγείου ή με ένα καθετήρα αναφοράς. Καθώς η στάθμη του υγρού αυξάνεται και γεμίζει περισσότερο το χώρο μεταξύ των πλακών, η συνολική χωρητικότητα αυξάνεται αναλογικά. Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα μετρά τη συνολική χωρητικότητα και παρέχει μια συνεχή καταμέτρηση επιπέδου. Ίσως η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ των προηγούμενων τεχνολογιών συνεχούς μέτρησης στάθμης υγρού και αυτού είναι η χρήση του χρόνου-πτήσης (TOF / time-of-flight) μετρήσεων για τη μεταγωγή της στάθμης του υγρού σε ένα συμβατικό σήμα εξόδου. Αυτές οι νέες συσκευές λειτουργούν τυπικά με μέτρηση της απόστασης μεταξύ της στάθμης του υγρού και ενός σημείου αναφοράς με ένα αισθητήρα ή πομπό κοντά στην κορυφή του δοχείου. Τα συστήματα συνήθως παράγουν ένα κύμα παλμού στο σημείο αναφοράς, το οποίο ταξιδεύει μέσω είτε του κενού χώρου ή έναν αγωγό, ανακλάται από την επιφάνεια του υγρού, και επιστρέφει προς παραλαβή στο σημείο αναφοράς. Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα χρονισμού μετρά το συνολικό χρόνο ταξιδιού. Διαιρώντας το χρόνο ταξιδιού με την διπλάσια ταχύτητα του κύματος μας δίνει την απόσταση από την επιφάνεια του υγρού [6].

### 2.5 Μέτρηση με μαγνητοσυστολική βέργα

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός μαγνήτη που περιέχει ένα φλοτέρ για τον προσδιορισμό της στάθμης υγρού έχει ήδη προαναφερθεί, και η μαγνητοσυστολική είναι μια δοκιμασμένη τεχνολογία για την πολύ ακριβή ανάγνωση τοποθεσίας του πλωτήρα. Αντί των μηχανικών συνδέσμων, μαγνητοσυστολικοί πομποί χρησιμοποιούν την ταχύτητα του στρεπτικού κύματος κατά μήκος ενός καλωδίου για να βρει το φλοτέρ και να αναφέρει τη θέση του. Σε ένα μαγνητοσυστολικό σύστημα, ο πλωτήρας φέρει μία σειρά από μόνιμους μαγνήτες. Ένα καλώδιο είναι συνδεδεμένο με ένα πιεζοκεραμικό αισθητήρα στον πομπό και ένα εξάρτημα μέτρησης έντασης συνδέεται στο αντίθετο άκρο του σωλήνα του αισθητήρα. Ο σωλήνας είτε περνά μέσα από μια τρύπα στο κέντρο του πλωτήρα ή είναι εξωτερικός

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

με ένα μη μαγνητικό θάλαμο. Για να εντοπίσει τον πλωτήρα, ο πομπός στέλνει ένα σύντομο παλμό ρεύματος κάτω από το καλώδιο του αισθητήρα, για τη δημιουργία ενός μαγνητικού πεδίου σε όλο το μήκος της. Ταυτόχρονα, ένα κύκλωμα χρονισμού πυροδοτείται την έναρξη. Το πεδίο αλληλεπιδρά άμεσα με το πεδίο που παράγεται από τους μαγνήτες στον πλωτήρα. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι κατά τη διάρκεια της σύντομηςφοράς του ρεύματος που ρέει, μία στρεπτική δύναμη παράγεται στο σύρμα, σαν ένα υπερηχητικό κύμα ή δόνηση. Αυτή η δύναμη ταξιδεύει πίσω στον πιεζοκεραμικό αισθητήρα σε μια χαρακτηριστική ταχύτητα. Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει τη στρεπτική κύμα, παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα που ειδοποιεί το κύκλωμα χρονισμού ότι το κύμα έχει φθάσει και σταματά το κύκλωμα χρονισμού. Το κύκλωμα χρονισμού μετρά το χρονικό διάστημα (TOF) μεταξύ της έναρξης του παλμού ρεύματος και της άφιξης του κύματος. Από αυτήν την πληροφορία, η τοποθεσία του πλωτήρα είναι με μεγάλη ακρίβεια, προσδιορίζεται και παρουσιάζεται ως ένα σήμα επιπέδου από τον πομπό. Βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι η ταχύτητα του σήματος είναι γνωστή και σταθερή με μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η πίεση και το σήμα δεν επηρεάζεται από αφρό, απόκλιση δέσμης, ή από θόρυβο. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι το μόνο κινούμενο μέρος είναι ο πλωτήρας που μετακινείται πάνω-κάτω με την επιφάνεια του υγρού [3][6].



**Εικόνα 2.5.** Μαγνητοσυστολική βέργα. [6]

### 2.6 Μέτρηση με υπέρηχους

Για τη μέτρηση της στάθμης με ηχητικά κύματα καταφεύγουμε στη χρήση των υπερήχων. Με τον όρο υπέρηχος (ultrasound) ορίζουμε το ακουστικό κύμα με συχνότητα μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος, δηλαδή πέρα των 20.000 Hz. Η ένταση της ανακλώμενης ενέργειας εξαρτάται από το είδος του υλικού ή της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει ο αρχικός παλμός. Όταν το υλικό είναι πορώδες, τότε το μέσο διάδοσης (ο αέρας), κατά την εκτέλεση των ταλαντώσεων λόγω τριβών με την ύλη χάνει ενέργεια, ενώ η διέγερση των μορίων του υλικού απορροφά μέρος της αρχικής ενέργειας του παλμικού σήματος. Ο συντελεστής απορρόφησης κάθε υλικού ορίζεται από τη μονάδα Sabine (as). Ο συντελεστής απορρόφησης εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης του παλμού επάνω στο αντικείμενο. Αυτό πρέπει να εξετάζεται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις χρήσης αισθητήριων διατάξεων με υπέρηχους που βρίσκουν εφαρμογή για τη μέτρηση της στάθμης σε δεξαμενή σε σχέση με το υλικό το οποίο αυτή περιέχει, ώστε η ανακλώμενη ενέργεια να είναι πάντοτε μέσα στο πεδίο τιμών ανίχνευσης της διάταξης υπερήχων. Ο πομπός δονείται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα που παράγει ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος και τον δέκτη της μονάδας, ο οποίος συντονίζεται στη συγκεκριμένη συχνότητα. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο στηρίζεται στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια από ειδικούς κρυστάλλους. Η πιεζοηλεκτρική ιδιότητα ορισμένων υλικών οφείλεται στην μετατόπιση φορτίων που προκαλείται στη δομή τους με την εφαρμογή μηχανικής πίεσης. Είναι γνωστό από τον τομέα της φυσικής ότι όταν μια σημειακή υπέρηχη πηγή εκπέμπει έναν παλμό, τότε όταν ο παλμός προσπέσει επάνω σε μία επιφάνεια ανακλάται προς την πηγή του. Ο χρόνος επιστροφής του παλμού από την επιφάνεια του αντικειμένου μέχρι την πηγή εξαρτάται από το μέσο διάδοσης του παλμού, (αέρας ή ρευστό) και είναι ανάλογη του χρόνου πτήσης του κύματος (time of flight).

Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται ως:  $t = 2 \cdot d / v$  όπου,

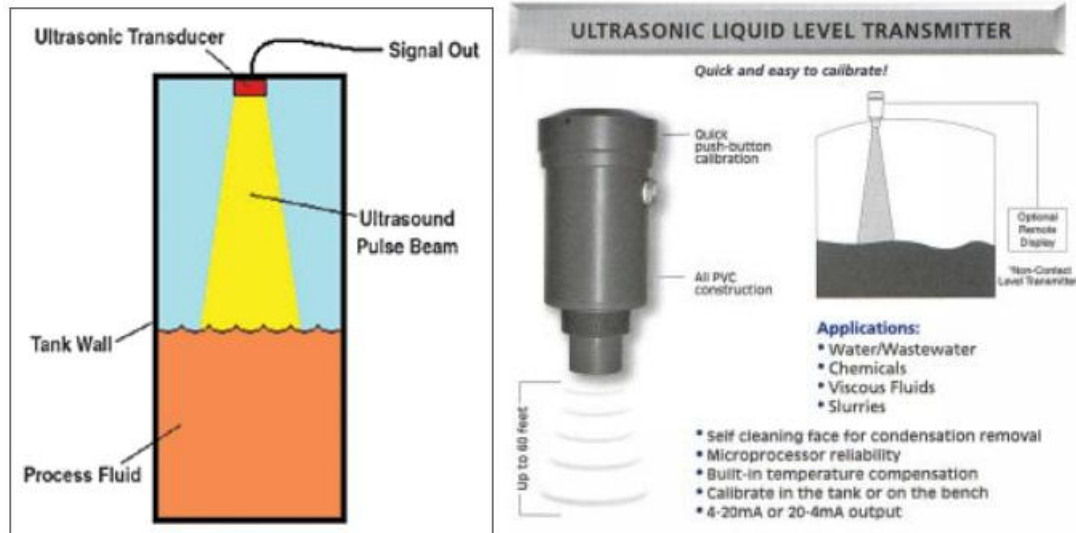
$d$ : η απόσταση του αισθητήρα και της διαχωριστικής επιφάνειας,

$v$ : η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα (340ms<sup>-1</sup>).

Συνεπώς, για τη μέτρηση της στάθμης μέσω μέτρησης της απόστασης αρκεί η μέτρηση του χρόνου πτήσης του κύματος. Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο στο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

αποτέλεσμα της μέτρησης είναι ότι δεν επηρεάζεται από την πυκνότητα, τη θερμοκρασία, την αγωγιμότητα και την υγρασία [3][4][6][30].



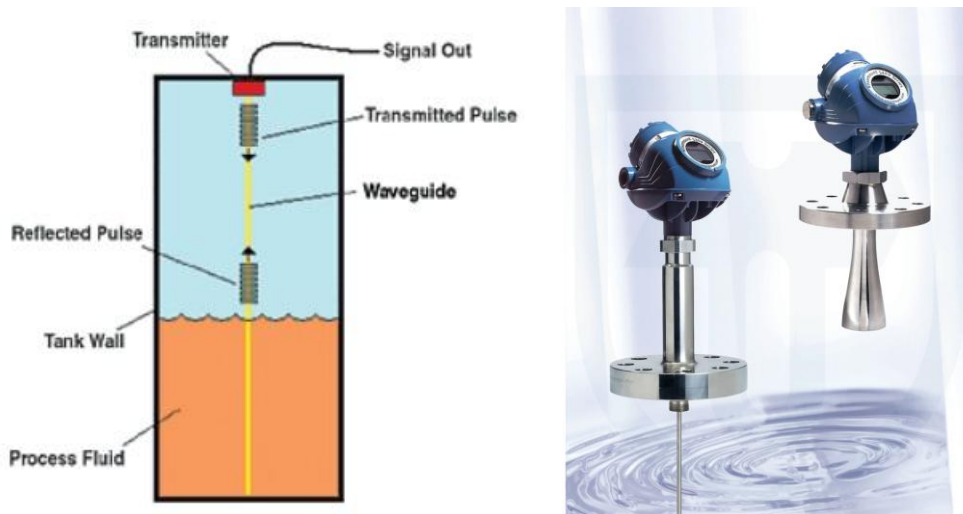
Εικόνα 2.6 Υπερηχητικός μετρητής. [3][6]

### 2.7 Μέτρηση με μικροκύματα

Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες πάνω από 2 GHz και μήκη κύματος μικρότερα από 15 cm. Η αρχή λειτουργίας αισθητήρων με μικροκύματα που λειτουργούν ως μετρητές στάθμης είναι η ίδια με αυτή που παρουσιάστηκε στους αισθητήρες με τους υπερήχους, δηλαδή μετράται ο χρόνος πτήσης του κύματος από τον αισθητήρα έως την διαχωριστική επιφάνεια. Η μέτρηση του χρόνου πτήσης υπολογίζεται από το χρόνο ανίχνευσης της ανακλώμενης ισχύος των μικροκυμάτων στη διαχωριστική επιφάνεια του ρευστού στο ύψος της στάθμης της δεξαμενής. Ωστόσο, αν η διηλεκτρική σταθερά του ρευστού είναι χαμηλή τότε μπορεί να παρουσιάσει πρόβλημα στην μέτρηση. Ο λόγος είναι ότι η ποσότητα της ανακλώμενης ενέργειας σε μικροκομματικές (ραντάρ) συχνότητες εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά του ρευστού, και εάν το  $\epsilon_r$  είναι χαμηλό, τότε περισσότερη μικροκυματική ενέργεια εισέρχεται ή διέρχεται. Το νερό ( $\epsilon_r = 80$ ) δημιουργεί μία τέλεια ανάκλαση. Το μεγαλύτερο ελάττωμα στο σύστημα αυτό, είναι ότι στο χώρο του αέρα μέσα στη δεξαμενή υφίστανται απόκλιση της δέσμης και οι πολλαπλές ανακλάσεις προκαλούν λανθασμένες ενδείξεις. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, αναπτύχθηκαν πολύπλοκοι αλγόριθμοι με τη χρήση ασαφούς λογικής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

Επιπλέον, αυτά τα συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν είτε κάθετα, είτε σε ορισμένες περιπτώσεις οριζόντια με τον οδηγό να κάμπτεται μέχρι  $90^\circ$  υπό γωνία, και να παρέχει ένα σαφές σήμα μέτρησης. Επίσης, παρουσιάζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα γιατί σε μεγάλο βαθμό είναι ανεπηρέαστο από ατμούς του αερίου που βρίσκεται στο χώρο, τη θερμοκρασία και την πίεση. Λειτουργεί στο κενό χωρίς να χρειάζεται εκ νέου βαθμονόμηση. Στέλνοντας το σήμα μέσω ενός κυματοδηγού, αποφεύγονται τα προβλήματα ενδείξεων και θορύβου από τους τοίχους και τις δομές της δεξαμενής [3][4][6].

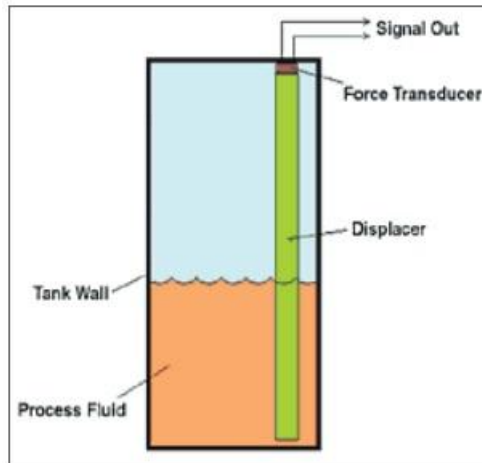


**Εικόνα 2.7** Μετρητής ραντάρ (Guided wave radar). [6][37]

### 2.8 Μέτρηση μέσω υδροστατικής συσκευής

Οι υδροστατικές συσκευές διακρίνονται σε τρία είδη. Στον σωλήνα μετατόπισης ή στον διακόπτη μετατόπισης, στο φυσαλιδογόνο σύστημα και στο σύστημα διαφορικής πίεσης.

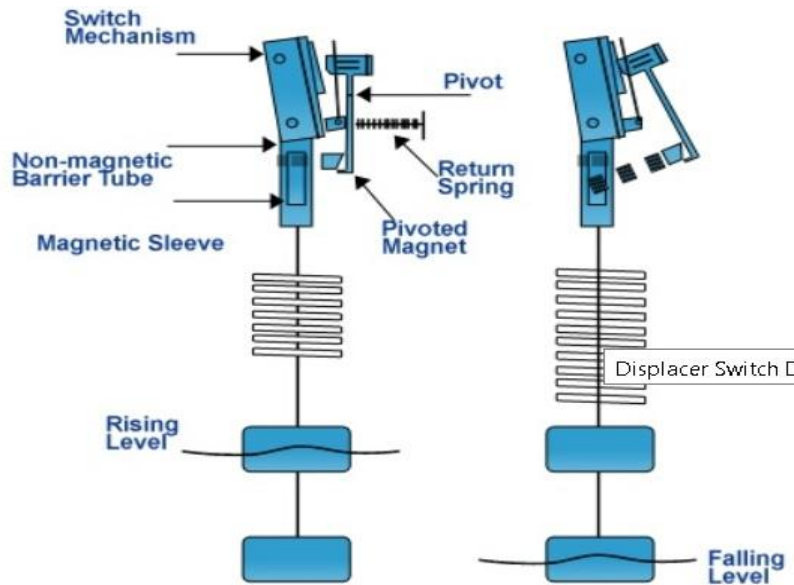
Οι σωλήνες μετατόπισης (*Displacers*), λειτουργούν με βάση τον νόμο του Αρχιμήδη. Δηλαδή σύμφωνα με αυτόν όταν αλλάζει η στάθμη ενός υγρού σε μια δεξαμενή, μικραίνει η πυκνότητά του και κινείται αντίστοιχα. Η πυκνότητα του αντικειμένου μετατόπισης είναι πάντα μεγαλύτερη από του υγρού διεργασίας και πρέπει να ισχύει από το χαμηλότερο επίπεδο που απαιτείται μέχρι τουλάχιστον το υψηλότερο επίπεδο μέτρησης. Καθώς η στάθμη του υγρού αυξάνεται, στον σωλήνα η δύναμη της άνωσης είναι ίση με τον εκτοπισμένο όγκο πολλαπλασιασμένο με την πυκνότητα του υγρού που ωθείται προς τα πάνω. Ο μετατροπέας, ο οποίος συνδέεται με τον πομπό, παρακολουθεί αυτή την αλλαγή της δύναμης του επιπέδου στάθμης [6].



**Εικόνα 2.8.1** Σωλήνας μετατόπισης.[6]

Ο διακόπτης μετατόπισης (*displacer switch*) έχει κοινά χαρακτηριστικά με αυτόν του φλοτέρ και η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοιος με αυτόν του σωλήνα μετατόπισης. Σε ένα τυπικό διακόπτη μετατόπισης, περιλαμβάνει ένα ελατήριο συνδεδεμένο με βάρη για την προσέγγιση της μετατόπισης. Αυτά τα βάρη είναι πυκνότερα σε σχέση με το υγρό διεργασίας με αποτέλεσμα να υπάρχει η δύναμη της άνωσης που προκαλεί μεταβολή στο ελατήριο. Ένα μαγνητικό περίβλημα και ένας σωλήνας μη μαγνητικός, περιλαμβάνονται στο συγκεκριμένο σύστημα. Το μαγνητικό περίβλημα συνδέεται με το ελατήριο και κινείται σύμφωνα με την κίνηση ελατηρίου με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του μηχανισμού διακοπής. Η πιο συχνή εφαρμογή του είναι σε πετρέλαιο και σε πετροχημικές ουσίες. Αυτοί οι διακόπτες είναι εξαιρετικά ακριβής στη μέτρηση σε εφαρμογές με υγρά, με σταθερή πυκνότητα. Ακόμα, δεν ενδείκνυνται σε εφαρμογές με κολλώδες υγρά, όπως λασπόνερα διότι το επίστρωμά τους προκαλεί μεταβολή του όγκου με συνέπεια να δημιουργείται μεταβολή λόγω άνωσης. Το μεγαλύτερο ελάττωμά του, είναι ότι σε μεταβολές της θερμοκρασίας τα υγρά έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν την πυκνότητά τους που επηρεάζει σημαντικά την όλη διαδικασία. Έτσι, η απόδοσή του επηρεάζεται σημαντικά από την αποσταθεροποιημένη πυκνότητα του υγρού [34].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

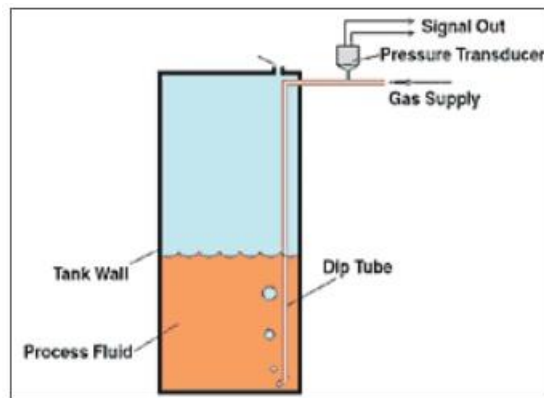


**Εικόνα 2.8.2** Διακόπτης μετατόπισης. [34]

Το φυσαλιδογόνο σύστημα (*Bubbler system*) είναι μία τεχνολογία, που χρησιμοποιείται σε δεξαμενές, που λειτουργούν υπό ατμοσφαιρική πίεση. Ένας σωλήνας εμβάπτισεως έχει ανοικτό άκρο κοντά στον πυθμένα του δοχείου που φέρει ένα αέριο καθαρισμού (τυπικά αέρας ή αδρανές αέριο, όπως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξηρό άζωτο όταν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του ή όταν υπάρχει οξειδωτική αντίδραση με το ρευστό διεργασίας) μέσα στη δεξαμενή. Καθώς το αέριο ρέει προς τα κάτω προς την έξοδο του σωλήνα εμβάπτισεως, η πίεση στον σωλήνα ανεβαίνει μέχρι να υπερνικήσει την υδροστατική πίεση που παράγεται από τη στάθμη του υγρού στην έξοδο. Η εν λόγω πίεση ισούται με την πυκνότητα του ρευστού διεργασίας πολλαπλασιάζονται με το μήκος του σωλήνα εμβάπτισης και παρακολουθείται από έναν μετατροπέα πίεσης συνδεδεμένο με το σωλήνα. Στα πλεονεκτήματά του είναι η απλότητα του σχεδιασμού του και το χαμηλό αρχικό κόστος αγοράς είναι, αλλά αυτό είναι κάπως παραπλανητικό. Το σύστημα αποτελείται από ένα σωλήνα, μία παροχή αέρα, έναν πομπό πίεσης και ένα ρυθμιστή διαφορικής πίεσης. Ενώ η βαθμονόμηση επηρεάζεται άμεσα από τις αλλαγές στην πυκνότητα του υγρού, είναι συχνά απαραίτητο να καθαρίζετε τακτικά τη συσκευή. Η άκρη του σωλήνα μπορεί να συλλέξει υλικό από τη διαδικασία, στερεοποιείται, και δημιουργείται πρόβλημα στη μέτρηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσω των γραμμών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

του αέρα θα πρέπει να εντοπίζεται αν θερμαίνεται ή αν υπάρχει κίνδυνος παγετού. Η βαθμονόμηση του συστήματος φυσαλίδων θα πρέπει να είναι σε μέγιστη θερμοκρασία για την αποφυγή υπερπλήρωσης. Η ακρίβεια εξαρτάται από μια σταθερή παροχή αέρα και περιορίζεται από τη ρυθμιστική αρχή, η οποία μπορεί να είναι + 10% της πλήρους κλίμακας. Σε εφαρμογές όπου ο αέρας καθαρισμού εκτίθεται σε μια επικίνδυνη ουσία, πρέπει να ληφθούν πρόσθετα μέτρα για τη συγκράτηση κάθε πιθανής μόλυνσης [6].



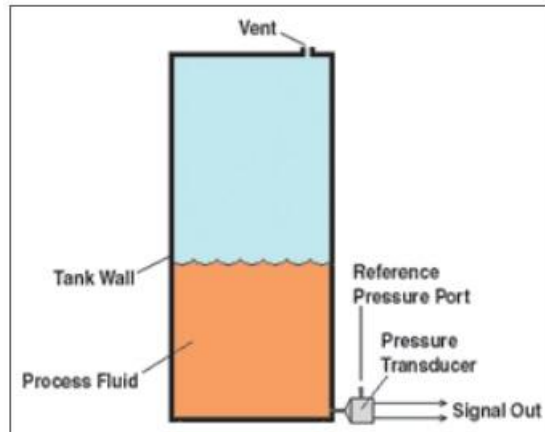
**Εικόνα 2.8.3** Φυσαλιδογόνο σύστημα. [6]

Στο σύστημα διαφορικής πίεσης (*differential-pressure*) η βασική μέτρηση είναι η διαφορά μεταξύ συνολικής πίεσης στον πυθμένα της δεξαμενής (υδροστατική πίεση κεφαλής του υγρού συν στατική πίεση στο δοχείο) και η στατική ή κεφαλή πίεσης στη δεξαμενή. Όπως και με την φυσαλίδων, η υδροστατική πίεση ισούται με τη διαφορά της πυκνότητας του ρευστού όπου πολλαπλασιάζεται με το ύψος του υγρού μέσα στο δοχείο. Η μονάδα χρησιμοποιεί ατμοσφαιρική πίεση ως αναφορά. Μια οπή εξαερισμού στο πάνω μέρος διατηρεί την πίεση του υπερκείμενου χώρου ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Σε περιπτώσεις, όπου η πυκνότητα του ρευστού δεν είναι σταθερή, ένας πρόσθετος πομπός πίεσης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της πυκνότητας. Αυτός στη συνέχεια θα αντισταθμίσει τις αλλαγές που εισήχθησαν στη διαδικασία. Οι πομποί της διαφορικής πίεσης γενικώς είναι πιο αποδοτικοί σε σύγκριση με άλλους αισθητήρες στάθμης. Ωστόσο, συχνά απαιτούν σημαντικό επιπλέον υλικό, όπως βάσεις και πολλαπλές βαλβίδες για την επιτυχημένη και σταθερή εγκατάσταση. Στην πραγματικότητα, η τεχνολογία μέτρησης του επιπέδου διαφορικής πίεσης δεν μετρά το επίπεδο του υγρού, αλλά συνάγει ακριβώς το επίπεδο του υγρού διαδικασίας. Πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα σε σχέση με άλλους αισθητήρες μέτρησης στάθμης. Ενώ βασικότατο μειονέκτημα είναι ότι για να έχουμε ακριβή μέτρηση πρέπει το υγρό να έχει σταθερή πυκνότητα, κάτι που σε μεταβολές λόγω θερμότητας είναι αβέβαιο. Ο πομπός διαφορικής πίεσης λειτουργεί καλά μόνο με ‘καθαρά’ υγρά. Τέλος, αποφεύγεται η χρήση τους με υγρά τα οποία μπορούν να στερεοποιηθούν [6].



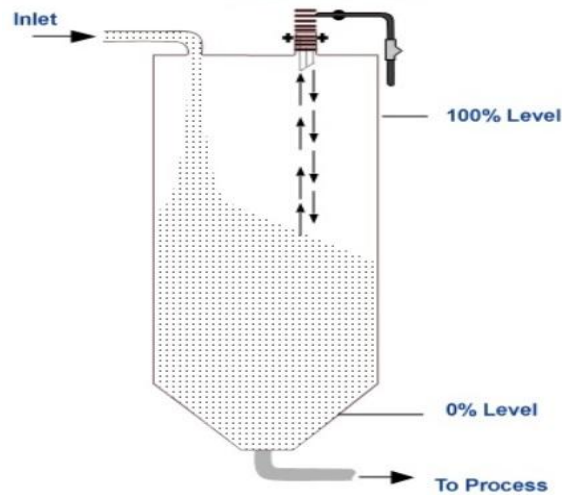
**Εικόνα 2.8.4** Σύστημα διαφορικής πίεσης. [6]

### 2.9 Μέτρηση με οπτικούς αισθητήρες

Οι οπτικοί αισθητήρες αξιοποιούνται με διάφορους τρόπους και διατάξεις για την μέτρηση στάθμης. Γενικότερα οι οπτικοί αισθητήρες κατηγοριοποιούνται σε αυτών του πρίσματος, της διάθλασης και της δέσμης λέιζερ. Οι αισθητήρες λέιζερ είναι σχεδιασμένοι για χύδην στερεά, πολτών, και αδιαφανή υγρά όπως το γάλα, τα λέιζερ λειτουργούν με μια αρχή πολύ παρόμοια με εκείνη των αισθητήρων υπερήχων. Αντί να χρησιμοποιούν την ταχύτητα του ήχου για να βρουν το επίπεδο, χρησιμοποιούν την ταχύτητα του φωτός. Ένας πομπός λέιζερ στην κορυφή μιας δεξαμενής στέλνει ένα σύντομο παλμό δέσμης προς τα κάτω στην επιφάνεια του υγρού η οποία αντανακλά πίσω στον ανιχνευτή. Με ένα κύκλωμα χρονισμού ο χρόνος που παρήλθε (TOF) υπολογίζει την απόσταση. Το κλειδί είναι ότι τα λέιζερ δεν έχουν σχεδόν καμία διαφορά ακτίνας ( $0,2^\circ$  απόκλιση δέσμης) και δεν έχουν θόρυβο, και μπορεί να κατευθύνεται εύκολα στους χώρους δεξαμενής. Τα λέιζερ είναι ακριβής, ακόμη και σε ατμό και αφρό. Είναι ιδανικό για χρήση σε δεξαμενές με πολυάριθμα εμπόδια και μπορούν να μετρήσουν τις αποστάσεις μέχρι 1500 πόδια. Για υψηλές θερμοκρασίες ή υψηλής πίεσης εφαρμογές, όπως σε δοχεία αντιδραστήρα, τα λέιζερ πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με εξειδικευμένο γυάλινο υλικό για να

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

απομονώσει τον πομπό από η διαδικασία. Μέσα από αυτό πρέπει να περάσει τη δέσμη λέιζερ με ελάχιστη διάχυση και εξασθένηση. Ακόμα οι αισθητήρες λέιζερ είναι γρήγοροι και έχουν ακριβή απόκριση από ό, τι άλλες τεχνικές. Εκτός αυτού, είναι απλούστεροι στη χρήση. Σε αντίθεση με τα ραντάρ και την τεχνολογία υπερήχων, η απόδοση των λέιζερ παραμένει ανεπηρέαστη από την διηλεκτρική σταθερά του υλικού διεργασίας ή από την ταχύτητα διάδοσης στον χώρο ατμού αντίστοιχα. Λίγα μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση των λέιζερ είναι ότι αποδειχθεί πολύ δαπανηρά. Η δύναμη της ακτίνας λέιζερ που μεταφέρεται μεταξύ του πομπού λέιζερ και στο υλικό διεργασίας μπορεί μερικές φορές να πάρει υποβαθμισμένη τιμή εξαιτίας των λειτουργιών του συστήματος ανίχνευσης επιπέδου. Αυτή η υποβάθμιση μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε από τα τρία στάδια: στον αισθητήρα-ανιχνευτή, στην διαμεσολάβηση μεταξύ του αισθητήρα και του υλικού διεργασίας, είτε στην επιφάνεια του υλικού διεργασίας. Παρουσία βρωμιάς, σκόνης ή οποιοδήποτε άλλο τύπο επίστρωσης επί ενός πομπού λέιζερ μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την απόδοση των εν λόγω συσκευών, δεδομένου ότι αποδυναμώνει την ισχύ του σήματος λέιζερ. Ως εκ τούτου, συντήρηση ρουτίνας πρέπει να πραγματοποιείται με προσοχή για την αποφυγή συσσώρευσης και επιστρώσεις πάροδο του χρόνου για την εύρυθμη λειτουργία των συσκευών μέτρησης στάθμης λέιζερ. Για ορισμένες εφαρμογές, οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να περικλείονται μέσα σε ένα σωλήνα ή να καθαρίζονται με αέριο για να τους κρατήσει σε πλήρη λειτουργική κατάσταση. Εκτός αυτού, η ακρίβειά τους μπορεί επίσης να επηρεαστεί ανάλογα με την επιφάνεια του υλικού η οποία αντανακλά πίσω τη δέσμη λέιζερ στον αισθητήρα. Για παράδειγμα, η ακτίνα λέιζερ θα μετρήσει πιθανόν την κορυφή ενός στρώματος αφρού αντανακλώντας από την κορυφή του αφρού. Αν ο αφρός είναι διαφανές, η ακτίνα μπορεί να αντανακλά από τον αφρό υγρού και τη μέτρηση της στάθμης του υγρού. Ημιδιαφανές αφρός θα μπορούσε να προκαλέσει εσφαλμένη μέτρηση στάθμης από την κορυφή του αφρού [6][35].



Εικόνα 2.9 Οπτικός αισθητήρας λέιζερ. [35]

### 2.10 Μέτρηση με ακτίνες γάμμα

Το 1898, η Marie Curie ανακάλυψε το Ράδιο με την παρατήρηση ότι ορισμένα στοιχεία εκπέμπουν με φυσικό τρόπο την ενέργειά τους. Ονόμασε αυτές τις ακτίνες γάμμα. Οι ακτίνες γάμμα έχουν μυστηριώδεις ιδιότητες που θα μπορούν να περάσουν μέσα από ένα φαινομενικά στερεό, αδιαπέραστο λόγω μάζας υλικό. Στο πέρασμα, όμως, οι ακτίνες γάμμα έχουν χάσει ένα μέρος της έντασης τους. Οι ακτίνες επηρεάζονται από το ειδικό βάρος και το συνολικό πάχος του αντικειμένου, καθώς και από την απόσταση μεταξύ της πηγής των ακτίνων γάμμα και τον ανιχνευτή. Για παράδειγμα, αν η ακτινοβολία από καίσιο 137 περνά ένα αντικείμενο τριών επιπέδων χάλυβα, το 92% της ενέργειας της ακτινοβολίας θα απορροφηθεί και μόνο το 8% θα μεταδοθεί. Ως εκ τούτου, εάν ο παρατηρητής μπορεί να κρατήσει όλες τις μεταβλητές εκτός του πάχους σταθερό, το ποσό της μεταφοράς ακτίνας γάμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του πάχους του αντικειμένου. Υποθέτοντας ότι η απόσταση μεταξύ της πηγής και του ανιχνευτή δεν αλλάζει, μπορεί κανείς να κάνει ακριβείς μετρήσεις του πάχους και εάν το επίπεδο του πάχους είναι σταθερό, τότε και την πυκνότητα ενός υλικού διεργασίας. Όλα άρχισαν όταν η τεχνολογία αυτή μεταφέρθηκε από το εργαστήριο στο βιομηχανικό περιβάλλον. Έτσι κατέστη αναγκαία την σχεδίαση και την κατασκευή των κατάλληλων ανιχνευτών για τη μαζική παραγωγή ραδιοϊσοτόπων. Και τα δύο εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 1950. Η διεισδυτική δύναμη της πυρηνικής ακτινοβολίας αναγνωρίζεται από φωτόνιο ενέργειας, που εκφράζεται σε

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

ηλεκτρονιοβόλτ (eV) και σχετίζεται με το μήκος κύματος. Το πιο κοινό ισότοπο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση επίπεδο είναι το Καίσιο 137, το οποίο έχει ένα φωτόνιο ενέργειας 0,56 MeV. Ένα άλλο ισότοπο που χρησιμοποιείται περιστασιακά είναι το Κοβάλτιο 60, το οποίο έχει ένα επίπεδο ενέργειας από 1,33 MeV. Ενώ η μεγαλύτερη δύναμη διείσδυσης αυτού του υψηλότερου ενέργειας ακτινοβολίας φαίνεται ελκυστικό σε πρώτη φάση, το μειονέκτημά του είναι ότι έχει επίσης μικρότερο χρόνο ύπαρξης. Ο χρόνος ύπαρξης του Κοβαλτίου 60 είναι 5,3 έτη. Αυτό σημαίνει ότι, σε 5,3 χρόνια η δραστηριότητα ενός 100 millicurie (mCi) πηγής Κοβαλτίου 60 θα μειωθεί στο 50 mCi. (Μία mCi ορίζεται ως το ποσοστό της δραστηριότητας ενός χιλιοστόγραμμα Ραδίου 226.) Όταν χρησιμοποιούνται για μέτρηση στάθμης, η συνεχής απώλεια δύναμης της πηγής απαιτεί όχι μόνο συνεχή αντιστάθμιση αλλά τελικά (στην περίπτωση του κοβαλτίου 60, σε περίπου 5 έτη), η πηγή πρέπει να αντικατασταθεί. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο υπάρχει η δαπάνη για την αγορά μιας νέας πηγής, αλλά και το κόστος αντικατάστασης του παλαιού. Το Καίσιο 137 είναι διαρκεί αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και η πηγή μπορεί κάλλιστα να υφίσταται περισσότερο χρονικό διάστημα. Μια άλλη πιθανότητα είναι ότι οι τεχνολογικοί πρόοδοι θα αυξήσουν την ευαισθησία του ανιχνευτή ταχύτερα από τον ρυθμό με τον οποίο αποσυντίθεται η πηγή. Αυτό παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα της αντικατάστασης ή αναβάθμισης του ανιχνευτή, διατηρώντας παράλληλα την πηγή στη θέση της για το μέλλον. Η Πυρηνική Ρυθμιστική Επιτροπή (NRC) περιορίζει την ένταση της ακτινοβολίας με ανώτατο όριο τα 5 milliroentgens (μονάδα μέτρησης ακτίνων γάμμα) ανά ώρα (κ / hr) σε απόσταση 12 από τον ανιχνευτή. Η απόσταση των 12 είναι κρίσιμη, διότι η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται με το αντίστροφο τετράγωνο της απόστασης. Οι μετρητές τέτοιου μεγέθους παρέχουν ένταση ακτινοβολίας στον ανιχνευτή που υπερβαίνει το ελάχιστο που απαιτείται, αλλά είναι κάτω από το 5 κ / hr (μέγιστο). Για ανιχνευτές με θάλαμο ιόντων, το ελάχιστο είναι 1 κ / h. Για Geiger-Mueller διακόπτες, είναι 0,5 mr / hr. Και για ανιχνευτές σπινθηρισμών, είναι 0,1-0,2 mr / hr. Επειδή ο ανιχνευτής κάνει μέτρηση και των ατμών επάνω από το υγρό, καθώς το επίπεδο ανεβαίνει στη δεξαμενή, η ένταση στον ανιχνευτή μειώνεται. Όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη, η ένταση της ακτινοβολίας είναι σχεδόν μηδενική. Όταν χρησιμοποιείται ως αισθητήρας στάθμης της δεξαμενής, η ακτινοβολία πρέπει να περάσει μέσα από

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Τεχνολογίες μέτρησης στάθμης δεξαμενών

πολλές στρώσεις υλικού πριν φθάσει στον ανιχνευτή. Στον ανιχνευτή, η μέγιστη ακτινοβολία πρέπει να είναι μικρότερη από κάποιο όριο ασφαλείας (όπως το 5 κ / hr). Άλλα κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως η διατήρηση της ετήσιας δόσης κάτω από 5 rem. Αν κάποιος έχει εκτεθεί σε ακτινοβολία στη διάρκεια του έτους, με μια τέτοια δοσολογία, που θα προκύψουν από την έκθεση ακτινοβολίας, σε μία ένταση 0.57 κ / h. Αν ένας χειριστής εκτίθεται μόνο για 40 ώρες / εβδομάδα 5 rem / yr, ενώ θα αντιστοιχεί σε αυτόν που θα ελάμβανε, αν εκτεθεί σε 2,4 mR / hr, στο χώρο εργασίας. Όπως είναι η συνολική δοσολογία διάρκειας ζωής της έκθεσης σε ακτινοβολία που έχει πραγματικά σημασία (μέγιστο 250 rem), την αποδοχή των 5 rem / yr, ή οποιοδήποτε άλλο όριο, είναι επίσης συνάρτηση της ηλικίας του. Από την άλλη πλευρά, η ακτινοβολία στον ανιχνευτή πρέπει να εξακολουθεί να είναι επαρκής για να παράγει μια χρήσιμη αλλαγή στην έξοδο του ανιχνευτή όταν αλλάζει επίπεδο το υλικό. Μετρητές ακτινοβολίας συνήθως εξετάζονται όταν τίποτα άλλο δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει ή να διεισδύσει σε μια εφαρμογή διότι η διαδικασία που απαιτείται σε σχέση με ένα παραδοσιακό αισθητήρα στάθμης παρουσιάζει κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή, το περιβάλλον, ή θα μπορούσε να κάνει μεγάλη ζημιά στο χώρο. Τα υγρά και στερεά χύδην που μετρούνται από τέτοιους μετρητές μπορεί να εκτεθούν σε διάφορους κινδύνους όπως υψηλή πίεση, τοξικά, διαβρωτικά, εκρηκτικά, και καρκινογόνα υλικά. Επειδή ο ανιχνευτής «βλέπει» μέσα από τοίχους της δεξαμενής, μπορεί να εγκατασταθεί και να τροποποιηθεί [33].

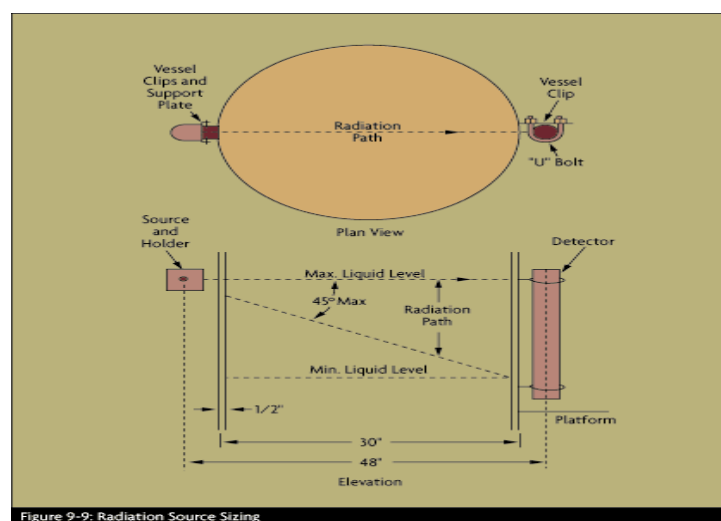


Figure 9-9: Radiation Source Sizing

**Εικόνα 2.10** Μετρητής ακτινοβολίας. [33]

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

Η μέτρηση της ροής αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους σε κάθε παραγωγική διεργασία. Με τον όρο ροή εννοούμε την κίνηση των σωματιδίων των ρευστών. Η κίνηση των σωματιδίων περιλαμβάνει μεγέθη όπως δύναμη, ταχύτητα και επιτάχυνση. Το φαινόμενο της ροής αποτελεί αντικείμενο της ρευστομηχανικής, και ειδικότερα της υδροδυναμικής και της αεροδυναμικής επιστήμης. Η μέτρηση της ροής είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία σε πολλούς τομείς της επιστήμης και της βιομηχανίας. Επίσης, η μέτρηση ροής υγρών είναι από τις σοβαρές ανάγκες των σύγχρονων βιομηχανικών εγκαταστάσεων, δεδομένου ότι είναι κρίσιμης σημασίας να ελέγχει το ποσό του υλικού που αγοράζονται και πωλούνται. Η ακριβής μέτρηση της ροής είναι τόσο σημαντική σε μια σειρά από ενέργειες, που μπορεί να δημιουργήσει μια ολόκληρη διαφορά, πολύ μεταξύ κέρδους και ζημιών. Οι ανακριβείς μετρήσεις ροής ή ανικανότητα να ληφθούν σωστές μετρήσεις μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα. Επιπλέον, οι ροές σε όλη τη διαδικασία θα πρέπει να διατηρούν τις προτιμώμενες τιμές τους με μικρή απόκλιση. Τα συστήματα ροής απαιτούν ενέργεια, που συνήθως παρέχεται από αντλίες και συμπιεστές, για να δημιουργηθεί μια διαφορά πίεσης ως κινητήρια δύναμη. Οι αισθητήρες ροής θα πρέπει να φέρουν μια μικρή αντίσταση ροής, κλιμακώνοντας την κατανάλωση ενέργειας. Σε όργανα μέτρησης της ροής σχεδόν όλα τα υγρά, ο ρυθμός της ροής υπολογίζεται με την μέτρηση της ταχύτητας του υγρού ή της μεταβολής της κινητικής ενέργειας. Η ταχύτητα του υγρού εξαρτάται από την διαφορική πίεση η οποία πιέζει το υγρό μέσω ενός σωλήνα ή αγωγού. Δεδομένου ότι το εμβαδόν διατομής του σωλήνα είναι γνωστό και παραμένει σταθερό, η μέση ταχύτητα είναι μια ένδειξη του ρυθμού ροής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η βασική σχέση για τον προσδιορισμό ρυθμού ροής του υγρού είναι ίση με:  $Q = V * A$

Όπου το Q είναι η ροή του υγρού μέσα από το σωλήνα, V είναι η μέση ταχύτητα της ροής και το A είναι η επιφάνεια εγκάρσιας διατομής του σωλήνα. Από τη βασική σχέση, συμπεραίνουμε ότι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμός ροής του υγρού περιλαμβάνει τη μέση ταχύτητα της ροής και την περιοχή εγκάρσιας διατομής του σωλήνα. Εκτός από αυτά, και άλλοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα ροής υγρού τα οποία είναι το ιξώδες του υγρού, η πυκνότητα και η τριβή του υγρού σε επαφή με το σωλήνα. Αρκετά γεγονότα που αφορούν τη ροή των

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

υγρών και των αερίων μπορούν να αναλυθούν μόνο από την εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli. Η εξίσωση Bernoulli καθορίζει τη σχέση μεταξύ του ρυθμού ροής και της διαφοράς πίεσης για την ιδανική ροή ρευστού υποθέτοντας ότι οι αλλαγές στην αύξηση και στην μεταφορά θερμότητας είναι αμελητέα. Η εξίσωση Bernoulli είναι εξαιρετική για την κίνηση, ωστόσο μπορεί να μην δώσει ακριβή απάντηση για πολλές καταστάσεις. Αναμφίβολα, μπορεί να κάνει διαθέσιμη μια πρώτη εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων. Αυτή βασίζεται στις εξής παραδοχές, ότι τα υγρά είναι ασυμπίεστα και παχύρρευστα, ότι καμία ενέργεια δεν εξαφανίστηκε λόγω της τριβής που προκαλείται μεταξύ του υγρού και του τοιχώματος του σωλήνα. Ακόμα ότι καμία θερμική ενέργεια δεν μεταφέρθηκε πέραν των ορίων του σωλήνα στο υγρό ως αύξηση της θερμότητας και η ροή του υγρού είναι στρωτή και σταθερή και είναι παράλληλα με το μήκος του ρεύματος. Σε γενικές γραμμές, συναντάμε δύο τύπους ροής σε επιχειρήσεις μέτρησης υγρών.

*Στρωτή ροή:* Αυτός ο τύπος ροής λαμβάνει χώρα σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ή είναι υψηλά ιξώδη. Σε αυτά, τα υγρά ρέουν σε λείες επιφάνειες με την υψηλότερη ταχύτητα στο κέντρο του σωλήνα και χαμηλές ταχύτητες στο όριο του τοιχώματος του σωλήνα, όπου οι δυνάμεις συνεκτικότητας τα συγκρατούν.

*Ταραχώδης ροή:* Λαμβάνει χώρα σε υψηλές ταχύτητες ή χαμηλό ιξώδες. Στο πλαίσιο αυτό, η ροή του υγρού διασπάται σε δίνες, που ρέουν μέσω του σωλήνα με την ίδια μέση ταχύτητα. Σε αυτόν τον τύπο ροής, η ταχύτητα του ρευστού δεν είναι πολύ σημαντική.

Ακόμα για την ροή των υγρών έχει γίνει αναφορά από τον George Gabriel Stokes το 1851, αλλά ο αριθμός Reynolds πήρε το όνομά του από τον Arnold Sommerfeld το 1908, μετά Osborne Reynolds (1842-1912), ο οποίος διέδωσε τη χρήση του 1883. Ο αριθμός Reynolds (Re) είναι μια σημαντική αδιάστατη ποσότητα ρευστομηχανικής που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην πρόβλεψη πρωτοτύπων ροής σε διαφορετικές καταστάσεις ροής ρευστού. Ο αριθμός Reynolds είναι πολύτιμος ως οδηγός για την στρωτή ή την ταραχώδη μετάβαση σε μια συγκεκριμένη κατάσταση ροής, και για την όμοια κλιμάκωση σε διαφορετικές καταστάσεις μεγέθους ροής. Επίσης, οι αριθμοί Reynolds (Re) ορίζονται ως η αναλογία των αδρανειακών δυνάμεων, με τις δυνάμεις αντίστασης των υγρών. Ο ρυθμός ροής και το ειδικό βάρος είναι δυνάμεις αδρανείας και η διάμετρος του σωλήνα και το ιξώδες είναι

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

δυνάμεις αντίστασης. Η διάμετρος του σωλήνα και το ειδικό βάρος παραμένουν σταθερά για την πλειονότητα των υγρών σε τέτοιες εφαρμογές. Σύμφωνα με τον ορισμό, αν ο αριθμός Re είναι υψηλός, δηλαδή αν οι δυνάμεις αδρανείας είναι περισσότερες σε σύγκριση με τις δυνάμεις αντίστασης, τότε η ροή είναι ταραχώδης. Και αν ο αριθμός Re είναι μικρός, δηλαδή οι δυνάμεις αντίστασης είναι περισσότερες τότε η ροή είναι στρωτή. Με R τιμές πάνω από 3000, σχεδόν όλες οι εφαρμογές περιλαμβάνουν ταραχώδης ροής ενώ με R τιμές μικρότερες από 2000, τα υγρά συνήθως παρουσιάζουν στρωτή ροή. Μεταξύ αυτών των δύο επιπέδων, υπάρχει μια μεταβατική ζώνη που μπορεί να είναι είτε στρωτή ή ταραχώδης ανάλογα με τη διάταξη των σωλήνων και κάποιες άλλες συνθήκες εγκατάστασης. Ο γενικός τύπος για την εύρεση του αριθμού Reynold είναι [8]:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

όπου:

$\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού (μονάδες SI:  $\text{kg} / \text{m}^3$ )

$v$  είναι η χαρακτηριστική ταχύτητα του ρευστού σε σχέση με το αντικείμενο ( $\text{m} / \text{s}$ )

$L$  είναι μια χαρακτηριστική γραμμική διάσταση ( $\text{m}$ )

$\mu$  είναι το δυναμικό ιξώδες του υγρού ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$  ή  $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$  ή  $\text{kg} / (\text{m} \cdot \text{s})$ ).

Για την ροή σε ένα σωλήνα, ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως [8]:

$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} = \frac{v D_H}{\nu} = \frac{Q D_H}{\nu A}$$

όπου:

$D_H$  είναι η υδραυλική διάμετρος του σωλήνα ( $\text{m}$ ).

$Q$  είναι ο ογκομετρικός ρυθμός ροής ( $\text{m}^3 / \text{s}$ ).

$A$  είναι η επιφάνεια του σωλήνα διατομής ( $\text{m}^2$ ).

$v$  είναι η μέση ταχύτητα του ρευστού ( $\text{m} / \text{s}$ ).

$\mu$  είναι το δυναμικό ιξώδες του υγρού ( $\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = \text{kg} / (\text{m} \cdot \text{s})$ ).

$\nu$  είναι το κινηματικό ιξώδες ( $\nu = \mu / \rho$ ) ( $\text{m}^2 / \text{s}$ ).

$\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

Τα ροόμετρα κατηγοριοποιούνται ως εξής [5][7][9][10] :

- *Μετρητές ροής με διαφορική πίεση*
  1. Μετρητής στομίου εκροής
  2. Σωλήνες Venturi
  3. Σωλήνες εκροής
  4. Ακροφύσια εκροής
  5. Σωλήνες pitot
  6. Γωνιακοί μετρητές
  7. Στοχευόμενος μετρητής
- *Μέτρηση με ταχύτητα ροής*
  1. Ροόμετρα στροβίλου
  2. Ροόμετρα δίνης
  3. Ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα
  4. Υπερηχητικά ροόμετρα Doppler
- *Ροόμετρα θετικής μετατόπισης*
- *Ανοιχτού τύπου μετρητές*
- *Ροόμετρα μάζας Coriolis*

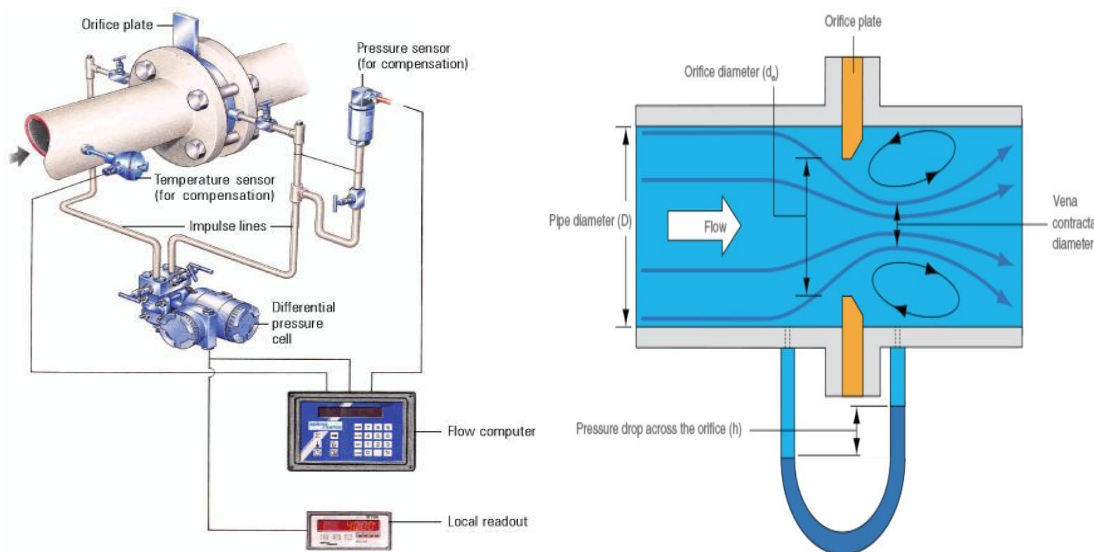
### 3.1 Μετρητές ροής με διαφορική πίεση

Η χρήση της διαφορικής πίεσης ως μέτρηση του ρυθμού ροής ενός υγρού είναι πολύ γνωστή. Στη διαφορική πίεση ροομέτρων είναι μακράν, τα πιο κοινά συστήματα σε χρήση σήμερα. Οι εκτιμήσεις είναι ότι πάνω από το 50 τοις εκατό του συνόλου των μετρήσεων ροής ενός υγρού χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο συστημάτων. Η βασική αρχή λειτουργίας της διαφορικής πίεσης ροομέτρων βασίζεται στην παραδοχή ότι η πτώση πίεσης κατά μήκος του μετρητή είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας ροής. Ο ρυθμός ροής επιτυγχάνεται με την μέτρηση της διαφορικής πίεσης και αφαιρώντας την τετραγωνική του ρίζα. Στη διαφορική πίεση ροομέτρων, όπως και στα περισσότερα ροόμετρα, έχουν έναν κύριο και δευτερεύον στοιχείο. Το κύριο στοιχείο προκαλεί μια αλλαγή στην κινητική ενέργεια, η οποία δημιουργεί την διαφορά πίεσης στο σωλήνα. Η μονάδα πρέπει να συνδυαστεί σωστά με το μέγεθος του σωλήνα, τις συνθήκες ροής και τις ιδιότητες του υγρού. Η ακρίβεια της μέτρησης του στοιχείου πρέπει να είναι σε ένα εύλογο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

εύρος. Το δευτερεύον στοιχείο μετρά την διαφορά πιέσεων και παρέχει το σήμα ανάγνωσης που μετατρέπει την πραγματική τιμή ροής.

Ο μετρητής *στομίου εκροής* (orifice plates) είναι από τους πιο δημοφιλείς που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στον ογκομετρικό ρυθμό ροής του υγρού, που γίνεται με την πτώση της πίεσης, λόγω εμποδίου που βρίσκεται στην ροή. Ένα στόμιο περιέχει ένα επίπεδο κομμάτι από μέταλλο με μια ειδική μεγέθους τρύπα σε αυτό. Στην πράξη, η πλάκα στομίων είναι εγκατεστημένη στο σωλήνα ανάμεσα σε δύο φλάντζες. Το στόμιο περιορίζει την ροή του υγρού για να παραχθεί μια διαφορική πίεση κατά πλάτος της πλάκας. Τα στοιχεία για την μέτρηση της πίεσης γίνεται και στις δύο πλευρές της πλάκας για την ανίχνευση της διαφοράς. Σημαντικά πλεονεκτήματα των στομίων είναι ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη και το κόστος τους δεν αυξάνεται σημαντικά με το μέγεθος του σωλήνα. Δεν υπάρχουν ειδικές σωληνώσεις ή εξαρτήματα που απαιτούνται για την εγκατάσταση της συσκευής σε έναν αγωγό. Η ακριβείς μέτρηση όλων των μετρητών στομίου εξαρτάται από τις συνθήκες εγκατάστασης, την αναλογία του στομίου αλλά και τις φυσικές ιδιότητες του υγρού [5][7][9][10].

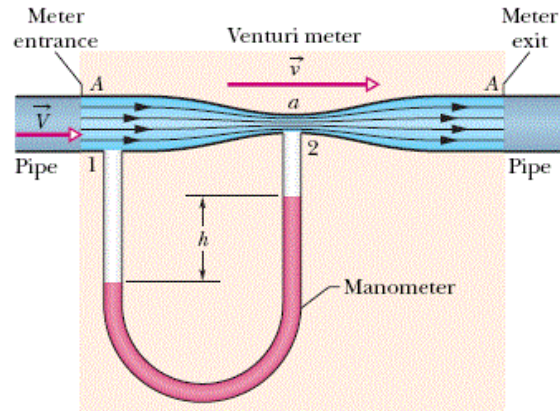


Εικόνα 3.1.1 Μετρητής στομίου εκροής. [38][39]

Οι σωλήνες *Venturi* (που είναι υπό το φαινόμενο του Venturi) έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να χειριστούν μεγάλους όγκους ροής με χαμηλή πίεση. Ένας σωλήνας Venturi είναι ουσιαστικά ένα τμήμα του σωλήνα με ένα κωνικό σχήμα στην είσοδο και με ένα ευθύ στόμιο. Όσο περνάει υγρό μέσω του

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

στομίου, η ταχύτητα του αυξάνεται, προκαλώντας μια διαφορική πίεση μεταξύ των περιοχών εισόδου και εξόδου. Αυτοί οι μετρητές ροής δεν έχουν κινούμενα μέρη. Μπορούν να εγκατασταθούν σε σωλήνες μεγάλης διαμέτρου με τη χρήση φλάντζας, συγκολλημένη ή με σπείρωμα. Τέσσερις ή περισσότερες κάνουλες πίεσης συνήθως εγκαθίστανται με το σύστημα για την μέτρηση της πίεσης [5][7][9][10].



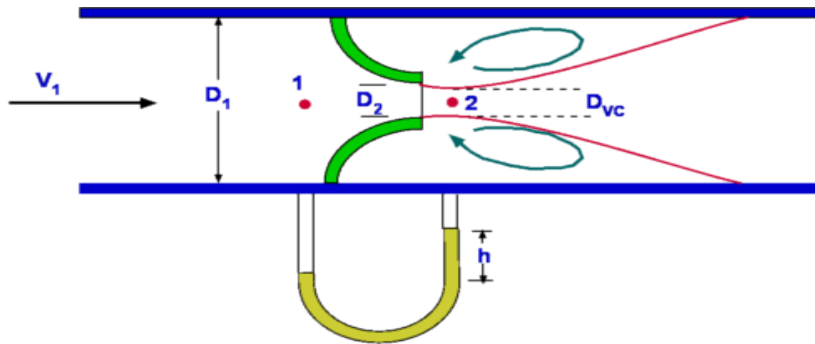
**Εικόνα 3.1.2** Ροόμετρο Venturi. [40]



**Εικόνα 3.1.3** Σωλήνας Venturi. [41]

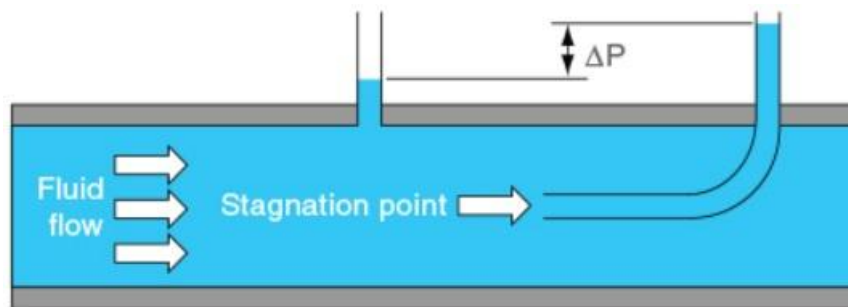
*Ακροφύσια εκροής (Flow Nozzles)* λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες. Μπορούν να χειριστούν περίπου 60 τοις εκατό μεγαλύτερη ροή υγρού από τα στόμια εκροής, που έχουν την ίδια πτώση πίεσης. Ωστόσο, η χρήση των συστημάτων αυτών δεν συνιστάται για πολύ παχύρρευστα ή κολλώδη υγρά. Η λειτουργία τους είναι όμοια με των στομίων εκροής. Η ιδιαιτερότητά τους, είναι ότι η μέτρηση της διαφορικής πίεσης ισαπέχει από το σημείο της ένωσης του ακροφυσίου στο σωλήνα μέτρησης. Το πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο ροόμετρο είναι ότι λόγω του ομαλού σχεδιασμού του και της δυσκολίας προσκόλλησης σωματιδίων στα εσωτερικά του τοιχώματα, υπάρχει καλή ακρίβεια στην μέτρηση [5][7][9][10].

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής



**Εικόνα 3.1.4** Ακροφύσιο εκροής. [42]

Οι σωλήνες *pitot* δέχονται δύο πιέσεις ταυτόχρονα. Το ένα μέρος που δέχεται πίεση αποτελείται από ένα κυρτό σωλήνα, σε ορθή γωνία προς την κατεύθυνση της ροής. Το άλλο μέρος πίεσης του σωλήνα είναι κλειστό αλλά μια μικρή σχισμή βρίσκεται στην πλευρά του συστήματος. Η χρήση των σωλήνων *pitot* είναι περιορισμένη στις μετρήσεις τους. Τα συστήματα αυτά είναι ευαίσθητα σε έμφραξη από ξένο υλικό στο υγρό. Τα πλεονεκτήματα των σωλήνων *pitot* είναι το χαμηλό κόστος, η απουσία κινούμενων μερών, της εύκολης εγκατάστασης και της ελάχιστης πτώσης πίεσης [5].

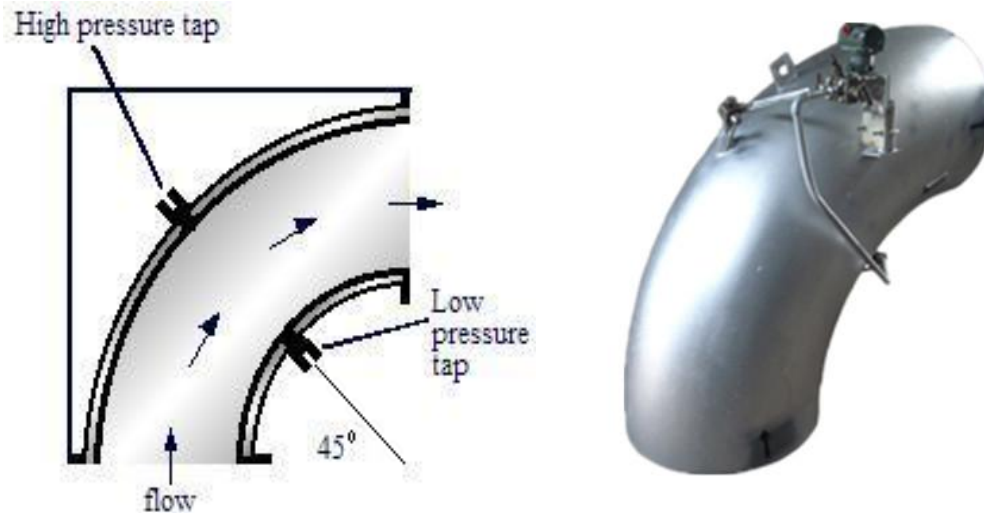


**Εικόνα 3.1.5.** Σωλήνας *pitot*. [39]

Οι *γωνιακοί μετρητές* (*Elbow meters*) λειτουργούν με βάση την αρχή, ότι όταν το υγρό κινείται σε μία κυκλική διαδρομή, τότε μια φυγόκεντρος δύναμη ασκείται κατά μήκος των εξωτερικών άκρων του. Έτσι, όταν το υγρό ρέει μέσω ενός γωνιακού σωλήνα, η δύναμη στην εσωτερική επιφάνειά του είναι ανάλογη με την πυκνότητα του υγρού και με το τετράγωνο της ταχύτητάς του. Επιπλέον, η δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την ακτίνα της γωνίας του σωλήνα. Αν είναι 90

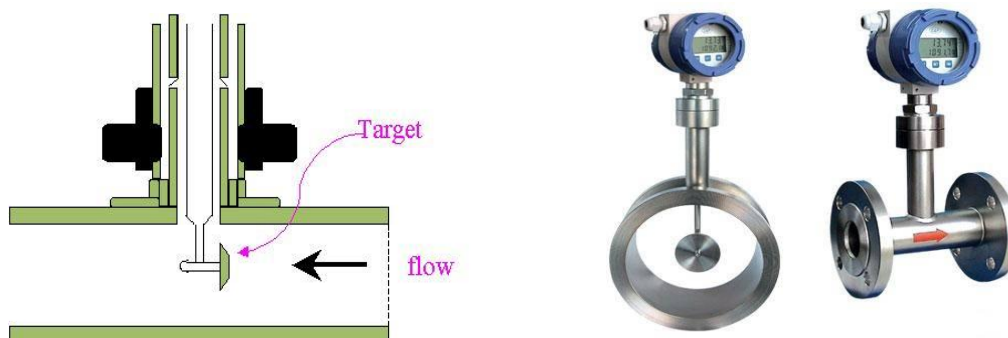
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

μοίρες ο σωλήνας τότε μπορεί να χρησιμεύσει ως ροόμετρο. Το μόνο που απαιτείται είναι η τοποθέτηση πιεζόμετρου στις δύο μικρές τρύπες στο μέσον του σωλήνα και για την ανίχνευση της πίεσης πρέπει να συνδεθεί με τις διακλαδώσεις [5].



**Εικόνα 3.1.6** Γωνιακοί μετρητές. [32][43]

Ο *στοχευόμενος μετρητής* (Target meter) μετρά δυνάμεις, που προκαλούνται από τα υγρά, επί ενός στόχου ή μιας αντίστασης. Μια άμεση ένδειξη του ρυθμού ροής του υγρού επιτυγχάνεται με τη μέτρηση της δύναμης που ασκείται πάνω στο στόχο. Στην απλούστερη μορφή του, ο μετρητής αποτελείται μόνο από ένα αρθρωτό, αιωρούμενο πλακίδιο που κινείται προς τα έξω, μαζί με το υγρό ρεύμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η συσκευή λειτουργεί ως δείκτης ροής. Η δύναμη του στόχου που προκαλείται από τη ροή του υγρού ανιχνεύεται από ένα μετρητή τάσης. Το σήμα εξόδου από τον ανιχνευτή είναι ενδεικτικό του ρυθμού ροής. Οι συγκεκριμένοι μετρητές είναι χρήσιμοι για τη μέτρηση της ροής σε βρώμικα ή διαβρωτικά υγρά [5][7].



**Εικόνα 3.1.7** Στοχευόμενος μετρητής. [44][45]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

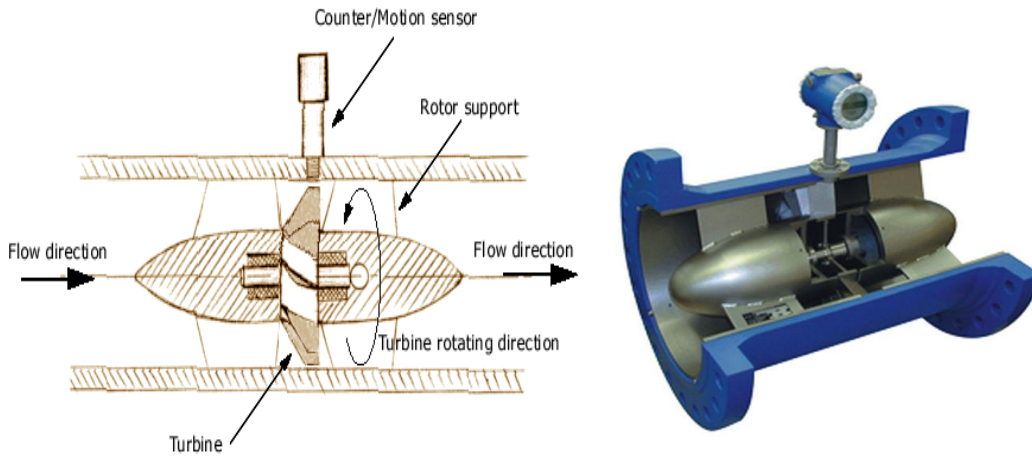
### 3.2 Μέτρηση με ταχύτητα ροής

Τα συστήματα αυτά λειτουργούν γραμμικά σε σχέση με το ρυθμό ροής όγκου. Επειδή δεν υπάρχει στη σχέση τετραγωνική ρίζα (όπως με τις συσκευές διαφορικής πίεσης), η ικανότητά τους είναι ότι έχουν μεγαλύτερο εύρος κάλυψης. Οι μετρητές ταχύτητας έχουν ελάχιστη ευαισθησία σε μεταβολές του ιξώδους και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όταν οι αριθμοί Reynolds είναι άνω των 10.000. Τα περισσότερα έχουν εξοπλισμό με φλάντζες ή με άλλα εξαρτήματα για να συνδεθούν απευθείας στους αγωγούς [5][7][9][10].

#### 3.2.1 Ροόμετρα στροβίλου

Τα *ροόμετρα στροβίλου* (Turbine meters) έχουν βρει ευρεία χρήση για την ακριβή μέτρηση υγρών. Το σύστημα αποτελείται από πολλαπλά πτερύγια σε ένα ρότορα συνδεδεμένο με σωλήνα, κάθετα προς τη ροή του υγρού. Ο ρότορας περιστρέφεται καθώς το υγρό περνά μέσα από τα πτερύγια. Η ταχύτητα περιστροφής είναι σε άμεση συνάρτηση του ρυθμού ροής και μπορεί να ανιχνεύεται από μαγνητικούς δείκτες, από φωτοκύτταρο ή από κάποιο άλλο εργαλείο. Οι ηλεκτρικοί παλμοί μπορούν έτσι να μετρηθούν. Ο αριθμός των ηλεκτρικών παλμών υπολογίζονται σε μια δεδομένη χρονική περίοδο και είναι ανάλογη προς τον όγκο της ροής. Ένα ταχύμετρο μπορεί να προστεθεί για τη μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής του στροβίλου και για τον προσδιορισμό του ρυθμού ροής του υγρού. Οι μετρητές στροβίλου μπορούν να έχουν καλή ακρίβεια, ιδιαίτερα σε υγρά με χαμηλό ιξώδες. Μια σημαντική ανησυχία για τους μετρητές στροβίλου είναι η φθορά τους, όταν το ρευστό περιέχει μικροοργανισμούς ή άλλες μορφές προσμείξεων. Ένα σχέδιο έχει αναπτυχθεί για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα. Όταν το υγρό που εισέρχεται στο μετρητή ταξιδεύει μέσω των σπειροειδών πτερυγίων ενός στάτορα, που προσδίδει περιστροφή στο υγρό ρεύμα. Το ρεύμα δρα σε μια σφαίρα, με αποτέλεσμα να περιστρέφεται στο χώρο μεταξύ του πρώτου στάτορα και ενός δεύτερου στάτορα. Η περιστροφή της σφαίρας ανιχνεύεται ηλεκτρονικά. Η συχνότητα της προκύπτουσας εξόδου του παλμού είναι ανάλογη με το ρυθμό ροής. Η ακρίβεια των μετρήσεών τους είναι αξιοσημείωτη [5][7][9][10].

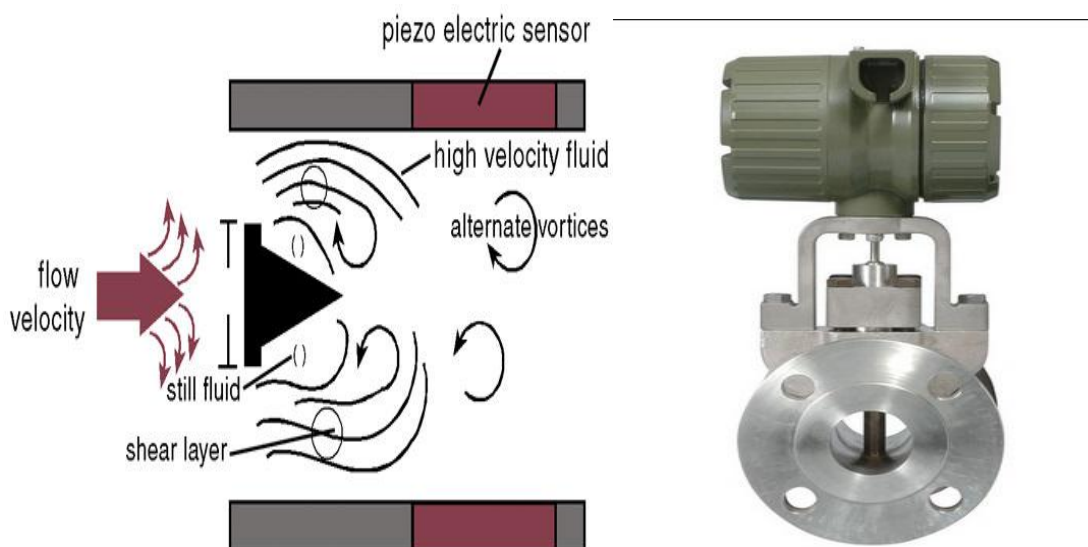
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής



Εικόνα 3.2.1 Ροόμετρο στροβίλου. [46][47]

### 3.2.2 Ροόμετρα δίνης

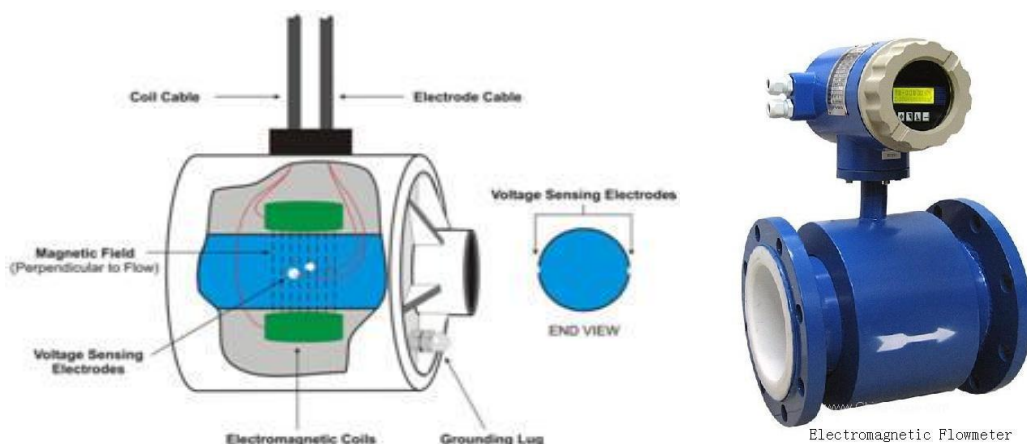
Τα ροόμετρα δίνης (Vortex meters) κάνουν χρήση ενός φυσικού φαινομένου που συμβαίνει όταν ένα υγρό ρέει γύρω από ένα αντικείμενο. Η ροή του υγρού πέφτει πάνω σε ένα αντικείμενο δημιουργώντας δίνες. Η συχνότητα της δίνης είναι ευθέως ανάλογη με την ταχύτητα του υγρού που διαρρέει το μετρητή. Τα τρία κύρια μέρη του μετρητή είναι το εμπόδιο που τοποθετημένο σε όλη την οπή ροής, ένας αισθητήρας για την ανίχνευση της δίνης και για να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό παλμό, και έναν πομπό ενίσχυσης σήματος του οποίου η έξοδος είναι ανάλογη προς την ταχύτητα ροής. Η χρήση του για κολλώδη υγρά ή υγρά υψηλού ιξώδους δεν συνιστάται [5][7][9][10].



Εικόνα 3.2.2 Ροόμετρο δίνης.[48][49]

### 3.2.3 Ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα

Τα ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα μπορούν να χειριστούν τα περισσότερα υγρά ακόμα και κολλώδη, υπό την προϋπόθεση ότι το υλικό που μετράται είναι ηλεκτρικά αγωγίμο. Το σύστημα ροής τοποθετεί απευθείας στον σωλήνα. Η πτώση της πίεσης κατά μήκος του ροόμετρου είναι ισοδύναμη με το μήκος του σωλήνα γιατί δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη ή εμπόδια στη ροή. Ένα βολτόμετρο μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τον σωλήνα ροής ή μπορεί να τοποθετηθεί απομακρυσμένα. Επίσης, τα ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα λειτουργούν με το νόμο του Faraday δηλαδή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που αναφέρει την τάση που θα προκληθεί όταν ένας αγωγός κινείται μέσα από ένα μαγνητικό πεδίο. Το υγρό χρησιμοποιείται ως αγωγός και το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από ενεργοποιημένα πηνία έξω από το σωλήνα ροής. Η ποσότητα της τάσης που παράγεται είναι ευθέως ανάλογη προς την ταχύτητα ροής. Δύο ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα στο τοίχωμα του σωλήνα και ανιχνεύουν την τάση, η οποία μετράται από ένα δευτερεύον στοιχείο. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να μετρήσουν τα καυστικά υγρά και τα κολλώδη υγρά. Επίσης μπορούν να μετρήσουν προς τα εμπρός καθώς και αντίστροφα της ροής με την ίδια ακρίβεια. Στα μειονεκτήματα είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και η ανάγκη, ο σωλήνας να είναι γεμάτος με υγρό και να μην υπάρχει ροή για να ρυθμίζεται αρχικά ο μετρητής στο μηδέν. Οι πρόσφατες βελτιώσεις έχουν εξαλείψει αυτά τα προβλήματα. Ακόμα οι καινούργιες τεχνικές διέγερσης παλμού τέτοιου τύπου έχουν μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, επειδή η διέγερση χρειάζεται μόνο το μισό χρόνο. Τέλος, ποια δεν χρειάζεται να ρυθμίζεται αρχικά ο μετρητής στο μηδέν [5][7][9][10].



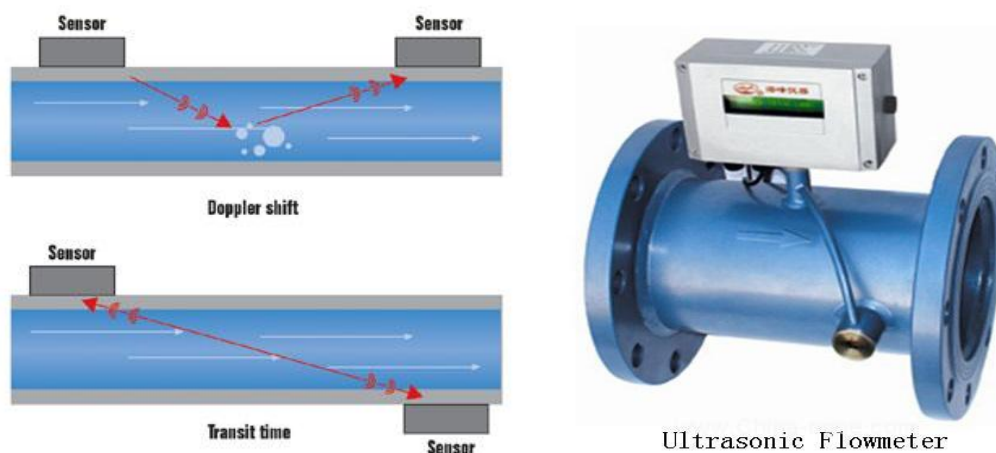
**Εικόνα 3.2.3** Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο. [50][51]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

### 3.2.4 Υπερηχητικά ροόμετρα

Τα υπερηχητικά ροόμετρα κατηγοριοποιούνται σε δύο είδη. Στη μία μπορούν να ονομάζονται Doppler διότι η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Τα ροόμετρα Doppler μετρούν τις μετατοπίσεις της συχνότητας που προκαλούνται από τη ροή του υγρού. Δύο αισθητήρες μετάδοσης τοποθετούνται και συνδέονται στη μια πλευρά του σωλήνα. Ένα σήμα γνωστής συχνότητας στέλνεται μέσα στο υγρό που πρόκειται να μετρηθεί. Στερεά, φυσαλίδες, ή οποιαδήποτε ασυνέχεια στο υγρό, προκαλεί στον παλμό να ανακλαστεί στο δέκτη. Επειδή το υγρό, που προκαλεί την αντανάκλαση κινείται, η συχνότητα του παλμού που επιστρέφει είναι μετατοπισμένη. Η μετατόπιση της συχνότητας είναι ανάλογη με την ταχύτητα του υγρού. Στην άλλη κατηγορία υπερηχητικών ροομέτρων μπορούν να έχουν αισθητήρες μετάδοσης τοποθετημένους και σε κάθε πλευρά του σωλήνα. Η διαμόρφωση είναι τέτοια, ώστε τα ηχητικά κύματα που ταξιδεύουν μεταξύ των συσκευών να είναι σε γωνία 45 μοιρών προς την κατεύθυνση της ροής του υγρού. Η ταχύτητα του σήματος, που ταξιδεύει μεταξύ των αισθητήρων μετάδοσης είναι αυξημένη ή μειωμένη, με την κατεύθυνση της μεταφοράς και την ταχύτητα του υγρού που μετριέται. Ο χρόνος είναι ανάλογος προς τη ροή που μπορεί να ληφθεί με τη μετάδοση του σήματος διαδοχικά στις δύο κατευθύνσεις. Ένας περιορισμός στο χρόνο ταξιδιού του παλμού είναι ότι τα υγρά που μετρώνται πρέπει να εμπεριέχουν αέρια ή στερεά για την ελάχιστη σκέδαση του σήματος και για την απορρόφησή του. Τέλος, για αυτό η χρήση τους δεν είναι δυνατή για αέρια ή καθαρά υγρά [5][7][9][10].



**Εικόνα 3.2.4** Υπερηχητικά ροόμετρα. [52][53]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

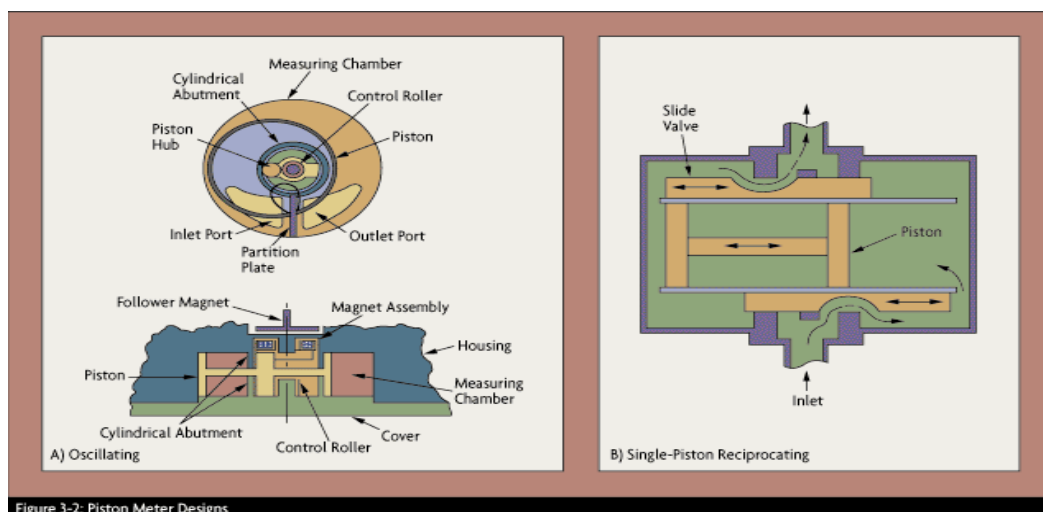
### 3.3 Ροόμετρα θετικής μετατόπισης

Τα ροόμετρα θετικής μετατόπισης είναι οι μετρητές οι οποίοι είναι κατάλληλοι για τη μέτρηση του ιξώδους του υγρού ροής. Αυτοί επίσης θεωρούνται ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση ενός απλού μηχανικού συστήματος μέτρησης. Σε γενικές γραμμές, τα ροόμετρα θετικής μετατόπισης αποτελούνται από ένα θάλαμο ή μία κοιλότητα η οποία περιορίζει τη ροή. Ένα περιστρεφόμενο ή παλινδρομικό μηχανικό στοιχείο βρίσκεται στο εσωτερικό του θαλάμου για να δημιουργήσει σταθερό όγκο, διακριτών κατανομών, από το υγρό ροής. Στα συγκεκριμένα ροόμετρα τα υγρά διαχωρίζονται ακριβώς και υπολογίζονται προσαυξήσεις οι οποίες στη συνέχεια υπολογίζονται περαιτέρω από μια συνδεδεμένη μονάδα. Δεδομένου ότι κάθε μετρούμενη αύξηση αντιπροσωπεύει έναν ξεχωριστό όγκο. Είναι κατασκευασμένα από κατάλληλα πιστόνια και άλλα υλικά τα οποία περιστρέφονται σύμφωνα με την ροή του ρευστού που ρέει. Η περιστροφή αυτών είναι ευθέως ανάλογη με τον όγκο του υγρού που προχώρησε. Αυτοί οι τύποι των ροομέτρων χρησιμοποιούνται ευρέως για την αυτόματη μέτρηση. Συνήθως προσφέρουν υψηλή ακρίβεια, δηλαδή περίπου  $\pm 0,1\%$  της πραγματικής ταχύτητας ροής μερικές φορές. Η ακρίβεια της μονάδας γίνεται καλύτερη με την αύξηση του ιξώδους του υγρού διεργασίας. Ακόμα, παρέχουν επίσης εξαιρετική επαναληψιμότητα η οποία μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο  $0.05\%$  της ανάγνωσης και μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς τη χρήση τροφοδοτικού. Για να πάρει την απαιτούμενη ακρίβεια και να διασφαλίσουμε ότι ένα ροόμετρο θετικής μετατόπισης λειτουργεί σωστά, απαιτείται ένα σύστημα φιλτραρίσματος. Αυτό το σύστημα φίλτρου πρέπει να είναι αρκετά ικανό για να απομακρυνθούν τα μεγάλα σωματίδια καθώς και τις φυσαλίδες από το υγρό ροής. Έτσι, στα μειονεκτήματά τους είναι οι συχνές συντηρήσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για την ορθή λειτουργία του. Αλλά στα πλεονεκτήματά τους είναι ότι η μέτρησή τους μένει ανεπηρέαστη από τις μεταβολές της θερμότητας. Τα είδη αυτού του τύπου ροομέτρων είναι τα εξής [5][7][9][10] :

- Παλινδρομικό έμβολο μέτρησης (Reciprocating Piston Meters)
- Οβάλ γρανάζια μέτρησης (Oval-gear Meters)
- Ταλαντευόμενος δίσκος μέτρησης (Nutating-disk Meters)
- Περιστρεφόμενα πτερύγια μέτρησης (Rotary-vane Meters)
- Ελικοειδής ρότορας μέτρησης (Helical rotor Meters)

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

Τα παλινδρομικά έμβολα μέτρησης είναι επίσης γνωστά ως ροόμετρα ταλάντωσης εμβόλου (oscillating piston flowmeters). Αυτά είναι ένα από τα παλαιότερα σχέδια τύπου μέτρησης ροής θετικής μετατόπισης. Αυτοί οι τύποι είναι κυρίως απλών ή πολλαπλών εμβόλων. Άλλοι τύποι είναι διπλών και περιστροφικών εμβόλων. Κάθε έμβολο μηχανικά ή μαγνητικά λειτουργεί για να γεμίσει ένα κύλινδρο με το υγρό και στη συνέχεια γίνεται εκκένωση του ρευστού. Έτσι, κάθε χτύπημα αντιπροσωπεύει μία πεπερασμένη μέτρηση του ρευστού. Ηλεκτρομαγνητικός αισθητήρας είναι τοποθετημένος εκτός του μετρητή και ανιχνεύει την περιστροφή ενός μαγνήτη μέσα στο κέντρο του εμβόλου, η οποία δείχνει την ποσότητα ή το ποσοστό του ρευστού που περνά μέσα από τον μετρητή. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου μετρητή εμβόλου εξαρτάται από το εύρος των ρυθμών ροής που απαιτούνται για μια εφαρμογή. Παρά το γεγονός ότι τα έμβολα είναι μικρότερα σε μέγεθος και θεωρούνται κατάλληλα για να αντιμετωπίσουν μόνο χαμηλές ροές ιξωδών υγρών, είναι ικανά να μετρήσουν ένα ευρύ φάσμα υγρών. Σημαντικές περιοχές εφαρμογής μιας παλινδρομικής εμβόλου μέτρησης περιλαμβάνει τα παχύρρευστα υγρά όπως το λάδι και το πετρέλαιο. Ακόμα είναι ιδανικά για εφαρμογές μέτρησης χαμηλού όγκου, όπως για ανεφοδιασμό αεροσκαφών και ελικοπτέρων. Στα πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλή ακρίβεια και η επαναληψιμότητά τους. Υπάρχει μόνο ένα κινούμενο μέρος στην περίπτωση φθοράς. Και μπορούν να είναι κατασκευασμένα από υλικά που να εξασφαλίζονται κανόνες υγιεινής για την ασφαλή επεξεργασία τροφίμων και ποτών. Στα μειονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με σχετικά καθαρά υγρά [31].



**Εικόνα 3.3.1** Σχεδιάγραμμα παλινδρομικών εμβόλων μέτρησης. [31]

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής



**Εικόνα 3.3.2** Παλινδρομικά έμβολα μέτρησης. [17]

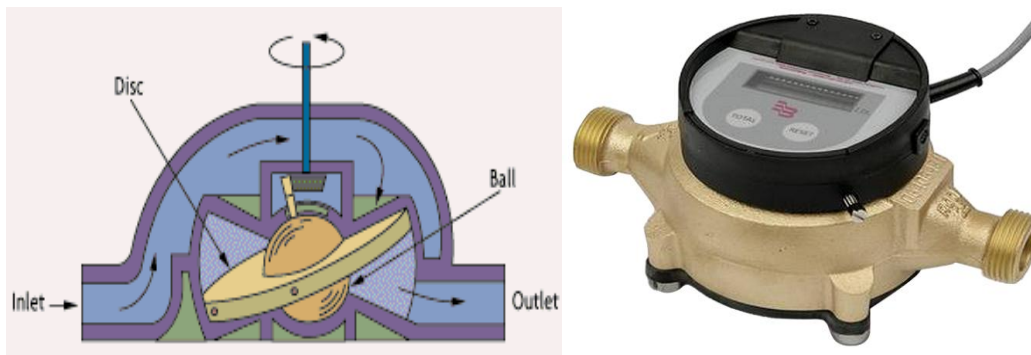
Τα *οβάλ γρανάζια μέτρησης* αποτελούνται από δύο περιστρεφόμενα, σχήματος οβάλ γρανάζια, τα οποία είναι συγχρονισμένα και τοποθετημένα να εφαρμόζουν τα ‘δόντια’ των γραναζιών. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η περιστροφή των αξόνων των γραναζιών προκαλεί μια σταθερή ποσότητα του υγρού να περάσει μέσα από τον μετρητή. Με την παρακολούθηση του αριθμού των περιστροφών του άξονα, μπορεί κανείς να υπολογίσει το ρυθμό ροής του υγρού. Μια μαγνητική ή μηχανική συσκευή μετρά τον αριθμό των στροφών και προσδιορίζει την ογκομετρική ροή.. Αυτοί οι τύποι των μετρητών έχουν αποδειχθεί πολύ ακριβής, όταν η ολίσθηση μεταξύ του προστατευτικού καλύμματος και των γραναζιών είναι πολύ μικρή. Η λειτουργία ενός οβάλ γραναζιών μετρητή επηρεάζεται από τις λιπαντικές ιδιότητες του ρευστού διεργασίας. Παραδείγματα εφαρμογών τους είναι στο πετρέλαιο, στα χημικά, τη διαχείριση των καυσίμων και άλλα. Τα προτερήματά τους είναι ότι έχουν υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα, χειρίζονται το ιξώδες της ροής και η ακρίβειά τους μένει ανεπηρέαστη από τις μεταβολές του ιξώδους. Ακόμα, απαιτείται ελάχιστη συντήρηση και είναι ωφέλιμα ως προς την απόδοση και το κόστος τους [5][36].



**Εικόνα 3.3.3** Οβάλ γρανάζια μέτρησης.[36][54]

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

Ο ταλαντευόμενος δίσκος μέτρησης είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα θετικής μετατόπισης ροόμετρα. Ένας δίσκος συνδέεται με μια σφαίρα και είναι τοποθετημένη μέσα σε ένα σφαιρικό θάλαμο. Καθώς το ρευστό ρέει μέσα από τον θάλαμο, ο δίσκος και η σφαίρα κλονίζονται. Η κλόνιση αυτή προκαλεί έναν πείρο, ο οποίος είναι τοποθετημένος στη σφαίρα κάθετα στο δίσκο. Κάθε περιστροφή της περόνης υποδεικνύει ένα σταθερό όγκο υγρού που έχει περάσει. Ένας μηχανικός ή ηλεκτρομαγνητικός αισθητήρας ανιχνεύει το λίκνισμα του πείρου. Μπορούν να υπάρχουν σε διάφορα μεγέθη και χωρητικότητες και μπορεί να κατασκευαστεί από ένα μεγάλο εύρος υλικών. Συνήθίζεται η κατασκευή του δίσκου να είναι από υδροκρυσταλλικά πολυμερή και ένα χάλκινο περίβλημα. Οι μετρητές από αλουμίνιο ή ορείχαλκο χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση καυτού λαδιού και για χημικά προϊόντα. Στα θετικά τους είναι ότι έχουν υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Ενώ στα αρνητικά τους είναι ότι η ακρίβεια επηρεάζεται από το ιξώδες του υγρού [5][7][9][10].

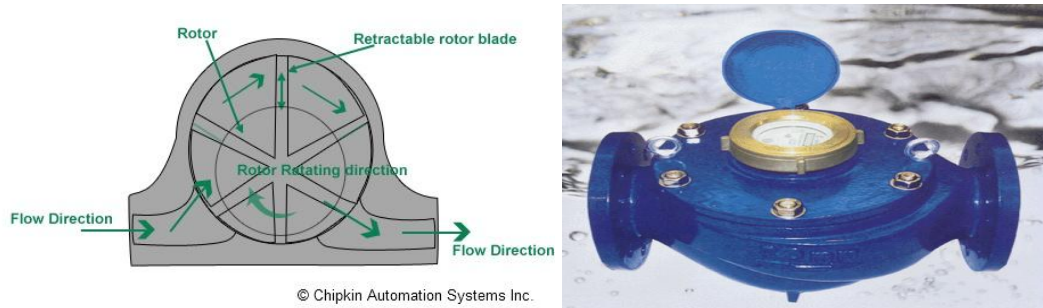


**Εικόνα 3.3.4** Ταλαντευόμενος δίσκος μέτρησης. [31][55]

Τα *περιστρεφόμενα πτερύγια μέτρησης* υπάρχουν σε διάφορα σχέδια. Ωστόσο, όλα έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Αυτά τα ροόμετρα περιλαμβάνουν ουσιαστικά ομοιόμορφα διαιρεμένα περιστρεφόμενα πτερύγια με δύο ή περισσότερα διαμερίσματα στο εσωτερικό του θαλάμου. Ο αριθμός των περιστροφών του στροφείου υπολογίζεται και καταγράφεται σε μονάδες όγκου. Αυτοί οι τύποι των ροομέτρων συχνά χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πετρελαίου. Με βάση το υλικό κατασκευής τους, η μέγιστη πίεση και το μέγιστο όριο θερμοκρασίας των περιστρεφόμενων πτερυγίων μέτρησης είναι 180°C και 1000 psig, αντίστοιχα. Ενώ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

το όριο του ιξώδες κυμαίνεται μεταξύ 1 και 25.000 centipoise. Οι συγκεκριμένοι μετρητές χρησιμοποιούνται συχνά στους τομείς του πετρελαίου και των γεωργικών βιομηχανιών, λόγω της ανθεκτικής κατασκευής τους. Στα προτερήματά τους είναι ότι λόγω της σάρωσης των πτερυγίων στο θάλαμο, εμποδίζεται η συσσώρευση των ιζημάτων και διατηρεί το θάλαμο καθαρό. Η κατασκευή τους μπορεί να γίνει από μια ευρεία επιλογή υλικών. Ακόμα, έχουν καλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Στα μειονεκτήματα είναι η σχετικά πολύπλοκη σχεδίαση που αυξάνει το κόστος τους [13].



**Εικόνα 3.3.5** Περιστρεφόμενα πτερύγια μέτρησης. [13][56]

Ο ελικοειδής ρότορας μέτρησης αποτελείται από δύο ελικοειδείς ρότορες που πέτουν μεταξύ τους, οι οποίοι περιστρέφονται όταν γίνεται μία μετατόπιση υγρού από τη μία πλευρά του θαλάμου προς την άλλη. Ο ρυθμός περιστροφής και ο αριθμός των περιστροφών, καθορίζεται από τον ρυθμό ροής, που μετράται χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς αισθητήρες. Οι ρότορες κατευθύνονται μαζί και υπάρχει ένα πολύ μικρό διάκενο μεταξύ αυτών και του περιβλήματος. Η κατασκευή τους μπορεί να γίνει από χυτοσίδηρο, χάλυβα ή χαλκό, ανάλογα με το υλικό που θέλουμε να ρέει μέσα από αυτό. Στις εφαρμογές τους μπορεί να περιλαμβάνει τις μετρήσεις σε υλικά με υψηλό ιξώδες. Ακόμα, οι σωληνώσεις δεν απαιτείται να είναι σε ευθεία και στα συστήματα αυτά υπάρχει υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Τέλος, η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει μόνο για τη μέτρηση υγρών και τα υλικά κατασκευής του μπορούν να διαβρωθούν εύκολα [5][13][16].

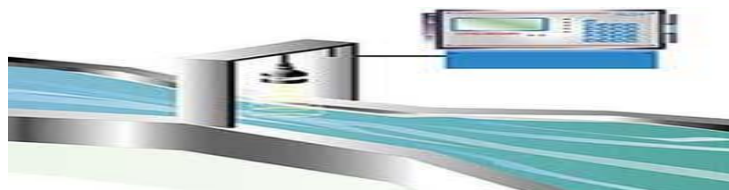


**Εικόνα 3.3.6** Ελικοειδής ρότορας μέτρησης. [16]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

### 3.4 Ανοιχτού τύπου μετρητές

Τα συστήματα αυτά αναφέρονται σε αγωγούς οι οποίοι είναι ανοικτού τύπου. Δηλαδή η μία επιφάνεια έρχεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον. Για την μέτρηση σε αυτόν τον τομέα, χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες όπως είναι οι υπερηχητικοί, τα ραντάρ όπου γίνεται η εύρεση της επιφάνειας των υγρών και ο υπολογισμός της στάθμης. Οι περισσότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη ροή μέτρησης σε σωλήνες δεν ισχύουν για ροή σε ανοικτούς αγωγούς. Οι ειδικές συσκευές όπως ο υδαταγωγός Parshall απαιτείται. Ο υδαταγωγός Parshall είναι ένα από τα πιο ευρέως συστήματα που χρησιμοποιούνται σε ανοικτούς αγωγούς για τη μόνιμη παρακολούθηση της ροής. Αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ογκομετρικής ταχύτητας ροής σε βιομηχανικές απορρίψεις, δημοτικών αποχετευτικών αγωγών και των ροών εισροής-εκροής σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Ακόμα, επιταχύνει τη ροή μέσα από μια συρρίκνωση των δύο παράλληλων πλευρικών τοιχωμάτων του και με την εναλλαγή του βάθους του σε χαμηλότερο. Ορισμένα κράτη καθορίζουν τη χρήση των Parshall από το νόμο, για ορισμένες περιπτώσεις. Κοινά παραδείγματα ανοικτών καναλιών είναι τα τούνελ, οι υπόνομοι, οι μερικώς γεμάτοι σωλήνες, τα κανάλια, τα ρυάκια και τα ποτάμια. Οι μέθοδοι βάθους που σχετίζονται με τη μέτρηση της ροής σε ανοικτούς αγωγούς λειτουργούν με την αρχή ότι ο στιγμιαίος ρυθμός ροής μπορεί να προσδιοριστεί από τις μετρήσεις του ρέοντος ρεύματος. Είναι συνάρτηση της ταχύτητας της ροής με τον τύπο και το σχήμα της συσκευής μέτρησης. Τα σχήματα μπορεί να είναι ορθογώνια, τραπεζοειδές ή τριγωνικά. Τα πλεονεκτήματα σε αυτά είναι ότι είναι εύκολο να κατασκευαστούν, ο προσδιορισμός της ροής γίνεται με απλές εξισώσεις και ο υδαταγωγός Parshall είναι ακριβείς σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Στα μειονεκτήματα είναι ότι οι συσκευές πρέπει να εγκατασταθούν στο ρεύμα σε μια θέση όπου δεν υπάρχει διαταραχή της σταθερής ροής από ανοδικά ή καθοδικά μπλοκαρίσματα. Και τέλος, υπάρχουν ειδικές σωληνώσεις για συγκεκριμένα μεγέθη [5][24].



**Εικόνα 3.4.1** Μέτρηση ανοικτού τύπου. [57]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

### 3.5 Ροόμετρα μάζας

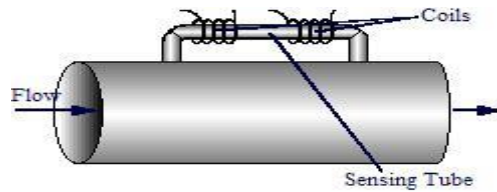
Τα ροόμετρα μάζας, μετρούν την ροή με έναν από τους δύο τρόπους συμπερασματικά ή απευθείας. Υπάρχουν δύο είδη απευθείας μέτρησης τα θερμικά ροόμετρα και τα συστήματα Coriolis. Η συνεχιζόμενη ανάγκη για πιο ακριβείς μετρήσεις της ροής σε διεργασίες συνδέονται με τη μάζα, όπως χημικές αντιδράσεις, μεταφορά θερμότητας, και έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων.

Τα θερμικά ροόμετρα παραδοσιακά έχουν χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις αερίων αλλά έχουν αναπτυχθεί και για την μέτρηση υγρών τα τελευταία χρόνια. Αυτά επίσης μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από την πυκνότητα, την πίεση, και το ιξώδες. Οι θερμικοί μετρητές χρησιμοποιούν τη μεταφορά θερμότητας για τη μέτρηση της παροχής. Η λειτουργία τους βασίζεται στην τάση των μορίων να απορροφούν την θερμότητα. Καθώς τα μόρια του αερίου ρέουν διαμέσου του μετρητή, η θερμότητα μεταφέρεται από το μετρητή στο αέριο. Όσο περισσότερο αέριο ρέει τόσο περισσότερη θερμότητα χάνεται από τον μετρητή. Από αυτήν την διαδικασία η θερμότητα είναι ευθέως ανάλογη με τον ρυθμό ροής μάζας. Ο πιο κοινός τύπος θερμικών ροόμετρων είναι ο θερμαινόμενος σωλήνας. Ένα μέρος της ροής του αερίου εκτρέπεται μέσω ενός σωλήνα ανιχνεύσεως. Ο σωλήνας έχει δύο αισθητήρες οι οποίοι διοχετεύουν τη θερμότητα στο αέριο μέσω ενός σύρματος τυλιγμένο γύρω από τον σωλήνα. Όταν υφίσταται ροή, τα μόρια του αερίου μεταφέρουν την θερμότητα από την αρχή του πηνίου στο τέρμα του. Έτσι, λιγότερη θερμότητα μεταφέρεται στο δεύτερο πηνίο από ότι στο πρώτο, και μία θερμοκρασία παράγεται. Ο αισθητήρας δεν έρχεται ποτέ σε άμεση επαφή με το υγρό. Το πακέτο των ηλεκτρονικών περιλαμβάνει το αναλυτή ροής, τον αντισταθμιστή θερμοκρασίας, και ένα βελτιωμένο σήμα που παρέχει μια γραμμική έξοδο ευθέως ανάλογη προς τη ροή μάζας. Τα θερμικά ροόμετρα μάζας χρησιμοποιούνται πιο συχνά για τον έλεγχο του λέβητα, του πεπιεσμένου αέρα, αλλά έχουν επίσης εφαρμογές στις βιομηχανίες φαρμάκων, τροφίμων, ποτών και για τη μέτρηση της ροής του αερίου του αζώτου. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι η μέτρηση μένει ανεπηρέαστη από τη θερμοκρασία, την πίεση, την πυκνότητα και το ιξώδες. Μπορεί να βαθμονομηθεί για να μετρήσει μια ποικιλία αερίων σε μία ευρεία περιοχή τιμών παροχής. Ακόμα, είναι εύκολο να εγκατασταθεί και να διατηρηθεί, χωρίς κινούμενα μέρη. Υπάρχει



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

εξαιρετική ευαισθησία χαμηλής ροής και δεν περιορίζουν τη ροή με οποιονδήποτε τρόπο. Στα μειονεκτήματά τους είναι ότι υπάρχει εξαιρετική ευαισθησία στα στερεά σωματίδια, τα αέρια θα πρέπει να είναι πολύ καθαρά για τις μετρήσεις. Επίσης, είναι πολύ ακριβά τα ροόμετρα που απαιτούνται για την μέτρηση ροής των υγρών [18].

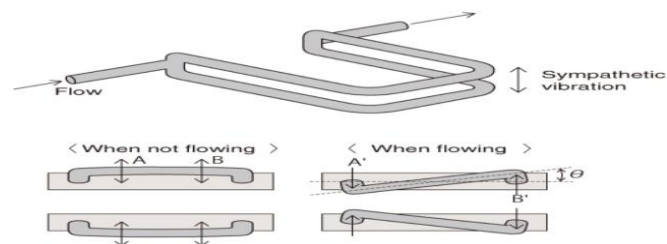


**Εικόνα 3.5.1** Θερμικό ροόμετρο μάζας. [18]

Στα συστήματα *Coriolis* το υγρό ρέει διαμέσου ενός δονούμενου σχήματος U σωλήνα ή μέσω ενός ευθύγραμμου σωλήνα. Τα ροόμετρα *Coriolis* μετρούν τη μάζα απευθείας, σε αντίθεση με την ογκομετρική μέτρηση. Αυτοί οι μετρητές ροής λειτουργούν με βάση την αρχή του *Coriolis*. Στη φυσική, η δύναμη *Coriolis* είναι μια αδρανειακή δύναμη που δρα σε αντικείμενα που βρίσκονται σε κίνηση σε σχέση με ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς. Σε ένα πλαίσιο αναφοράς με δεξιόστροφη περιστροφή, η δύναμη δρα στα αριστερά της κίνησης του αντικειμένου. Ενώ σε ένα με αριστερόστροφη περιστροφή, η δύναμη ενεργεί προς τα δεξιά. Αν και αναγνωρίζεται στο παρελθόν από άλλους, η μαθηματική έκφραση για τη δύναμη *Coriolis* εμφανίστηκε το 1835 σε χαρτί από τον Γάλλο επιστήμονα Gaspard-Gustave de *Coriolis*, σε σχέση με τη θεωρία των υδραυλικών τροχών. Στις αρχές του 20ου αιώνα, ο όρος δύναμη *Coriolis* άρχισε να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη μετεωρολογία. Η εκτροπή ενός αντικειμένου λόγω της δύναμης *Coriolis* ονομάζεται φαινόμενο *Coriolis*. Ο νόμος του Νεύτωνα έχει περιγράψει την κίνηση ενός αντικειμένου σε ένα αδρανειακό πλαίσιο αναφοράς. Οι νόμοι του Νεύτωνα σε ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς, συνδυάζονται με τη δύναμη *Coriolis* και τη φυγόκεντρο δύναμη. Και οι δύο δυνάμεις είναι ανάλογες προς τη μάζα του αντικειμένου. Εκμεταλλευόμενοι αυτό το φαινόμενο, διάφοροι ερευνητές–επιστήμονες δημιούργησαν το συγκεκριμένο ροόμετρο μάζας για μεγαλύτερη ακρίβεια. Δηλαδή, γίνεται η μέτρηση της παροχής μάζας σε συνάρτηση με την ταχύτητα ροής. Συνήθως αποτελούνται από ένα σωλήνα ροής σχήματος U εφοδιασμένο με ένα μαγνητικό οδηγό και δυο ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες. Ο

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τεχνολογίες μέτρησης ροής

οδηγός, που βρίσκεται στη στροφή του σωλήνα, προκαλεί να δονείται ελαφρώς (0,25 εκατοστά) και ολοκληρώνοντας ένα πλήρη κύκλο περίπου 80 φορές / sec. Οι αισθητήρες στην είσοδο και την έξοδο είναι πλήρως συγχρονισμένοι χωρίς την παρουσία υγρού. Όταν εισέρχεται το υγρό στον σωλήνα αναγκάζεται να αναλάβει την κίνηση στα αριστερά ή στα δεξιά του σωλήνα, ανάλογα με την θέση που τον βρίσκει λόγω της δόνησης, η οποία κίνηση είναι αντίθετη της αρχικής. Όταν ο σωλήνας κινείται κατά την διάρκεια ενός δεύτερου κύκλου δόνησης, το υγρό που ρέει μέσα στον μετρητή αντιστέκεται αναγκάζοντας την εναλλαγή της κίνησης στον σωλήνα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Με τους κατάλληλους αισθητήρες, δημιουργείται ένας διαφορετικός χρονισμός στην είσοδο σε σχέση με την έξοδο. Αυτή η διαφορά φάσης, μας δίνει την ταχύτητα ροής η οποία είναι ευθέως ανάλογη προς το ρυθμό ροής μάζας του υγρού, που ρέει διαμέσου του σωλήνα. Ο ευθύγραμμος σωλήνας Coriolis είναι ευκολότερος στην εγκατάσταση με τις υπάρχουσες σωληνώσεις. Λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως με τους σωλήνες U. Ο μαγνητικός οδηγός αναγκάζει τον σωλήνα να ταλαντώνεται, και το υγρό που ρέει μέσα από τον σωλήνα ωθεί την αντίθετη κίνηση του σωλήνα, με αποτέλεσμα να στρεβλώνει. Στα συστήματα αυτά γίνεται παράλληλα μέτρηση της πυκνότητας του υγρού. Ακόμα και της θερμοκρασίας του υγρού με τη χρήση ενός ακόμα αισθητήρα. Επιπροσθέτως είναι σε θέση να μετρήσει και την ποσότητα του αέρα μέσα στο υγρό διεργασίας. Μπορούν να κατασκευαστούν από μία ποικιλία υλικών. Το πιο σημαντικό στα ροόμετρα Coriolis είναι ότι η μέτρηση έχει ακρίβεια περίπου 0,05% και μένει ανεπηρέαστη από τις συνθήκες ροής λόγω θερμοκρασίας, πίεσης, πυκνότητας, ιξώδες και από το καθεστώς της ροής. Τέλος, οι ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να επηρεάσουν την ταλάντωση του σωλήνα. Και τα συστήματα αυτά δεν μπορούν να χειριστούν υψηλή περιεκτικότητα με στερεά. Είναι οι πιο ακριβοί από τους περισσότερους μετρητές ροής. Ακόμα, είναι ευαίσθητα σε κραδασμούς του συστήματος [5][7][12][18].



**Εικόνα 3.5.2** Ροόμετρο μάζας Coriolis. [58]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Συμπεράσματα

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Συμπεράσματα

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν όλοι οι τρόποι υπολογισμού στάθμης και όγκου αλλά για να επιλέξουμε το καταλληλότερο σύστημα πρέπει να λάβουμε υπόψη τα χαρακτηριστικά όπου θα το εφαρμόσουμε. Τα χαρακτηριστικά αυτής της εφαρμογής είναι πολύπλοκα.

Αρχικά, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι το υγρό διεργασίας. Στη ναυτιλία χρησιμοποιείται για καύσιμο είτε το ναυτιλιακό πετρέλαιο (Diesel) είτε το βαρύ πετρέλαιο (Heavy fuel). Κάποιες από τις βασικές ιδιότητες αυτών των καυσίμων είναι η πυκνότητά του, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα τη θερμοκρασία με συνέπεια την αλλαγή του όγκου του. Ακόμα, υπάρχει η παρουσία πίεσης αλλά και το ιξώδες.

Με δεδομένες τις προηγούμενες συνθήκες θα μπορούσαμε να αποκλείσουμε τεχνολογίες συστημάτων για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Έτσι, για την συνεχή μέτρηση στάθμης σε δεξαμενή καυσίμου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις εξής αισθητήριες διατάξεις: με υπερήχους, με ραντάρ, με χωρητικότητας, με μαγνητοσυστολική βέργα και με διαφορικής πίεσης. Όσον αφορά τις μεθόδους ροής, οι προτεινόμενες τεχνολογίες ροομέτρων είναι οι εξής: με σωλήνα Venturi, με ηλεκτρομαγνητικά, με υπερήχων και τέλος με ροόμετρα μάζας Coriolis.

Εφόσον συνυπολογίσουμε και την παράμετρο της ακρίβειας στα προαναφερθέντα συστήματα τότε αυτό που παρατηρούμε είναι ότι όλα έχουν μια απόκλιση ακρίβειας από 1% και πάνω, εκτός του συστήματος μάζας Coriolis [11]. Τα συστήματα Coriolis έχουν ακρίβεια που φθάνει το 0,05% , τα οποία μετρούν εκτός της μάζας και την πυκνότητα, την θερμοκρασία, τον όγκο, την ολική ροή αλλά και το ιξώδες. Ακόμα, οι πωλήσεις των συστημάτων μάζας Coriolis αυξάνονται 12% χρονιά με χρονιά [60]. Δηλαδή μας παρέχει με πολύ καλή ακρίβεια και αξιοπιστία τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι λιμενικές αρχές της Σιγκαπούρης από 01/01/2017 το έθεσαν υποχρεωτικό στην διαδικασία της πετρέλευσης [25]. Κάτι το οποίο μπορεί να γίνει μελλοντικά και από άλλες χώρες. Ωστόσο αν και στην τιμή του δεν είναι ελκυστικό, σίγουρα σε ένα βάθος χρόνου αποσβένει το κόστος του και το δίνει πολλαπλάσιο πίσω.

## 5. Βιβλιογραφία

[1] Καλοβρέκτης, Κ – Κατέβας, Ν. (2012). *Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου*. 2η Έκδοση . Εκδόσεις Τζιόλα.

[2] Καλοβρέκτης, Κ. (2007). *LabView για μηχανικούς: Προγραμματισμός συστημάτων DAQ*. 2η έκδοση. - Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

[3] Sriram balu - Lamar Stonecypher (2011). Shipboard Level Sensors-Types and Theory. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/123689-shipboard-level-sensors-types-and-theory/> (10/05/2011)

[4] S. Bharadwaj Reddy (2016). Level Measurement/Contact and non-contact level sensors. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο :  
<http://instrumentationtools.com/contact-non-contact-level-sensors/> (09/08/2016)

[5] Flow meter types and their principles. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.maxiflo.co.kr/english/technology/flowmetertypes.htm> (28/11/2016)

[6] Kevin Hambrice, Henry Hopper. (2014). Leak/Level - A Dozen Ways to Measure Fluid Level and How They Work. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.sensorsmag.com/sensors/leak-level/a-dozen-ways-measure-fluid-level-and-how-they-work-1067> (21/02/2017)

[7] Flow Measurement. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
[http://automationwiki.com/index.php/Flow\\_Measurement](http://automationwiki.com/index.php/Flow_Measurement) (21/02/2017)

[8] Reynolds number. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds\\_number](https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds_number) (21/02/2017)

[9] Flow Measurement. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.pc-education.mcmaster.ca/Instrumentation/flow.htm> (21/02/2017)

- [10] Liquid Flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.omega.com/techref/flowcontrol.html> (21/02/2017)
- [11] Flowmeter Selection Guide. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.omega.com/techref/table1.html> (21/02/2017)
- [12] Mass Flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
[http://automationwiki.com/index.php/Mass\\_Flowmeters](http://automationwiki.com/index.php/Mass_Flowmeters) (21/02/2017)
- [13] Positive Displacement Flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
[http://automationwiki.com/index.php/Positive\\_Displacement\\_Flowmeters](http://automationwiki.com/index.php/Positive_Displacement_Flowmeters)  
(21/02/2017)
- [14] Positive displacement meter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Positive\\_displacement\\_meter#Reciprocating\\_or\\_oscillating\\_piston](https://en.wikipedia.org/wiki/Positive_displacement_meter#Reciprocating_or_oscillating_piston) (21/01/2017)
- [15] Flowmeter types and their principles. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.maxiflo.co.kr/english/technology/flowmetertypes.htm> (21/02/2017)
- [16] What is a Flow Meter? : Positive Displacement Flow Meters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://www.maxmachinery.com/what-flow-meter-positive-displacement-flow-meters> (21/02/2017)
- [17] Positive displacement flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Flowmeters/PositiveDisplacement/PositiveDisplacement.html> (21/02/2017)
- [18] Mass flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Flowmeters/Mass/Mass.html>  
(21/02/2017)

- [19] Open channel flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Flowmeters/OpenChannel/OpenChannel.html> (21/02/2017)
- [20] Μετρητές ροής. (2010). Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://roometra.blogspot.gr/> (21/02/2017)
- [21] Kármán vortex street. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%A1rm%C3%A1n\\_vortex\\_street](https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%A1rm%C3%A1n_vortex_street) (21/02/2017)
- [22] Coriolis force. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis\\_force](https://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis_force) (21/02/2017)
- [23] Venturi effect. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Venturi\\_effect#Venturi\\_tubes](https://en.wikipedia.org/wiki/Venturi_effect#Venturi_tubes) (21/02/2017)
- [24] Parshall flume. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Parshall\\_flume](https://en.wikipedia.org/wiki/Parshall_flume) (21/02/2017)
- [25] Singapore Mass Flow Meters Will Change Everything. (2016). Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://shipandbunker.com/news/apac/721107-fratelli-singapore-mass-flow-meters-will-change-everything> (21/02/2017)
- [26] Marine Fuel Flow Meter, Consumption Systems & Measurements. (n.d.). Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.insatechmarine.com/solutions/engine-room/fuel-consumption-system> (21/02/2017)
- [27] 任建新, 王鑫鹏, 边琦, 张鹏 (2013). Coriolis flowmeter signal tracking method based on improved adaptive algorithm. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://www.google.com/patents/CN103162755A?cl=en> (21/02/2017)

- [28] Κωνσταντίνου, Κ. (2015). *Συστήματα μέτρησης της μάζας κατά την πετρέλευση*. Νέα Μηχανιώνα: Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού
- [29] Κιοσσές, Χ. (2014). *Μετρητές παροχής σε δίκτυα αερίου*. Καβάλα: ΤΕΙ Καβάλας, Μηχανολογία
- [30] Ultrasonic Level Measurement. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://automationwiki.com/index.php/Ultrasonic\\_Level\\_Measurement](http://automationwiki.com/index.php/Ultrasonic_Level_Measurement) (21/02/2017)
- [31] Mechanical Flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-08-MECH.html#mech\\_2](http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-08-MECH.html#mech_2) (23/02/2017)
- [32] Differential pressure flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Flowmeters/DifferentialPressure/DifferentialPressure.html> (23/02/2017)
- [33] Radiation-Based Level Gages. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-14-RAD.html> (23/02/2017)
- [34] Floats & Displacers. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://automationwiki.com/index.php/Floats\\_%26\\_Displacers](http://automationwiki.com/index.php/Floats_%26_Displacers) (23/02/2017)
- [35] Laser Level Measurement. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://automationwiki.com/index.php/Laser\\_Level\\_Measurement](http://automationwiki.com/index.php/Laser_Level_Measurement) (23/02/2017)
- [36] Μιαούρας, Α. (2016). *Εφαρμογές αισθητήρων ροής και ιξώδους στη ναυτιλία*. Νέα Μηχανιώνα: Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού

- [37] Guided Wave Radar. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.emerson.com/catalog/en-us/rosemount-5300-gwr-transmitter> (23/02/2017)
- [38] Flow Meter Types Based on Measurement Techniques. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.piping-engineering.com/flow-meter-measurement-techniques-types.html> (23/02/2017)
- [39] Principles of Flowmetering. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/flowmetering/principles-of-flowmetering.aspx> (23/02/2017)
- [40] A venturi meter is used to measure the flow speed. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/venturi-meter-used-measure-flow-speed-fluid-pipe-meter-connected-two-sections-pipe-fig-14--q1621881> (23/02/2017)
- [41] DPF-609 Venturi. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.leahmeter.com.sg/product/dpf-609-venturi/> (23/02/2017)
- [42] Flow through a Flow Nozzle. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/aerothermal\\_dvd\\_only/aero/fprops/cvanalysis/node44.html](http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/aerothermal_dvd_only/aero/fprops/cvanalysis/node44.html) (23/02/2017)
- [43] Elbow flowmeter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.meter-industry.com/product.asp?did=2&id=322> (23/02/2017)
- [44] Target meters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/cm310/flow\\_meters/target\\_meters.html](http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/cm310/flow_meters/target_meters.html) (23/02/2017)



- [45] Target Type Flow Meter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://jhdyb.en.ec21.com/Target\\_Type\\_Flow\\_Meter--4686355\\_4687565.html](http://jhdyb.en.ec21.com/Target_Type_Flow_Meter--4686355_4687565.html) (23/02/2017)
- [46] Turbine Flow Meters Information. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.globalspec.com/learnmore/sensors\\_transducers\\_detectors/flow\\_sensing/turbine\\_flow\\_meters](http://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/flow_sensing/turbine_flow_meters) (23/02/2017)
- [47] Liquid flow meter / turbine / with counting function / in-line. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.directindustry.com/prod/bopp-reuther-messtechnik-gmbh/product-9060-470420.html> (23/02/2017)
- [48] Insertion Vortex Flow Meters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.aalborg.com/index.php/main\\_page/product\\_overview/id\\_product\\_overview/71](http://www.aalborg.com/index.php/main_page/product_overview/id_product_overview/71) (23/02/2017)
- [49] digitalYEWFLOW Vortex Flow Meter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://www.yokogawa.com/us/solutions/products-platforms/field-instruments/flow-meters/vortex-flow-meters/digitalyewflo-dy/> (23/02/2017)
- [50] Electromagnetic Flow Meters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.precisioncontrols.net/FloMotionEFM.htm> (23/02/2017)
- [51] Electromagnetic flow meters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.china-ogpe.com/buyingguide\\_content/Electromagnetic\\_flowmeter\\_1148.html](http://www.china-ogpe.com/buyingguide_content/Electromagnetic_flowmeter_1148.html) (23/02/2017)
- [52] Ultrasonic Flowmeters Move Into the Mainstream. (2004). Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.controlglobal.com/articles/2004/388/> (23/02/2017)
- [53] Ultrasonic Flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.china-ogpe.com/buyingguide\\_content/Ultrasonic\\_flowmeter\\_1149.html](http://www.china-ogpe.com/buyingguide_content/Ultrasonic_flowmeter_1149.html) (23/02/2017)

[54] Oval Gear Meters - GM Series from Great Plains Industries, Inc. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.metexccorporation.com/GPI/GM\\_series\\_oval\\_gear\\_meters.html](http://www.metexccorporation.com/GPI/GM_series_oval_gear_meters.html) (23/02/2017)

[55] Nutating Disc Flowmeter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.badgermeteruk.com/product/nutating-disk-flowmeter/> (23/02/2017)

[56] Rotary vane wheel liquid sealed water meter. (2010). Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.bombayharbor.com/Product/29349/Rotary\\_Vane\\_Wheel\\_Liquid\\_Sealed\\_Water\\_Meter.html](http://www.bombayharbor.com/Product/29349/Rotary_Vane_Wheel_Liquid_Sealed_Water_Meter.html) (23/02/2017)

[57] Open Channel Flow Meter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.exportersindia.com/charuninstruments/products.htm> (23/02/2017)

[58] Coriolis Flow Meter. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.keyence.com/ss/products/process/flowknowledge/types/coriolis.jsp> (23/02/2017)

[59] Mass Flowmeters. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: [http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-10-MASS.html#mass\\_1](http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-10-MASS.html#mass_1) (23/02/2017)

[60] Jerry Stevens. (2010). Are Coriolis flowmeters a universal technology? Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.plantengineering.com/single-article/are-coriolis-flowmeters-a-universal-technology/d508c351a7992f3f2c4ae1d9b96ee3a1.html> (23/02/2017)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### 6. Υλοποίηση συστήματος Coriolis με Labview

#### Υπολογισμός δύναμης Coriolis

Αυτός ο υπολογισμός, υπολογίζει τη δύναμη Coriolis, όπου έχει δύο τιμές εισόδου:

Γεωγραφικό πλάτος ( $\Phi$ )

Ταχύτητα ανέμου (U)

Ο αλγόριθμος για τον υπολογισμό της δύναμης Coriolis είναι [59]:

$$f_c = 2 \cdot \Omega \cdot \sin(\Phi),$$

$$\text{where: } 2 \cdot \Omega = 1.458 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$\frac{F_{yCF}}{m} = -f_c \cdot U$$

#### Τιμές εισόδου:

Γεωγραφικό πλάτος (σε μοίρες): 36.02

Ταχύτητα ανέμου (U, σε μέτρα / δευτερόλεπτο): 10

#### Αποτελέσματα:

Coriolis παράμετρος (σε 1 / δευτερόλεπτο): -0.000145

Δύναμη (μέτρα / δευτερόλεπτο<sup>2</sup>): -0.001449

Ένα σωματίδιο (dm) ταξιδεύει με ταχύτητα (V) μέσα σε ένα σωλήνα (T). Ο σωλήνας περιστρέφεται γύρω από ένα σταθερό σημείο (P), και το σωματίδιο είναι σε απόσταση μίας ακτίνας (r) από το σταθερό σημείο. Το σωματίδιο κινείται με γωνιακή ταχύτητα ( $\omega$ ) κάτω από δύο συνιστώσες της δύναμης, μία κεντρομόλος δύναμη κατευθύνεται προς P και μια Coriolis δύναμη που ενεργεί κάθετα προς  $a_r$  :

$$a_r (\text{κεντρομόλος}) = \omega^2 r$$

$$a_t (\text{Coriolis}) = 2\omega v$$

Προκειμένου να μεταδώσει την δύναμη Coriolis ( $a_i$ ) στο υγρό σωματίδιο, μια δύναμη στο ( $dm$ ) πρέπει να παράγεται από το σωλήνα. Το σωματίδιο του υγρού αντιδρά σε αυτή τη δύναμη με μια ίση και αντίθετη δύναμη Coriolis [59]:

$$F_c = a^i(dm) = 2\omega v (dm)$$

Στη συνέχεια, αν το ρευστό διεργασίας έχει πυκνότητα  $D$  και ρέει με σταθερή ταχύτητα μέσα σε ένα περιστρεφόμενο σωλήνα των διατομής της περιοχής  $A$ , ένα τμήμα του σωλήνα του μήκους  $x$  θα βιώσει μια δύναμη Coriolis μεγέθους [59]:

$$F_c = 2\omega v D A x$$

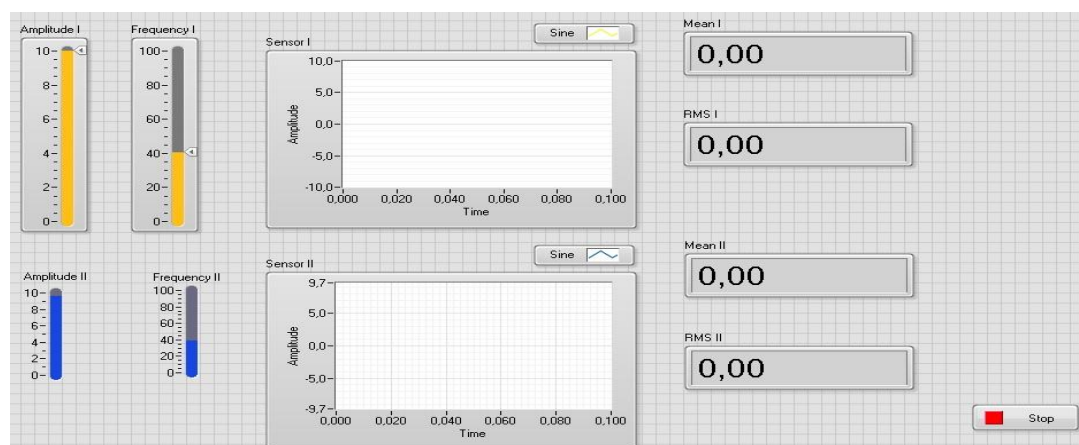
Επειδή η μάζα παροχής είναι  $dm = DVA$  και η δύναμη Coriolis  $F_c = 2W (dm) x$  έτσι προκύπτει [59]:

$$\text{Mass Flow} = F_c / (2\omega x)$$

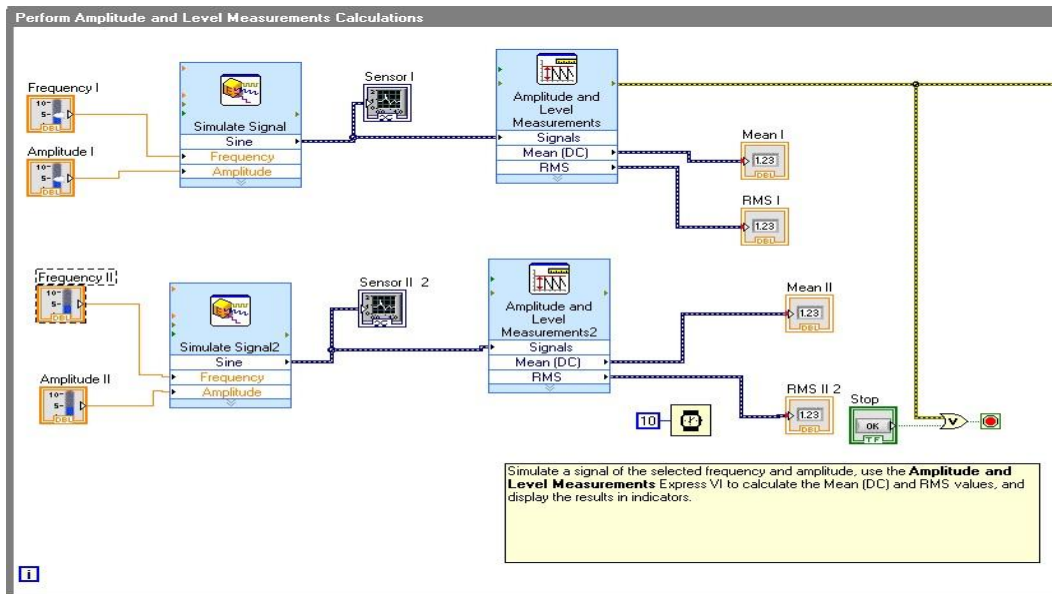
Αυτή είναι η μέτρηση της δύναμης Coriolis που ασκείται από το στο ρέον ρευστό περιστρεφόμενο σωλήνα που μπορεί να μας παρέχει μια ένδειξη της μάζας παροχής. Τα ροόμετρα Coriolis μπορούν να μετρήσουν τη ροή μέσω του σωλήνα είτε προς τα εμπρός είτε στην αντίστροφη κατεύθυνση [59].

## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ LABVIEW

### 1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΣΗΣ ΛΟΓΩ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ Coriolis

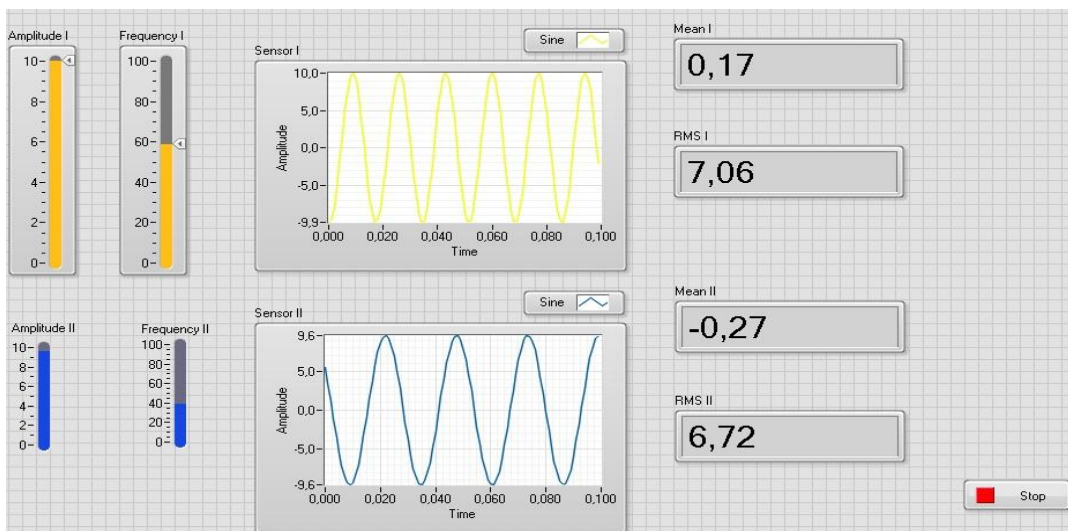


Εικόνα 6.1 Σχεδιασμός στην εισαγωγή των σημάτων των δύο αισθητήρων. (1)



Εικόνα 6.2 Σχεδιασμός στην εισαγωγή των σημάτων των δύο αισθητήρων. (2)

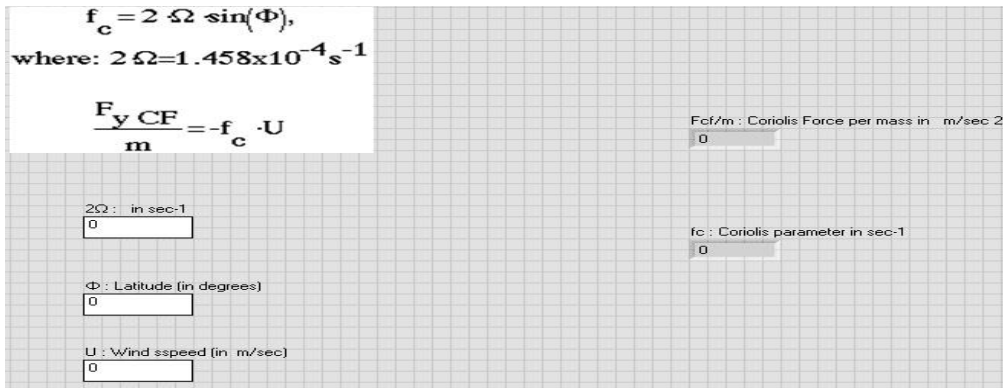
### Παράδειγμα εκτέλεσης του προγράμματος



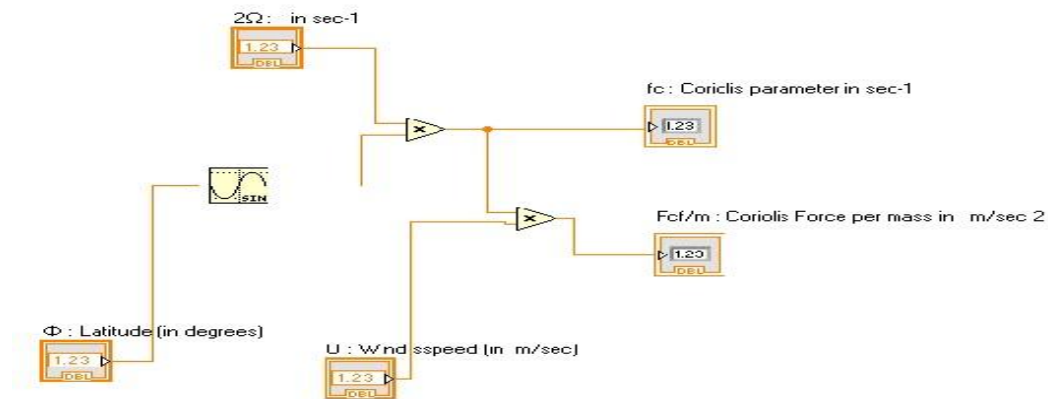
Εικόνα 6.3 Η διαφορά φάσης των δύο σημάτων.

2.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΥΝΑΜΗΣ Coriolis**

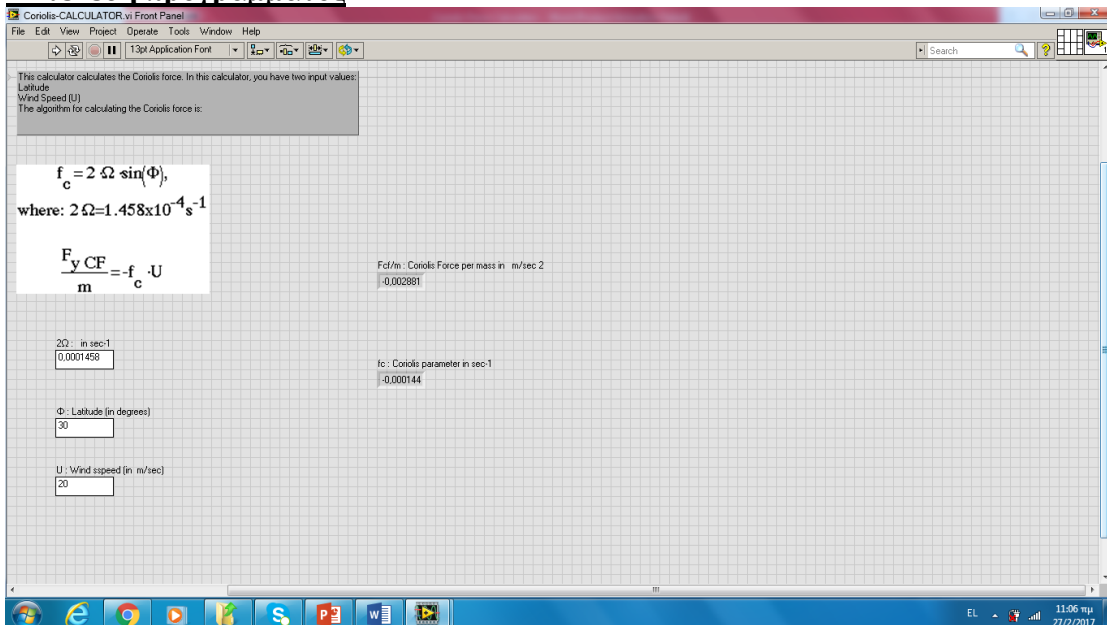


Εικόνα 6.4 Σχεδίαση υπολογισμού της δύναμης Coriolis. (1)

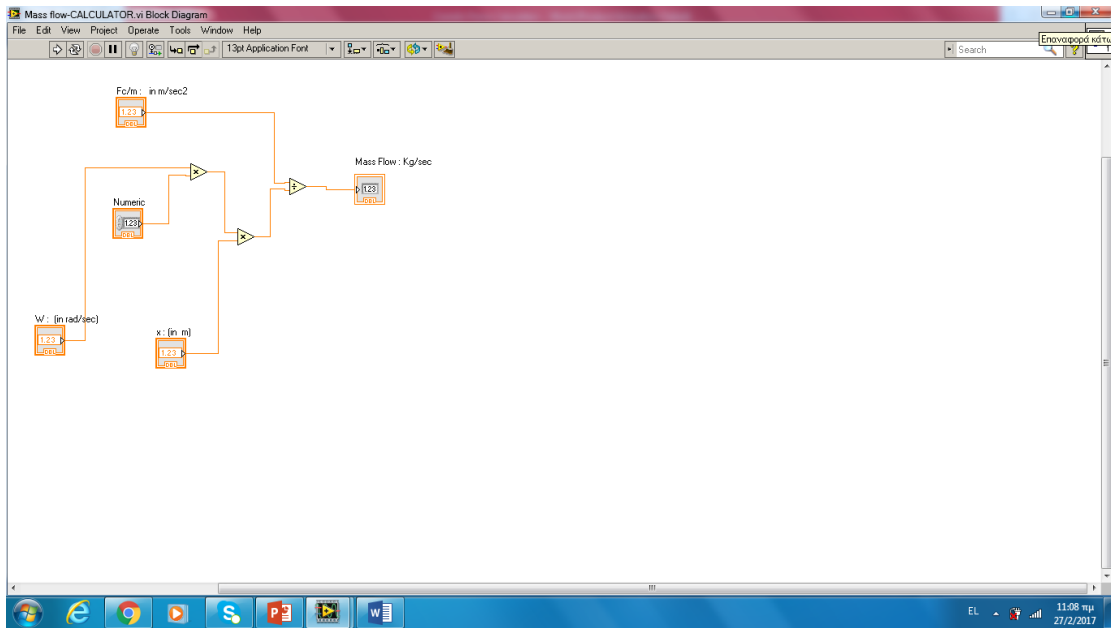


Εικόνα 6.5 Σχεδίαση υπολογισμού της δύναμης Coriolis. (2)

**Εκτέλεση προγράμματος**



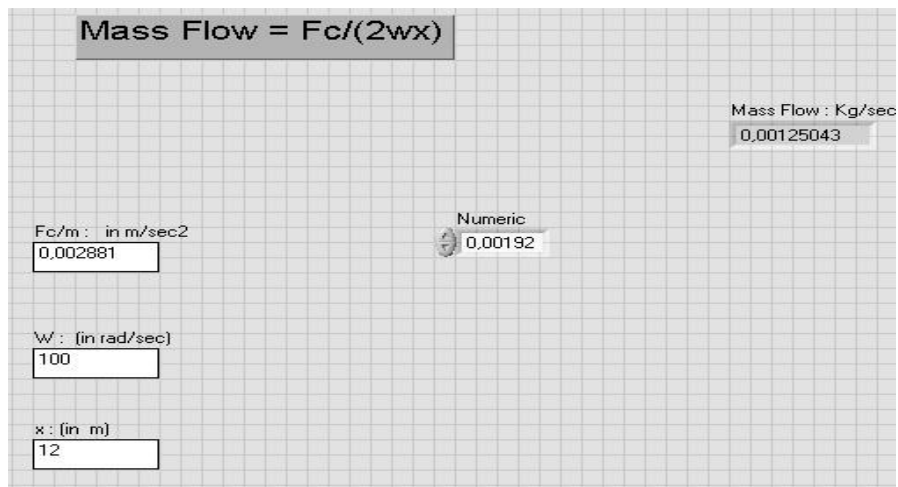
Εικόνα 6.6 Πραγματοποίηση του προγράμματος.



Εικόνα 6.7 Σχεδιασμός του προγράμματος.

3.

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΑΖΑ ΡΟΗΣ



Εικόνα 6.8 Υπολογισμός μάζας.

## ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ:

- Ρυθμός όγκου (Volume rate)
- Εκτιμώμενος χρόνος λήξης (Estimated end time)
- Υπολειπόμενη ποσότητα (Remaining Amount)

The image shows a software interface divided into two main sections. The left section is a calculator for Volume Flow, and the right section is a form for entering bunker barge information.

**Calculator Section:**

This calculator calculates the Volume Flow. In this calculator, you have two input values:  
Mass flow in tn/h  
Density in kg/m<sup>3</sup>

The algorithm for calculating the Volume Flow is:

$$\text{Volume Flow} = \text{Mass flow} / \text{Density}$$

Inputs and outputs:

- Mass flow : (in tn/h) [0]
- Density : (in kg/m<sup>3</sup>) [0]
- Fuel Quantity : (in tn) [0]
- Correction factor [0]
- Time in days [0]
- Volume Flow : m<sup>3</sup>/h [0]
- Remaining Amount : tn [0]
- Estimated end Time: days [0]

**Form Section: New operation**

Enter Bunker Barge Information

Supplier: [ ]

Ship Name: [Ship]

IMO No.: [ ]

Port Name: [Port]

BDN No.: [ ]

Product Name: [ ]

Density @ 15 DegC: [900,0] kg/m<sup>3</sup>

Sulphur Content: [ ]

Fuel Quantity: [700] t

Εικόνα 6.9 Υπολογισμός όγκου.