

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΛΟΙΩΝ**

ΧΑΤΖΗΩΑΝΝΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2017**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΧΑΤΖΗΩΑΝΝΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ
Α.Μ4478**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Η ναυσιπλοΐα είναι ένας κλάδος που έχει αναπτυχθεί από αρχαιοτάτων χρόνων. Υλοποιεί πολλούς σκοπούς όπως για παράδειγμα το εμπόριο, την μεταφορά ανθρώπων, την αναψυχή, την πολεμική κυριαρχία. Για αυτό τον λόγο έχουν αναπτυχθεί διαφόρων τύπων και μεγεθών πλοία, το κάθε ένα με τα δικά του χαρακτηριστικά. Όλα τα πλοία όμως έχουν δεξαμενές. Δεξαμενές οι οποίες μπορούν να φέρουν νερό, πετρέλαιο, λάδια, φορτία υγρά και διάφορα άλλα. Δεν φέρουν όλα τα πλοία ίδιες δεξαμενές ή ίδιου μεγέθους όμως έχουν ένα κοινό. Σε κάθε περίπτωση, και ανεξαρτήτως του λόγου που έχουν τις δεξαμενές, θέλουν να ξέρουν τι πληρότητα έχουν και τις συνθήκες στις οποίες είναι αποθηκευμένα τα υγρά (θερμοκρασία, πίεση κλπ). Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους αισθητήρες.

Στο παραπάνω πλαίσιο εκπονείται και η παρούσα πτυχιακή εργασία η οποία στοχεύει στην παρουσίαση γενικά των αισθητήρων και ακολούθως γίνεται εξειδίκευση για τους αισθητήρες που υπάρχουν μέσα στις δεξαμενές των πλοίων και μετρούν την πληρότητα, την θερμοκρασία και την πίεση. Προς τούτο δημιουργούνται τέσσερα ανεξάρτητα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναφορά των αισθητήρων και παρουσιάζονται τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας και ειδικότερα αυτοί που απευθύνονται σε μετρήσεις εντός δεξαμενών πλοίων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αισθητήρων μέτρησης της πίεσης. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται οι αισθητήρες μέτρησης της στάθμης.

Abstract

Shipping was grown since ancient times. Ships are used for many purposes such as trade, transportation or military actions. For these reasons have developed various types of ships and in different sizes, each with his own characteristics. But all these ships have tanks. Tanks which can store water, fuel, oil, liquid load (like olive oil or wine), ballast. In any case, regardless of the reason they have tanks they want to know the condition inside these tanks (temperature, pressure, fullness etc). This is achieved with a variety of sensors positioned inside the tanks.

The current thesis aims to analyze the tank sensors and their use in shipping. Focuses in temperature, pressure and level sensors. So four different chapters required. In the first chapter presents the main characteristics of the sensors. The second chapter focuses in temperature sensors and their use in ship tanks. Third chapter aim to present pressure sensors and their use in ship tanks. Finally, the fourth chapter deals with level sensor and their use in ship tanks.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract.....	4
Κατάλογος εικόνων	7
1 Κεφάλαιο 1° "Γενικά χαρακτηριστικά αισθητήρων"	8
1.1 Ορισμός αισθητήρων	8
1.2 Ιστορική αναφορά.....	8
1.3 Γενικά χαρακτηριστικά αισθητήρων	11
1.4 Κατηγοριοποίηση αισθητήρων	13
1.4.1 Διάκριση με βάση το είδος του σήματος	14
1.4.2 Διάκριση με βάση την μορφή της ένδειξης	14
1.4.3 Διάκριση με βάση τον τύπο της μέτρησης.....	15
1.4.4 Διάκριση με βάση την αναγκαιότητα παροχής εξωτερικής ενέργειας.....	16
1.4.5 Διάκριση με βάση την νοημοσύνη.....	16
2 Κεφάλαιο 2° "Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας"	17
2.1 Είδη αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας.....	17
2.1.1 Διμεταλλικά θερμομέτρα	18
2.1.2 Θερμόμετρα διαστολής υγρών.....	18
2.1.3 Θερμοαντιστάσεις.....	19
2.1.4 Θερμοζεύγη.....	20
2.1.5 Πυρόμετρα	21
2.2 Εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων	21
3 Κεφάλαιο 3° "Αισθητήρες μέτρησης πίεσης"	26
3.1 Είδη αισθητήρων μέτρησης πίεσης.....	26
3.1.1 Μανόμετρα.....	27
3.1.2 Σωλήνες Bourdon	29
3.1.3 Διαφράγματα.....	30
3.1.4 Φυσητήρες	31
3.1.5 Πιεζοαντιστάτες.....	32
3.1.6 Πιεζοκρύσταλλοι	32
3.2 Εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων	33
4 Κεφάλαιο 4° "Αισθητήρες μέτρησης στάθμης"	36
4.1 Είδη αισθητήρων μέτρησης στάθμης.....	36

4.1.1	Δοχείο παρατήρησης.....	36
4.1.2	Ράβδος βυθομέτρησης	37
4.1.3	Πλωτήρας.....	38
4.1.4	Βελόνα χωρητικότητας	39
4.1.5	Βελόνα αγωγιμότητας.....	39
4.1.6	Υπέρηχοι - Ραντάρ.....	40
4.1.7	Μέτρηση στάθμης με χρήση αισθητήρων πίεσης.....	41
4.2	Εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων	41
	Βιβλιογραφία	47

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Διατάξεις μέτρησης θερμοκρασίας ^[1]	17
Εικόνα 2: Διμεταλλικά πλακίδια ^[11]	18
Εικόνα 3: Θερμόμετρο υγρού ^[4]	19
Εικόνα 4: Διάταξη θερμοζεύγους ^[4]	20
Εικόνα 5: Εικόνα νήματος πυρανομέτρου ^[6]	21
Εικόνα 6: Θερμοαντίσταση για μέτρηση θερμοκρασίας σε δεξαμενή πλοίου ^[17]	24
Εικόνα 7: Συσκευή τοποθέτησης πολλαπλών θερμοαντιστάσεων για μέτρηση θερμοκρασίας σε δεξαμενή ^[18]	25
Εικόνα 8: Τοποθέτηση συσκευών μέτρησης θερμοκρασίας σε δεξαμενές φορτίου σε πλοίο ^[15]	25
Εικόνα 9: Σύγκριση μεταξύ πιέσεων ^[7]	27
Εικόνα 10: Υοειδές μανόμετρο ^[9]	28
Εικόνα 11: Μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα ^[9]	29
Εικόνα 12: Μετρητής πίεσης Bourdon ^[8]	29
Εικόνα 13: Ψηφιακός μετρητής πίεσης Bourdon ^[8]	30
Εικόνα 14: Μετρητής πίεσης τύπου διαφράγματος ^[7]	31
Εικόνα 15: Φυσητήρας με ψηφιακή μέτρηση πίεσης ^[9]	31
Εικόνα 16: Πιεζοηλεκτρικός μετρητής πίεσης ^[7]	32
Εικόνα 17: Διάταξη μέτρησης πίεσης σε δεξαμενή με την χρήση διαφράγματος και πιεζοκρυστάλλου ^[19]	34
Εικόνα 18: Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και πίεσης σε δεξαμενή πλοίου ^[17]	35
Εικόνα 19: Μέτρηση στάθμης δεξαμενής με παρατήρηση ^[9]	37
Εικόνα 20: Μέτρηση στάθμης με ράβδο βυθομέτρησης ^[9]	37
Εικόνα 21: Μέτρηση στάθμης με την χρήση πλωτήρα ^[10]	38
Εικόνα 22: Μέτρηση στάθμης με χρήση χωρητικής βελόνας ^[9]	39
Εικόνα 23: Μέτρηση ύψους στάθμης με βελόνα αγωγιμότητας ^[9]	40
Εικόνα 24: Μέτρηση στάθμης με χρήση υπέρηχου ^[9]	41
Εικόνα 25: Πλωτήρας που χρησιμοποιείται για ένδειξη υπερπλήρωσης της δεξαμενής του πλοίου ^[12]	43
Εικόνα 26: Πλωτήρας συνεχούς μέτρησης στάθμης δεξαμενής πλοίου ^[13]	44
Εικόνα 27: Μέτρηση στάθμης με την χρήση δοχείου παρατήρησης ^[14]	44
Εικόνα 28: Μέτρηση στάθμης δεξαμενής πλοίου με radar ^[16]	45
Εικόνα 29: Μέτρηση στάθμης με radar, πλωτήρα ένδειξης υπερχειλίσσης και δοχείο παρατήρησης ^[15]	46
Εικόνα 30: Μέτρηση στάθμης δεξαμενής πλοίου με radar και πλωτήρα μέγιστης στάθμης ^[12]	46

1 Κεφάλαιο 1^ο "Γενικά χαρακτηριστικά αισθητήρων"

1.1 Ορισμός αισθητήρων

Αισθητήρας ορίζεται η οποιαδήποτε διάταξη χρησιμοποιείται για την μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Η μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους είναι ο προσδιορισμός του μετρούμενου μεγέθους σε σχέση με ένα μέγεθος αναφορά, ιδίου τύπου. Αισθητήρες απαιτούν όλα τα μεγέθη για να μετρηθούν. Γνωστότερα εξ αυτών είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η ταχύτητα, η απόσταση, η δύναμη, η ροπή, η υγρασία κλπ. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των αισθητήρων είναι η μετατροπή του μετρούμενου μεγέθους (ανεξαρτήτως του πιο είναι αυτό) σε ένα σήμα εξόδου, το οποίο παλιότερα συνήθως ήταν μηχανικό ενώ τώρα είναι συνήθως ηλεκτρικό. Το σήμα αυτό μπορεί να είναι αναλογικό ή ψηφιακό (για να είναι ψηφιακό είναι απαραίτητο να είναι ηλεκτρικό).

Η σημασία των αισθητήρων είναι τεράστια σε σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου. Πλέον δεν χρησιμοποιούνται απλά για να δείξουν μια τιμή, για να πληροφορήσουν τον χρήστη. Βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε συστήματα αυτόματου ελέγχου κάτι που οδηγεί σε δράσεις οι οποίες βασίζονται στις τιμές των μεγεθών που μετρούν οι αισθητήρες. Ως εκ τούτου βρίσκουν πολύ μεγάλη εφαρμογή και στα σύγχρονα συστήματα ελέγχου των πλοίων όπου μεταξύ άλλων επιτρέπουν την άμεση αναπαράσταση των δεδομένων που επικρατούν στο εσωτερικό των δεξαμενών των πλοίων.

1.2 Ιστορική αναφορά

Οι αισθητήρες έκαναν την εμφάνιση τους στην γη μαζί με την ζωή. Οι πρώτοι αισθητήρες ήταν τμήματα των ζωντανών οργανισμών που εμφανίστηκαν στην γη. Τα αυτιά που ανιχνεύουν ήχους δηλαδή κύματα πίεσης και τα μάτια που ανιχνεύουν ακτινοβολία είναι κλασσικά παραδείγματα αισθητήρων. Λάμβαναν τα ερεθίσματα από το περιβάλλον, δηλαδή τα κύματα πίεσης και την ακτινοβολία που προέρχονταν από το περιβάλλον και εκτελούσαν μια μετατροπή του σήματος σε εγκεφαλικό σήμα. Έτσι κάθε ζωντανός οργανισμός μπορούσε να αντιληφθεί ένα ήχο ή μια κίνηση. Βέβαια δεν ήταν όλοι οι αισθητήρες ίδιοι, ο άνθρωπος για παράδειγμα δύσκολα βλέπει το βράδυ ενώ η γάτα βλέπει πολύ καλά. Αυτό έχει να κάνει με το εύρος του αισθητήριου του ματιού, ένα από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων που θα

εξεταστούν ακολούθως. Το σήμα λοιπόν που κατέληγε στον εγκέφαλο τύγγανε μιας επεξεργασίας από την νοημοσύνη του οργανισμού και ακολούθως ο εγκέφαλος έδινε οδηγίες αντίδρασης, όπως κάνει πλέον ένα σύγχρονο σύστημα αυτόματου ελέγχου.

Η αναγκαιότητα εφεύρεσης νέων αισθητήρων αυξανόταν ποροδευτικά όσο αυξανόντουσαν οι γνώσεις του ανθρώπου και οι εφαρμογές που χρησιμοποιούσε για την διευκόλυνση της καθημερινότητάς του. Όταν ξεκίνησε να κατασκευάζει σπίτια δεν του αρκούσε η οπτική μέτρηση της απόστασης με το μάτι. Χρειάστηκε το μέτρο ώστε να επιτύχει ακρίβεια στις διαστάσεις για παράδειγμα. Το τέλος του μεσαίωνα με την απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης είναι το σημείο καμπής στην ιστορία των αισθητήρων. Σε αυτή την εποχή οι φυσικές επιστήμες γνώρισαν άνθηση που συνεχίζεται μέχρι και σήμερα ενώ πλειάδα μηχανών κατασκευάστηκε για να βοηθήσει την ζωή του ανθρώπου. Όλα αυτά επέτρεψαν ή απαίτησαν την παραγωγή νέων αισθητήρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το θερμόμετρο όπου το 1585 εμφανίζεται για πρώτη φορά.

Ένα δεύτερο σημείο καμπής στην ιστορία των αισθητήρων είναι η ανακάλυψη του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό δεν οδήγησε στην ανακάλυψη νέων αισθητήρων αλλά στην μετατροπή των αισθητήρων που ήδη υπήρχαν σε αισθητήρες και έδιναν μηχανικά σήματα εξόδου που μπορούσαν να δώσουν ηλεκτρικά σήματα εξόδου. Αυτό οδήγησε σε παραγωγή αισθητήρων μεγαλύτερης ακρίβειας και ταχύτερης απόκρισης ενώ επέτρεψε την δυνατότητα συλλογής μεγαλύτερου όγκου δεδομένων. Το σημαντικότερο όλων όμως είναι ότι επέτρεψε στους αισθητήρες να γίνουν τμήματα ολοκληρωμένων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και επί της ουσίας να γίνουν απαραίτητοι στην καθημερινότητα μας.

Ένα συνεπακόλουθο της προηγούμενης εξέλιξης είναι η μετατροπή της εξόδου του αισθητήρα. Οι πρώτοι αισθητήρες που έδιναν ηλεκτρικά σήματα συνήθως τα μετέφραζαν με ένα βολτόμετρο σε μια μηχανική ένδειξη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το αναλογικό ταχύμετρο του αυτοκινήτου. Στην πράξη τον οδηγό δεν τον ενδιαφέρει αν κινείται με 35 ή με 36km/h, τον ενδιαφέρει ότι κινείται κάτω από το επιτρεπόμενο όριο. Και ο αναλογικός αισθητήρας του επιτρέπει να το διακρίνει. Η ύπαρξη του ηλεκτρικού σήματος εξόδου από τους αισθητήρες όμως τώρα τους επιτρέπει να δώσουν και ψηφιακή ένδειξη. Αυτό αυξάνει πολύ την ακρίβεια της μέτρησης και διευκολύνει τον χειριστή ώστε να αντιληφθεί ακριβώς το μέγεθος που μετράει ο αισθητήρας. Και ενώ τον οδηγό τον ικανοποιεί η αναλογική ένδειξη που λαμβάνει

από το ταχύμετρό του τον αστυνόμο δεν τον ικανοποιεί μια αντίστοιχη ένδειξη από το ραντάρ ελέγχου ταχύτητας. Και αυτό γιατί εάν η ταχύτητα είναι 10 ή 11 χιλιόμετρα πάνω από το επιτρεπτό όριο αλλάζει το μέγεθος του πρόστιμου. Επίσης μπορεί οριακά να οδηγεί σε κατάσχεση διπλώματος και αναστολή άδειας οδήγησης. Οπότε είναι κρίσιμο για αυτό να ξέρει την ακριβή ταχύτητα και όχι να έχει μια ένδειξη της ταχύτητας. Βέβαια οι ψηφιακοί αισθητήρες δεν αντικατέστησαν πλήρως τους αναλογικούς, υπάρχουν εφαρμογές που είναι χρήσιμοι οι αναλογικοί. Για παράδειγμα στους αγώνες ταχύτητας ο οδηγός του αυτοκινήτου δεν έχει τον χρόνο να σκεφτεί εάν πάει με 153 ή 154 χιλιόμετρα. Δεν τον νοιάζει κιόλας. Θέλει μια οπτική ένδειξη να ξέρει αν πάει γρήγορα. Οπότε προτιμά ένα αισθητήρα αναλογικής εξόδου που του δείχνει ότι κινείται με περίπου 150 χιλιόμετρα.

Τεχνολογικά η εξέλιξη των αισθητήρων τους φέρει ως απαραίτητα τμήματα των ολοκληρωμένων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Και στο παράδειγμα που αναφέραμε πριν για τον αισθητήρα ταχύτητας του οχήματος η χρήση του πλέον δεν είναι μόνο για να γνωρίζει ο οδηγός με τι ταχύτητα κινείται το όχημα. Χρησιμοποιείται και ως μονάδα ανάδρασης στο σύστημα ελέγχου σταθερότητας (EPC) του οχήματος ώστε να αποτρέψει την έξοδό του από την ομαλή του πορεία στον δρόμο. Χρησιμοποιείται επίσης ως ανάδραση στο σύστημα αυτόματης πλοήγησης (cruisecontrol) ώστε να καθοριστεί αν χρειάζεται να επιταχύνει ή να επιβραδύνει το όχημα. Επίσης χρησιμοποιείται σε πολλά άλλα σύγχρονα συστήματα που ακόμη δεν έχουν εξαπλωθεί ευρέως στην αγορά των οχημάτων (σύστημα αυτόματου φρεναρίσματος, σύστημα αυτόματου παρκαρίσματος κλπ).

Τεχνολογικά, η εξέλιξη των αισθητήρων οδήγησε και στην ανακάλυψη - δημιουργία νέων αισθητήρων. Και ενώ για παράδειγμα πριν μερικά χρόνια η γνώση της ταχύτητας του αυτοκινήτου ήταν επαρκής και μέσω αυτής μπορούσε να προσεγγιστεί η επιτάχυνσή του στην πορεία αναπτύχθηκε ένας αισθητήρας μέτρησης της επιτάχυνσης αποκλειστικά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα στο αυτόματο σύστημα πλοήγησης. Αυτός ο αισθητήρας είναι πλέον ανεξάρτητος από παράγοντες που επηρέαζαν την θεωρητική μετατροπή της ταχύτητας σε επιτάχυνση (βάρος φορτίου οχήματος, κλίση οδοστρώματος, ταχύτητα εξωτερικού αέρα κλπ) έτσι η μέτρηση αυτή είναι ακριβέστερη.

1.3 Γενικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Αύτη την στιγμή υπάρχουν εκατομμύρια αισθητήρων μετά την τεχνολογική τους εξέλιξη. Υπάρχουν συνήθως πολύ περισσότερες τις μιας τεχνικές για την μέτρηση ενός μεγέθους που προσφέρουν διαφορετική ακρίβεια, διαφορετικό κόστος, διαφορετική απόκριση και πολλά άλλα. Πως λοιπόν θα επιλεγθεί ο καλύτερος για την εφαρμογή αισθητήρας; Η επιλογή γίνεται από τον χρήστη και κριτήριο, πέραν του κόστους, είναι τα χαρακτηριστικά του. Πριν παρουσιάσουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αισθητήρων πρέπει να αναφέρουμε ότι τα χαρακτηριστικά μπορούν να διακριθούν σε στατικά και δυναμικά. Στα στατικά ανήκουν όλα τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που αφορούν την λειτουργία του όταν το μετρήσιμο μέγεθος παραμένει αμετάβλητο. Αντίθετα, τα δυναμικά είναι τα χαρακτηριστικά που αφορούν την λειτουργία του αισθητήρα όταν το μετρούμενο μέγεθος μεταβάλλεται. Συνήθως μας ενδιαφέρουν τα πρώτα και όσα θα παρουσιαστούν παρακάτω είναι στατικά.

Η ακρίβεια είναι το σημαντικότερο, τουλάχιστον φαινομενικά, χαρακτηριστικό ενός αισθητήρας. Με τον όρο ακρίβεια ορίζεται ο βαθμός ελευθερίας του αισθητήρα από τα σφάλματα. Ως σφάλμα ορίζεται η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης από τον αισθητήρα τιμής και της πραγματικής τιμής και διακρίνεται σε στατικό και τυχαίο. Το στατικό είναι μονίμως σταθερό σε όλες τις μετρήσεις και μπορεί να συμψηφιστεί με τις μετρήσεις ώστε να προκύψει η διορθωμένη μέτρηση. Αντίθετα το τυχαίο δεν μπορεί να προβλεφθεί και να ληφθεί υπόψη κατά την μέτρηση. Ένας ακριβής αισθητήρας είναι ένας αισθητήρας που παρουσιάζει μικρότερη διασπορά των μετρήσεων του σε σχέση με ένα λιγότερο ακριβή αισθητήρα.

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό των αισθητήρων είναι η ορθότητα των μετρήσεων μέσω της οποίας ορίζεται η πίστη του αισθητήρα, το πόσο κοντά βρίσκεται η ένδειξη που δίνει στην πραγματική τιμή. Ένας αισθητήρας υψηλότερης ορθότητας μπορεί να μετρήσει την τιμή 5 ίση με 5,01 ενώ ένας χαμηλότερης ορθότητας να την μετρήσει 5,1.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η επαναληψιμότητα του αισθητήρα. Δεν αρκεί ένας αισθητήρας να μετράει μια φορά σωστά. Θα πρέπει να μετράει συνεχώς. Είναι προτιμότερο ένας αισθητήρας να μετράει συνεχώς το ίδιο έστω και αν έχει ένα στατικό σφάλμα στην μέτρηση του παρά να μην έχει επαναληψιμότητα και κάθε φορά να μετράει διαφορετικά. Εν κατακλείδι ένας αισθητήρας με επαναληψιμότητα παρουσιάζει μικρή διασπορά στις μετρήσεις του σε σχέση με ένα αισθητήρα χωρίς επαναληψιμότητα.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των αισθητήρων είναι η νεκρή ζώνη. Ως νεκρή ζώνη ορίζεται μια περιοχή στην οποία ο αισθητήρας δίνει εσφαλμένες τιμές. Η πλειονότητα των αισθητήρων εμφανίζει την περιοχή νεκρής ζώνης σε περιοχές μετρήσεων κοντά στο μηδέν για μηχανικούς λόγους.

Η ολίσθηση είναι το επόμενο χαρακτηριστικό των αισθητήρων. Ως ολίσθηση ορίζεται η αργή μεταβολή του σήματος εξόδου του αισθητήρα την στιγμή που το μετρούμενο μέγεθος παραμένει αμετάβλητο. Η μεταβολή της ένδειξης του αισθητήρα σε αυτή την περίπτωση οφείλεται σε άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή η γήρανση του μηχανικού εξοπλισμού του που έχει υποστεί ελαφρά πλαστική παραμόρφωση.

Η ευστάθεια είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό των αισθητήρων. Ως ευστάθεια ορίζεται η μεταβολή της εξόδου του αισθητήρα ενώ το μετρούμενο μέγεθος παραμένει σταθερό. Είναι παρεμφερές χαρακτηριστικό με την ολίσθηση μόνο που συμβαίνει σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την αργή μεταβολή που φέρει η ολίσθηση. Στην ουσία είναι αντιληπτό ως ένα τρεμόπαιγμα σε ένα δείκτη αναλογικού αισθητήρα.

Η υστέρηση είναι επίσης ένα χαρακτηριστικό του αισθητήρα. Ως υστέρηση μπορεί να οριστεί η διαφορά ανάμεσα στην μετρούμενη τιμή από τον αισθητήρα και την πραγματική τιμή του μεγέθους την στιγμή εκείνη. Οφείλεται στην χρονική καθυστέρηση της μεταφοράς του σήματος (είτε αναλογικού είτε ψηφιακού) από το σημείο μέτρησης στο σημείο ανάγνωσης.

Οι διαστάσεις στις οποίες ο αισθητήρας έχει σχεδιαστεί ώστε να μετράει το προς μέτρηση μέγεθος είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό του. Δεδομένου ότι για το ίδιο μέγεθος υπάρχουν συνήθως περισσότερες της μιας μονάδες μέτρησης είναι σημαντικό χαρακτηριστικό ώστε να δίνει αποτελέσματα ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιηθούν άμεσα χωρίς να χρειάζεται μετατροπή τους σε άλλες μονάδες.

Άλλο χαρακτηριστικό των αισθητήρων είναι ο χρόνος λειτουργίας. Ως χρόνος λειτουργίας ορίζεται ο χρόνος κατά τον οποίο, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, ο αισθητήρας δίνει ακριβείς μετρήσεις. Ακολουθώντας, και λόγω κόπωσης του αισθητήρα, οι μετρήσεις εμπεριέχουν ανακρίβεια έτσι πρέπει να γίνει αντικατάσταση του αισθητήρα. Συνήθως ο χρόνος ζωής καθορίζεται με μονάδες χρόνου (πχ 10 έτη). Σπανιότερα καθορίζεται με κύκλους λειτουργίας - χρήσης.

Η γραμμικότητα είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό των αισθητήρων. Γραμμικός είναι ένας αισθητήρας του οποίου τα αποτελέσματα δημιουργούν μια ευθεία. Είναι πολύ σημαντικό να το γνωρίζει ο χρήστης καθώς σε ένα γραμμικό αισθητήρα μπορεί να υπολογίσει το προς μέτρηση μέγεθος σε όλο το εύρος που επιθυμεί επεκτείνοντας την γραμμή που παίρνει από τον αισθητήρα.

Το εύρος λειτουργίας είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό. Ορίζεται ως εύρος λειτουργίας το όριο των τιμών του μετρούμενου μεγέθους μέσα στο οποίο ο αισθητήρας μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια το μετρούμενο μέγεθος. Δίνεται κατά βάση ως ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπτή τιμή μέτρησης. Είναι σημαντικό μέγεθος ώστε ο χρήστης να επιλέξει αισθητήρα εύρους μεγαλύτερου από τις τιμές οι οποίες τον ενδιαφέρουν να μετρήσει.

Η διακριτότητα του αισθητήρα είναι ένα σημαντικό τεχνικό χαρακτηριστικό του. Ως διακριτότητα ορίζεται η μικρότερη μεταβολή της τιμής του μετρούμενου μεγέθους που μπορεί να αντιληφθεί, να μετρήσει ο αισθητήρας. Για παράδειγμα στον κλασσικό χάρακα οι γραμμές του χιλιοστού είναι η διακριτικότητα του. Όσο πιο μεγάλη είναι η διακριτότητα του αισθητήρα τότε τόσο πιο μικρές μεταβολές του μετρούμενου μεγέθους μπορεί να αντιληφθεί και να μετρήσει.

Η ευαισθησία του αισθητήρα είναι το επόμενο χαρακτηριστικό του. Μπορεί να οριστεί ως ευαισθησία ο χρόνος που χρειάζεται για να αποκριθεί στις αλλαγές του μετρούμενου μεγέθους. Μεγάλη ευαισθησία συνεπάγεται άμεση μεταβολή της ένδειξης του αισθητήρα σε σχέση με την μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους έτσι αναπαριστά καλύτερα το μετρούμενο μέγεθος συνολικά.

Τέλος άλλο ένα χαρακτηριστικό είναι η ευαισθησία του αισθητήρα στις διαταραχές. Ένας αισθητήρας ευαίσθητος στις διαταραχές μπορεί να δώσει παραπλανητικές τιμές του μετρούμενου μεγέθους γιατί αντιλαμβάνεται μια εξωτερική διαταραχή ως μεταβολή του ίδιου του μετρούμενου μεγέθους.

1.4 Κατηγοριοποίηση αισθητήρων

Αισθητήρες υπάρχουν πάρα πολλοί. Υπάρχουν απλοί και περίπλοκοι. Υπάρχουν αναλογικοί και ψηφιακοί. Υπάρχουν περισσότερο και λιγότερο ακριβείς. Όπως είναι αντιληπτό λοιπόν μπορούν να διακριθούν σε κάποιες κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες παρουσιάζονται

στην συγκεκριμένη ενότητα. Για την διάκριση τους θα χρησιμοποιηθούν 5 κριτήρια. Αρχικά θα γίνει διάκριση με βάση το είδος του σήματος εξόδου που δίνουν. Η μορφή της ένδειξης θα είναι το επόμενο κριτήριο κατηγοριοποίησης. Ακολούθως θα διακριθούν βάσει του τύπου της μέτρησης. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί η κατηγοριοποίηση τους βάσει της ανάγκης ή όχι για παροχή εξωτερικής ενέργειας. Τέλος, η νοημοσύνη που μπορεί να παρουσιάζουν είναι το τελευταίο κριτήριο. Στις επόμενες παραγράφους γίνονται αυτές οι κατηγοριοποιήσεις.

1.4.1 Διάκριση με βάση το είδος του σήματος

Το πρώτο κριτήριο διάκρισης των αισθητήρων είναι το είδος του σήματος που αποδίδουν στην έξοδό τους. Με βάση το κριτήριο αυτό διακρίνονται σε τέσσερις τύπους. Ο πρώτος τύπος είναι οι αισθητήρες που αποδίδουν μηχανικό σήμα, σήμα με μορφή μηχανικής ενέργειας (δύναμης, μετατόπισης κλπ). Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει τους αισθητήρες που αποδίδουν ηλεκτρικό σήμα. Κατά βάση σε αυτούς τους αισθητήρες το ηλεκτρικό μέγεθος που μεταβάλλεται είναι η τάση και μέσω αυτής υπολογίζεται η μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους. Στον τρίτο τύπο εντάσσονται οι αισθητήρες που αποδίδουν οπτικό σήμα με μορφή ακτινοβολίας (ορατής, υπεριώδους ή υπέρυθρης). Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τους αισθητήρες που αποδίδουν ψηφιακό σήμα ως μια ακολουθία δυαδικών τιμών (0, 1).

1.4.2 Διάκριση με βάση την μορφή της ένδειξης

Η επόμενη κατηγοριοποίηση των αισθητήρων μπορεί να γίνει με βάση την μορφή της ένδειξης που αποδίδουν. Από το κριτήριο αυτό λοιπόν προκύπτουν δύο κατηγορίες αισθητήρων, οι αναλογικοί και οι ψηφιακοί. Πρώτοι εμφανίστηκαν οι αναλογικοί οι οποίοι δείχνουν την ένδειξη του οργάνου σε μια βαθμονομημένη κλίμακα. Ο χειριστής διαβάσει με βάση την θέση του δείκτη και την βαθμονομημένη κλίμακα την ένδειξη. Οι ψηφιακοί αισθητήρες, συγχρονότεροι και τεχνολογικά εξελιγμένοι αποδίδουν την έξοδό τους με μια ψηφιακή ένδειξη αναγραφόμενη σε μια οθόνη ή αποστελλόμενη σε μια συσκευή ελέγχου.

Θεωρητικά οι ψηφιακοί αισθητήρες θα έπρεπε να επικρατήσουν των αναλογικών αφού είναι τεχνολογικά προηγμένοι. Όμως οι αναλογικοί ακόμη βρίσκουν πλειάδα εφαρμογών γιατί έχουν πλεονεκτήματα. Μπορεί να μην δίνουν ακριβή ένδειξη όμως άμεσα μπορεί να αντιληφθεί κάποιος την τάξη μεγέθους που μετριέται. Και επίσης μπορεί να αντιληφθεί την τάση στην οποία κινείται το μέγεθος. Για παράδειγμα αν δει το κοντέρ της ταχύτητας να ανεβαίνει ξέρει ότι επιταχύνει. Και αυτό το συνδυάζουν με απλότητα στην κατασκευή και με χαμηλό κόστος

παραγωγής και λειτουργίας. Μόνο που απαιτούν ένα χρήστη που να ξέρει να τους διαβάσει ώστε να του αποδώσουν το μετρούμενο μέγεθος.

Αντίθετα, οι ψηφιακοί μετρητές έχουν κάποια πλεονεκτήματα για αυτό και έχουν αρχίσει να αυξάνουν το μερίδιό τους στην αγορά αισθητήρων τα τελευταία χρόνια. Μπορεί να έχουν μεγαλύτερο κόστος όμως εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ταχύτητα στην λήψη μετρήσεων και ακριβέστερες μετρήσεις κάτι που τους καθιστά ιδανικούς για μεγέθη που μεταβάλλονται γρήγορα και σε μικρά ποσοστά. Η ένδειξη τους επίσης μπορεί να καταγραφεί σε αρχείο όσο γρήγορη και αν είναι κάτι που ο χειριστής ενός αναλογική οργάνου δεν θα προλάβει να κάνει. Αυτό έχει ως συνέπεια να μπορεί να γίνει καλύτερη επεξεργασία των μετρήσεων των ψηφιακών αισθητήρων. Και φυσικά μπορεί να λειτουργήσουν χωρίς παρουσία χρήστη κάτι που επιτρέπει την λήψη μετρήσεων για πολλές και συνεχόμενες ώρες και την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων. Και φυσικά μπορούν να λαμβάνουν μετρήσεις σε τακτικά διαστήματα προγραμματισμένα στον εγκέφαλο του αισθητήρα χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος να ξεχαστεί ο χρήστης και να χάσει την τακτικότητα της μέτρησης. Τέλος, μπορούν να τοποθετηθούν σε περιβάλλοντα όπου δεν μπορεί να μπει ο χρήστης ώστε να λάβει μέτρηση και να μεταφέρουν την μέτρηση στην οθόνη ενός υπολογιστή για να την διαβάσει ο χρήστης, απομακρυσμένα από τον χώρο κινδύνου. Και φυσικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κυκλώματα αυτόματου ελέγχου χωρίς να χρειάζεται η μέτρηση τους να ληφθεί από κάποιο χρήστη, με αυτόματη επεξεργασία να οδηγηθεί στον εγκέφαλο του συστήματος ελέγχου.

1.4.3 Διάκριση με βάση τον τύπο της μέτρησης

Επόμενος τρόπος διάκρισης των αισθητήρων είναι με βάση τον τύπο της μέτρησης που εκτελούν. Εάν μετρούν απευθείας το μέγεθος που απαιτείται τότε είναι αισθητήρες άμεσης μέτρησης. Εάν όμως μετρούν ένα άλλο μέγεθος και ακολούθως το μετατρέπουν στο προς μέτρηση μέγεθος τότε είναι αισθητήρες έμμεσης μέτρησης. Κλασικό παράδειγμα αισθητήρων άμεσης μέτρησης είναι τα μέτρα, οι χάρακες και γενικά οι συσκευές μέτρησης μήκους όπου κατευθείαν μετρούν το μήκος. Αισθητήρες έμμεσης μέτρησης αντίστοιχα είναι τα μανόμετρα στα οποία μετριέται το ύψος της στήλης του υγρού και ακολούθως μετατρέπεται σε πίεση. Επιθυμητό είναι να χρησιμοποιούνται άμεσοι αισθητήρες γιατί είναι πιο ακριβείς καθώς εξαλείφουν το σφάλμα μετατροπής από το μετρούμενο στο επιθυμητό μέγεθος. Στην πράξη όμως οι περισσότεροι αισθητήρες είναι έμμεσοι γιατί είναι πολύ πιο εύκολη η κατασκευή τους

και διευκολύνει την μέτρηση μεγεθών που δεν μπορούν να μετρηθούν εύκολα και οικονομικά άμεσα.

1.4.4 Διάκριση με βάση την αναγκαιότητα παροχής εξωτερικής ενέργειας

Η λειτουργία των αισθητήρων πολλές φορές απαιτεί την ύπαρξη εξωτερικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται είτε για την μετακίνηση μιας μηχανικής διάταξης του αισθητήρα, είτε για διάφορες άλλες λειτουργίες όπως για παράδειγμα η μετατροπή του σήματος εξόδου σε ψηφιακό. Την ενέργεια αυτή ο αισθητήρας μπορεί να την λάβει είτε από το μετρούμενο μέγεθος είτε από μια εξωτερική πηγή ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση οι αισθητήρες αυτοί ονομάζονται παθητική ενώ στην δεύτερη περίπτωση ονομάζονται ενεργητικοί. Για παράδειγμα ο μετρητής στροφών της μηχανής αυτοκινήτου λαμβάνει ενέργεια από την ίδια την μηχανή και είναι ένας παθητικός μετρητής. Αντίθετα, το ραντάρ που υπάρχει πίσω για να εντοπίσει εμπόδια κατά το παρκάρισμα δεν λαμβάνει ενέργεια από τα εμπόδια που εντοπίζει, λαμβάνει ενέργεια από το ίδιο το αυτοκίνητο που είναι μια εξωτερική πηγή σε σχέση με το μέγεθος που μετράει.

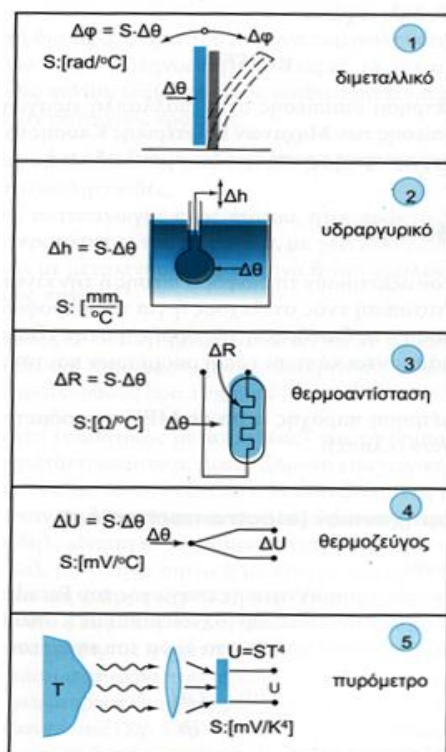
1.4.5 Διάκριση με βάση την νοημοσύνη

Ένα τελευταίο χαρακτηριστικό των αισθητήρων που τους διακρίνει σε κατηγορίες είναι η νοημοσύνη τους. Διακρίνονται λοιπόν στους απλούς αισθητήρες και στους ευφυείς αισθητήρες. Οι απλοί αισθητήρες στοχεύουν μόνο στην μέτρηση ενός μεγέθους και την μετατροπή του σε σήμα εξόδου, μηχανικό ή ηλεκτρικό, αναλογικό ή ψηφιακό. Οι ευφυείς μετρητές όμως έχουν την δυνατότητα επεξεργασίας της μέτρησης που λαμβάνουν προτού την μετατρέψουν σε σήμα εξόδου ώστε αυτή να είναι πιο ακριβής και πιο ευανάγνωστη από τον λήπτη. Οι συνηθέστερες διεργασίες που εκτελούν στο στάδιο της επεξεργασίας οθ ευφυείς μετρητές είναι η ενίσχυση και η γραμμικοποίηση του σήματος.^{[1],[2],[3]}

2 Κεφάλαιο 2^ο "Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας"

2.1 Είδη αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας

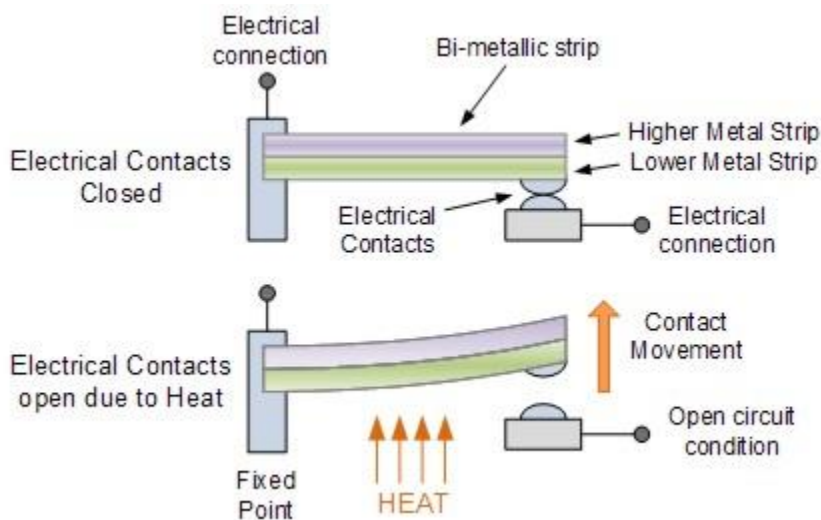
Η μέτρηση της θερμοκρασίας ενός ρευστού που βρίσκεται αποθηκευμένο σε μια δεξαμενή αρκετές φορές είναι πολύ κρίσιμος παράγοντας για την εν γένει ορθή λειτουργία του συστήματος. Για παράδειγμα η θερμοκρασία του λαδιού είναι σημαντική για την ψύξη που προσφέρει στους κινητήρες. Η θερμοκρασία του αποθηκευμένου καυσίμου είναι σημαντική για λόγους ασφαλείας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με διάφορους αισθητήρες που ονομάζονται θερμόμετρα. Οι σημαντικότερες συσκευές μέτρησης θερμοκρασίας είναι τα θερμόμετρα διαστολής υγρού (κυρίως υδραργυρικά), τα θερμόμετρα διαστολής μετάλλου (διμεταλλικά), τα θερμόμετρα θερμοαντίστασης, τα θερμοζεύγη και τα θερμόμετρα που βασίζονται στην ακτινοβολία θερμότητας (πυρόμετρα). Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται συγκεντρωμένα μαζί με τις θεμελιώδεις φυσικές αρχές τους τα αισθητήρια μέτρησης θερμοότητας.



Εικόνα 1: Διατάξεις μέτρησης θερμοκρασίας^[1]

2.1.1 Διμεταλλικά θερμομέτρα

Πρώτα παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα τα διμεταλλικά θερμομέτρα. Τα θερμομέτρα αυτά έχουν πλακίδια τα οποία αποτελούνται από δύο μέταλλα. Λόγω του διαφορετικού τους μετάλλου τα πλακίδια έχουν διαφορετική συστολή και διαστολή. Εάν τα πλακίδια είναι στερεά συνδεδεμένα μεταξύ τους με μια σταθερή κόλλα και το ένα άκρο τους είναι πακτωμένο τότε, λόγω της διαφορετικής διαστολής – συστολής υπάρχει διαφορετική μεταβολή του μήκους κάτι που οδηγεί σε κάμψη του συγκολλημένου πλακιδίου. Αναλόγως της θερμοκρασίας μεταβάλλεται και η κάμψη του τελικού πλακιδίου. Μετρώντας την γωνία κάμψης είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας. Λόγω του τρόπου λειτουργίας τους είναι ιδανικά ώστε να χρησιμοποιούνται ως θερμοκοιτίδες σε ηλεκτρικά κυκλώματα είτε ακουμπώντας επαφές και κλείνοντας κύκλωμα είτε απομακρυνόμενο από επαφές ανοίγοντας κύκλωμα αναλόγως της κάμψης που βρίσκεται το πλακίδιο. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα διμεταλλικό πλακίδιο τοποθετημένο ως διακόπτης σε κύκλωμα.



Εικόνα 2: Διμεταλλικά πλακίδια ^[11]

2.1.2 Θερμομέτρα διαστολής υγρών

Δεύτερα στην αρχική εικόνα παρουσιάζονται τα θερμομέτρα υδραργύρου των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην διαστολή του υδραργύρου λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του. Μια εξωτερική βαθμονόμηση δείχνει στον χρήστη την θερμοκρασία που επικρατεί στο ρευστό. Το μεγάλο τους πρόβλημα είναι η απαίτηση μεγάλου ύψους στήλης για μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές. Επίσης δεν μπορούν να δώσουν ψηφιακό σήμα εξόδου κάτι που τα

καθιστά δύσχρηστα σε σύγχρονες εφαρμογές καθώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου. Παρακάτω βλέπουμε την διάταξη ενός θερμομέτρου υγρού.



Εικόνα 3: Θερμόμετρο υγρού ^[4]

2.1.3 Θερμοαντιστάσεις

Μια τρίτη κατηγορία θερμομέτρων είναι οι θερμοαντιστάσεις. Από το όνομα και μόνο είναι προφανές το τι συμβαίνει στα θερμομέτρα αυτής της κατηγορίας. Από την μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλεται η τιμή μιας ωμικής αντίστασης. Στην πλειονότητα των μετάλλων η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί και σε αύξηση της αντίστασης με μια σχέση σχεδόν γραμμική. Η μεταβολή της τιμής αυτής λαμβάνεται μέσω της τροποποίησης της τάσης ενός ηλεκτρικού κυκλώματος και ως ψηφιακό σήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Τα πιο ακριβά αποτελούνται από πλατίνα και έχουν εύρος μέτρησης από -250°C έως και 1200°C και εκτός του μεγάλου εύρους έχουν και μεγάλη ακρίβεια. Εκτός από τις θερμοαντιστάσεις πλατίνας χρησιμοποιούνται και θερμοαντιστάσεις χαλκού, βολφραμίου ή νικελίου με χαμηλότερο κόστος μα και μικρότερο εύρος. Το μειονέκτημα αυτών των θερμομέτρων είναι η πολύ αργή απόκρισή τους.

Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενταχθούν τα θερμίστορς που είναι ημιαγωγοί των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται επίσης με την θερμοκρασία. Η διαφορά τους όμως σε σχέση

με τις θερμοαντιστάσεις είναι ότι η μεταβολή της αντίστασης των ημιαγωγών είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την μεταβολή της αντίστασης των προηγούμενων αγωγών, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η αντίστασή τους εν αντιθέσει με τους αγωγούς των οποίων αυξάνεται, και η απόκρισή τους είναι πολύ γρηγορότερη.

2.1.4 Θερμοζεύγη

Η τέταρτη κατηγορία είναι τα θερμοζεύγη (ή θερμοστοιχεία ή θερμοηλεκτρικά στοιχεία). Είναι ίσως η πιο διαδεδομένη μορφή θερμομέτρων, ειδικά σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η λειτουργία τους βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με αυτό δύο αγωγοί διαφορετικών υλικών, συνδεδεμένοι σε δύο σημεία παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν στις δύο επαφές τους αναπτύσσεται διαφορετική θερμοκρασία. Η τάση που παράγεται μπορεί να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο και να μετατραπεί σε ένδειξη θερμοκρασίας. Υπάρχουν αρκετοί συνδυασμοί μετάλλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αποτέλεσμα μεγάλη ποικιλία σε εύρος λειτουργίας και σε ακρίβεια. Παρόλα αυτά ως κατηγορία θερμομέτρων μπορούν να χαρακτηριστούν από το μεγάλο εύρος τους. Τα πιο γνωστά θερμοζεύγη είναι το θερμοζεύγος σιδήρου – κωνσταντάνης (Jtype), το θερμοζεύγος χρωμονικελίου – αλουμινονικελίου (Ktype) και το θερμοζεύγος χαλκού – κωνσταντάνης (TType). Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η μορφή σύνδεσης των δύο αγωγών του θερμοζεύγους.



Εικόνα 4: Διάταξη θερμοζεύγους ^[4]

2.1.5 Πυρόμετρα

Τελευταία κατηγορία θερμομέτρων είναι τα θερμομέτρα ακτινοβολίας, ευρέως γνωστά ως πυρόμετρα. Αυτά τα θερμομέτρα μετρούν την θερμοκρασία ενός σώματος μέσω της ακτινοβολίας που εκπέμπει. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα οπτικά πυρόμετρα και τα πυρόμετρα υπέρυθρης τα οποία αντίστοιχα μετρούν την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού φωτός και την ακτινοβολία στην υπέρυθη περιοχή. Το οπτικό πυρόμετρο έχει ένα νήμα το οποίο θερμαίνεται. Όταν θερμαίνεται αυξάνει η θερμοκρασία του και η εκπεμπόμενη ακτινοβολία του τροποποιείται. Όταν φτάσει στην θερμοκρασία του σώματος τότε θα έχουν την ίδια εκπομπή ακτινοβολίας άρα το νήμα πλέον δεν διακρίνεται και εξαφανίζεται. Αντίστοιχα λειτουργούν και τα θερμομέτρα υπέρυθρης ακτινοβολίας μόνο που χρειάζονται και θερμοζεύγος για να μετρήσουν την θερμοκρασία αφού δεν είναι δυνατή η οπτική αναγνώριση της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα θερμομέτρα πυρομέτρου έχουν την δυνατότητα να μετρούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν έως και τους 10000 oC κάτι που δεν μπορεί να κάνει κάποια άλλη κατηγορία θερμομέτρων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το νήμα του πυρομέτρου. Στην πρώτη περίπτωση έχει θερμοκρασία χαμηλότερη από του σώματος. Στην δεύτερη περίπτωση έχει θερμοκρασία υψηλότερη από του σώματος. Στην τρίτη περίπτωση δεν φαίνεται το νήμα άρα έχει ίδια θερμοκρασία με το σώμα.^{[1], [2], [4], [5], [6], [12]}



Εικόνα 5: Εικόνα νήματος πυρομέτρου ^[6]

2.2 Εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων

Στις δεξαμενές πλοίων η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι απαραίτητη. Οι λόγοι πολλοί. Για παράδειγμα στις δεξαμενές καυσίμων η θερμοκρασία του καυσίμου είναι σημαντική τόσο για τον έλεγχο της καύσης όσο και για την ασφάλεια του πλοίου. Ειδικά αν το καύσιμο μάλιστα είναι υγροποιημένο φυσικό αέριο ή υγραέριο όπου θα πρέπει να παραμείνει σταθερή η θερμοκρασία για να παραμείνει σε υγρή κατάσταση. Αντίθετα στις δεξαμενές φορτίου οι λόγοι είναι διαφορετικοί. Η γνώση της θερμοκρασίας σε αυτές είναι σημαντική για λόγους ασφαλείας εάν αναφερόμαστε σε πλοία μεταφοράς καυσίμων (πετρελαίου, υγροποιημένου φυσικού

αερίου). Εάν αναφερόμαστε σε πλοία μεταφοράς υγρών χημικών φορτίων τότε η γνώση της θερμοκρασίας τους είναι σημαντική για να παραμείνουν σε σταθερή κατάσταση. Εάν τα πλοία μεταφέρουν υγρά τρόφιμα όπως κρασί ή λάδι η γνώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των δεξαμενών που τα φέρουν είναι σημαντική ώστε να εμποδιστούν οι αλλοιώσεις τους. Στις μόνες δεξαμενές όπου η θερμοκρασία δεν παίζει πολύ σημαντικό ρόλο είναι στις δεξαμενές έρματος.

Βάσει των παραπάνω είναι αντιληπτό το πόσο κρίσιμη είναι η γνώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των δεξαμενών των πλοίων. Με ποιο τρόπο θα μετρηθεί η θερμοκρασία; Μα φυσικά με αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, με θερμομέτρα. Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν οι σημαντικότερες κατηγορίες θερμομέτρων. Ποια από αυτά είναι τα καταλληλότερα για την μέτρηση θερμοκρασίας στις δεξαμενές των πλοίων; Αυτό θα απαντηθεί στις επόμενες παραγράφους.

Η ανάλυση ξεκινάει από τα πλέον ακατάλληλα θερμομέτρα τα οποία είναι τα πυρανόμετρα. Οι λόγοι που δεν βρίσκουν εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων είναι πολλοί. Καταρχήν τα πυρανόμετρα για να λειτουργήσουν δεν πρέπει να έρθουν σε επαφή με το σώμα το οποίο μετρούν. Αυτό δεν τους επιτρέπει την τοποθέτηση στην δεξαμενή παρά μόνο στο πάνω μέρος. Μια δεξαμενή όμως μεγάλου ύψους μπορεί να έχει διαφορετικές θερμοκρασίες στο πάνω και το κάτω μέρος. Αυτό συνεπάγεται ότι τα πυρανόμετρα είναι ακατάλληλα για την συνολική μέτρηση της θερμοκρασίας στην δεξαμενή. Κατά δεύτερον τα πυρανόμετρα υπολογίζουν την θερμοκρασία συγκρίνοντας την θερμοκρασία ενός νήματος με την θερμοκρασία του σώματος. Αυτό δεν μπορεί να γίνει με ρευστά έτσι δεν μπορεί να εφαρμοστεί στις δεξαμενές. Και τρίτο και σημαντικότερο είναι το εύρος λειτουργίας τους σε συνδυασμό με την ακρίβειά τους. Τα πυρανόμετρα έχουν πολύ μεγάλο εύρος λειτουργίας που μπορεί να φτάσει και τους 10000 βαθμούς Κελσίου. Αυτό περιορίζει την ακρίβειά τους όμως. Στις δεξαμενές των πλοίων δεν επικρατούν τέτοιες θερμοκρασίες έτσι το θερμοκρασιακό εύρος τους είναι άχρηστο. Αντίθετα χρειάζεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Για αυτούς τους λόγους τα πυρανόμετρα δεν χρησιμοποιούνται για μετρήσεις σε δεξαμενές πλοίων.

Η επόμενη κατηγορία θερμομέτρων που δεν βρίσκει πολλές εφαρμογές είναι τα διμεταλλικά πλακίδια. Τα πλακίδια χρησιμοποιούν την παραμόρφωσή τους ώστε να μετρήσουν την θερμοκρασία. Αυτό όμως απαιτεί την ύπαρξη και ενός πιεζοκρυσταλλου ώστε να μετατραπεί η παραμόρφωση σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί για να ληφθούν σημειακές μετρήσεις εντός της δεξαμενής όχι όμως για συνολική καταμέτρηση και απεικόνιση

της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της δεξαμενής. Πέραν αυτού η μέτρηση με διμεταλλικά πλακίδια δεν έχει τόσο μεγάλη ακρίβεια γιατί με τον καιρό υπάρχει πλαστική παραμόρφωση στο μέταλλο των πλακιδίων που αλλοιώνει την μέτρηση με την πάροδο των ετών. Τέλος είναι δύσκολη η τοποθέτησή τους εντός της δεξαμενής ώστε να έρχονται σε επαφή με το ρευστό καθώς πιθανόν το μέταλλο τους να αλλοιώνεται από την χρήση του ρευστού.

Η τρίτη κατηγορία είναι τα θερμόμετρα διαστολής υγρού, με ποιο γνωστά αυτών τα υδραργυρικά θερμόμετρα. Τα θερμόμετρα αυτά βρίσκουν εφαρμογές σε σημειακές μετρήσεις στις δεξαμενές των πλοίων, κυρίως ως εφεδρικά θερμόμετρα και ως οπτική απεικόνιση της θερμοκρασίας στα μέλη του πληρώματος που βρίσκονται κοντά στην δεξαμενή. Δεν μπορούν να είναι οι κύριες συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας μιας δεξαμενής γιατί δεν μπορούν να παράξουν ψηφιακό σήμα ώστε να αποτελέσουν τμήμα ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου. Όμως έχουν πολύ καλή ακρίβεια και ορθότητα στις μετρήσεις τους κάτι που τα καθιστά ιδανικά ως εφεδρικές μονάδες. Επίσης το ότι δεν λειτουργούν σε αυτόματα συστήματα ελέγχου και δεν χρειάζεται να παράξουν ηλεκτρικό σήμα είναι σημαντικά ως εφεδρικά καθώς μπορούν να λειτουργήσουν ακόμη και σε περίπτωση που τα ηλεκτρονικά του πλοίου εμφανίσουν πρόβλημα. Συνήθως μια δεξαμενή έχει δυο με τρία υδραργυρικά θερμόμετρα ώστε να υπάρχει σωστή απεικόνιση της θερμοκρασίας στο σύνολο του ύψους της δεξαμενής.

Τα θερμοζεύγη είναι ίσως οι πλέον χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες θερμοκρασίας στην βιομηχανία. Φυσικά χρησιμοποιούνται και στα πλοία όχι όμως σε τόσο υψηλό βαθμό. Έχουν μεγάλη ακρίβεια και επαρκή απόκριση και μπορούν να αποδώσουν ηλεκτρικό σήμα έτσι ώστε να ενταχθούν σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά όσο οι θερμοαντιστάσεις είναι η σχετικά μικρότερη ακρίβειά τους (που μπορεί να φτάνει και τον 1 βαθμό κελσίου). Αντίθετα το μεγάλο τους εύρος δεν έχει να προσφέρει και πολλά στις δεξαμενές καθώς τα ρευστά που φυλάσσονται στις δεξαμενές των πλοίων σπάνια φτάνουν σε τόσο υψηλή θερμοκρασία.

Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας στις δεξαμενές των πλοίων είναι οι θερμοαντιστάσεις. Και μάλιστα οι κλασικές θερμοαντιστάσεις και όχι τα θερμίστορ. Οι θερμοαντιστάσεις έχουν μεγάλη ακρίβεια και εύρος ικανοποιητικό για τις θερμοκρασίες που επικρατούν στις δεξαμενές των πλοίων. Το μειονέκτημά τους που είναι η αργή απόκριση δεν ενδιαφέρει σχεδόν καθόλου γιατί οι μεταβολές των θερμοκρασιών των ρευστών στις δεξαμενές του πλοίου είναι εξίσου πολύ αργές. Τέλος, το οι ενδείξεις τους έχουν

την μορφή ενός ψηφιακού σήματος τις καθιστά ιδανικές για την χρήση τους σε τμήματα αυτομάτου ελέγχου και απεικόνισης της κατάστασης εντός των δεξαμενών του πλοίου.

Συνήθως δεν χρησιμοποιείται μια θερμοαντίσταση μόνο για την μέτρηση της θερμοκρασίας σε μια δεξαμενή. Χρησιμοποιούνται αρκετές ώστε να λαμβάνονται τιμές σε όλο τον ύψος της δεξαμενής και να προκύπτει ο μέσος όρος της θερμοκρασίας που επικρατεί στην δεξαμενή. Συνήθως χρησιμοποιούνται 5 ή 6 εκτός αν το ύψος της δεξαμενής είναι πολύ μεγάλο ώστε να απαιτεί περισσότερες μετρήσεις. Τοποθετούνται είτε σε υποδοχές στα πλαϊνά της δεξαμενής είτε σε ένα σωλήνα που εμβαπτίζεται στην δεξαμενή και είναι μονωμένος ώστε μέσα να μην εισρέει το ρευστό. Από τρύπες του σωλήνα οι θερμοαντιστάσεις εξέρχονται στο ένα άκρο τους και ακουμπούν μέσα στο ρευστό. Με αυτό τον τρόπο μετρούν την θερμοκρασία του ρευστού.

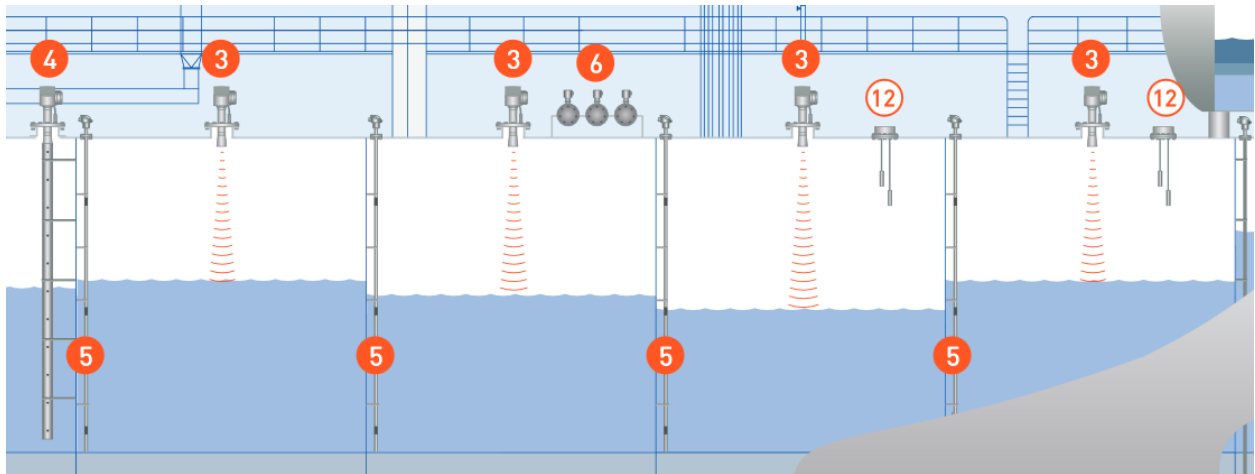
Στην πρώτη εικόνα φαίνεται μια τυπική θερμοαντίσταση που χρησιμοποιείται για μετρήσεις θερμοκρασίας σε δεξαμενές πλοίου. Είναι κατασκευασμένη είτε από ανοξείδωτο είτε από κράμα σιδηρονικελίου γιατί δεν απαιτείται μεγάλο εύρος. Χαρακτηριστικά μετράει θερμοκρασίες της τάξεως των 100 βαθμών Κελσίου με ακρίβεια της τάξης του μισού βαθμού. Στην δεύτερη εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται πολλές διαδοχικές θερμοαντιστάσεις εντός μιας σωλήνας και εισάγονται στην δεξαμενή. Η συγκεκριμένη ράβδος έχει την δυνατότητα να δεχθεί μέχρι και 16 θερμοαντιστάσεις και να δώσει είτε τιμές θερμοκρασίας για κάθε θέση είτε μέση τιμή θερμοκρασίας. Ακολούθως, στην τρίτη εικόνα παρουσιάζεται η διαδοχική τοποθέτηση αυτών των συστημάτων στις δεξαμενές φορτίου ενός πλοίου. Διακρίνεται σε κάθε δεξαμενή μια ράβδος με πολλές θερμοαντιστάσεις (ένδειξη υπ αριθμόν 5).^{[5], [6], [15], [17], [18]}



Εικόνα 6: Θερμοαντίσταση για μέτρηση θερμοκρασίας σε δεξαμενή πλοίου^[17]



Εικόνα 7: Συσκευή τοποθέτησης πολλαπλών θερμοαντιστάσεων για μέτρηση θερμοκρασίας σε δεξαμενή ^[18]



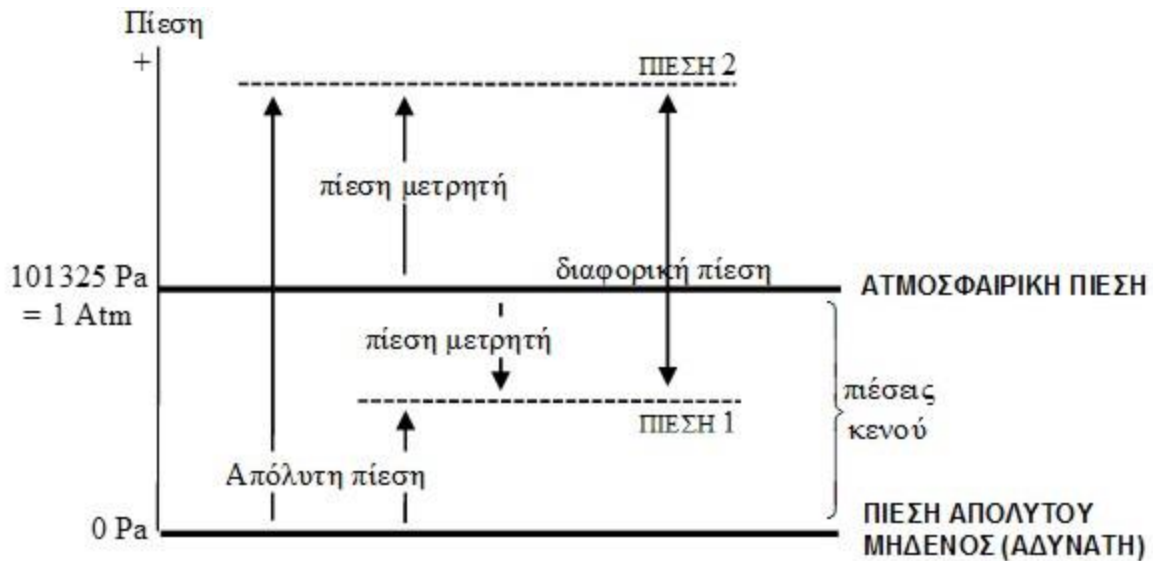
Εικόνα 8: Τοποθέτηση συσκευών μέτρησης θερμοκρασίας σε δεξαμενές φορτίου σε πλοίο ^[15]

3 Κεφάλαιο 3^ο "Αισθητήρες μέτρησης πίεσης"

3.1 Είδη αισθητήρων μέτρησης πίεσης

Ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη του οποίου η γνώση είναι πολύ σημαντική, ειδικά σε ότι αφορά σε ρευστά και στην φύλαξη τους σε δεξαμενές, είναι η πίεσή τους. Και αυτό γιατί καθορίζει τόσο τις ιδιότητες των ρευστών αυτών όσο και την ασφάλεια του συστήματος στο οποίο λειτουργούν αυτά τα ρευστά. Γι αυτό τον λόγο έχουν αναπτυχθεί πολλοί αισθητήρες μέτρησης πίεσης που βασίζονται σε διαφορετικές μηχανικές λειτουργίες. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι αισθητήρες μέτρησης πίεσης.

Πριν όμως παρουσιαστούν οι σημαντικότεροι αισθητήρες πίεσης πρέπει αναφερθεί ότι οι αισθητήρες πίεσης μετρούν πίεση σε σχέση με μια συγκεκριμένη πίεση αναφοράς. Η πίεση αναφοράς διαφέρει και κατά περίπτωση μπορεί να είναι η ατμοσφαιρική πίεση, η μηδενική πίεση ή μια οποιαδήποτε άλλη πίεση του δικτύου λειτουργίας. Για αυτό τον λόγο οι αισθητήρες διακρίνονται σε αισθητήρες απόλυτης πίεσης οι οποίοι μετρούν την πίεση ως προς την μηδενική πίεση, το απόλυτο κενό, αισθητήρες σχετικής πίεσης οι οποίοι μετρούν την πίεση σε σύγκριση με την ατμοσφαιρική πίεση και αισθητήρες διαφορικής πίεσης οι οποίοι μετρούν την διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο σημείων του δικτύου. Οι αισθητήρες μέτρησης απόλυτης πίεσης δίνουν μόνο θετικές τιμές γιατί δεν μπορεί να υπάρξει αρνητική πίεση. Το μηδέν τους βρίσκεται στο απόλυτο κενό. Οι αισθητήρες μέτρησης σχετικής ως προς της ατμοσφαιρική πίεση μπορούν να έχουν και αρνητικές τιμές εάν η πίεση που μετράνε είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Η μέγιστη αρνητική πίεση είναι ίση με -1atm που στην ουσία είναι το απόλυτο κενό. Οι διαφορικοί μετρητές πίεσης μπορούν να δώσουν διάφορες θετικές και αρνητικές τιμές αναλόγως της πίεσης με την οποία γίνεται η σύγκριση και η βαθμονόμηση των οργάνων. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το εύρος πιέσεως των τριών κατηγοριών μετρητών πίεσης.



Εικόνα 9: Σύγκριση μεταξύ πιέσεων^[7]

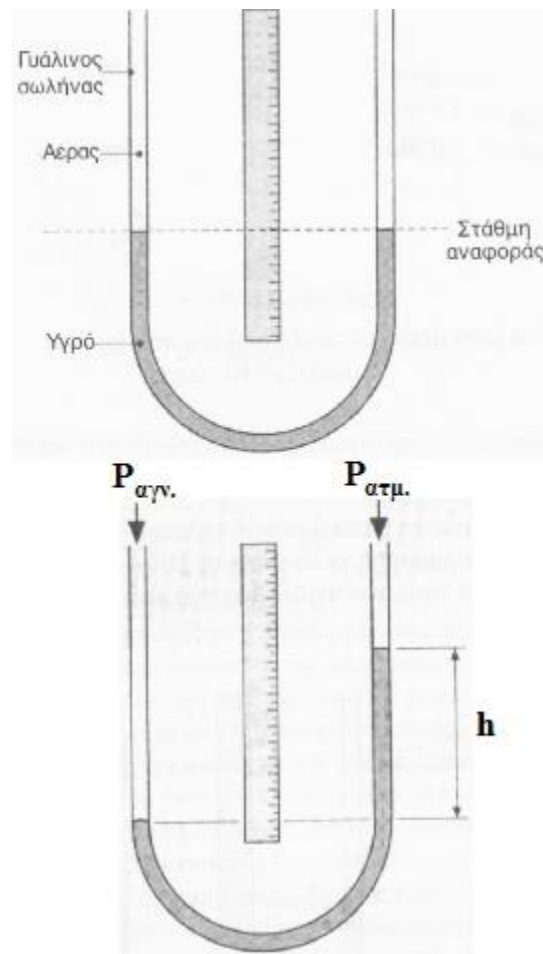
Οι αισθητήρες μέτρησης διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες αναλόγως εάν για την λειτουργία τους συγκρίνουν δυνάμεις ή εάν κατά την λειτουργία τους μετρούν ελαστική παραμόρφωση ενός αντικειμένου. Οι αισθητήρες της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται μανόμετρα ενώ οι αισθητήρες της δεύτερης κατηγορίας ονομάζονται ελαστικά μηχανικά στοιχεία με γνωστότερα εξ αυτών τους σωλήνες Bourdon, τα διαφράγματα και τους φουσητήρες, τους πιεζοαντιστάτες και τους πιεζοκρύσταλλους.

3.1.1 Μανόμετρα

Τα μανόμετρα είναι οι πρώτοι αισθητήρες μέτρησης πίεσης που θα εξετάσουμε. Θεωρητικά ο όρος μανόμετρο αναφέρεται σε όλους τους αισθητήρες που μετράνε πίεση. Στην πράξη όμως έχει επικρατήσει ως μανόμετρο να θεωρούνται οι συσκευές που μετρούν την πίεση με την χρήση ενός σωλήνα που φέρει υγρό. Είναι διαφορικοί αισθητήρες και μετρούν την πίεση στο ένα άκρο τους σε σχέση με την πίεση που προκαλεί η στήλη του ρευστού στο άλλο άκρο τους. Τα γνωστότερα μανόμετρα είναι το μανόμετρο υοειδούς σωλήνα (U-tube) και το μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα (inclined-tube).

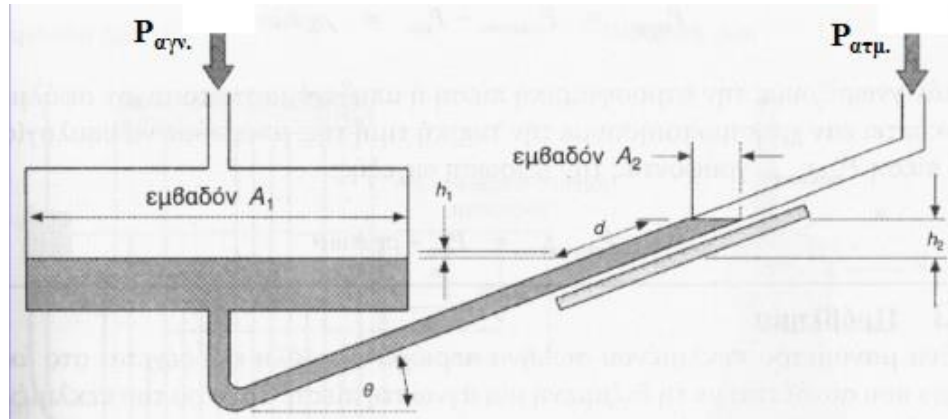
Τα μανόμετρα υοειδούς σωλήνα είναι τα πιο διαδεδομένα εξαιτίας της απλότητας στην χρήση τους. Στον σωλήνα βρίσκεται ρευστό το οποίο σε κατάσταση ηρεμίας έχει το ίδιο ύψος και στις δύο πλευρές του μανομέτρου. Σε περίπτωση που εφαρμοστεί πίεση στο ένα άκρο του τότε το ρευστό μετακινείται προς το άλλο άκρο του. Η διαφορά του ύψους στο άλλο άκρο

οδηγεί σε υπολογισμό της εφαρμοσμένης πίεσης στο πρώτο άκρο. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα μανόμετρο υοειδούς σωλήνα.



Εικόνα 10: Υοειδές μανόμετρο ^[9]

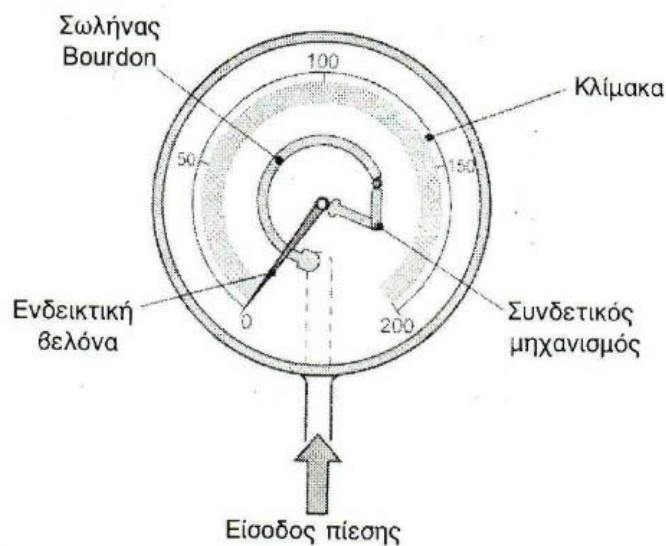
Τα μανόμετρα κεκλιμένου σωλήνα χρησιμοποιούνται γιατί παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση. Η κύρια διαφορά τους είναι στην επιφάνεια που ασκείται η προς μέτρηση πίεση κάτι που συνεπάγεται πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση γιατί η μετατόπιση σε αυτή είναι πολύ μικρότερη από την μετατόπιση του ρευστού στο τμήμα της μέτρησης. Αυτό συνεπάγεται ότι μικρές μεταβολές της πίεσης μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτές. Το πρόβλημα όμως είναι το μικρό εύρος μετρήσεων που μπορεί να επιτύχει γιατί για να αυξηθεί λίγο το εύρος μετρήσεων πρέπει να αυξηθεί πολύ το μήκος του σωλήνα μέτρησης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα.



Εικόνα 11: Μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα ^[9]

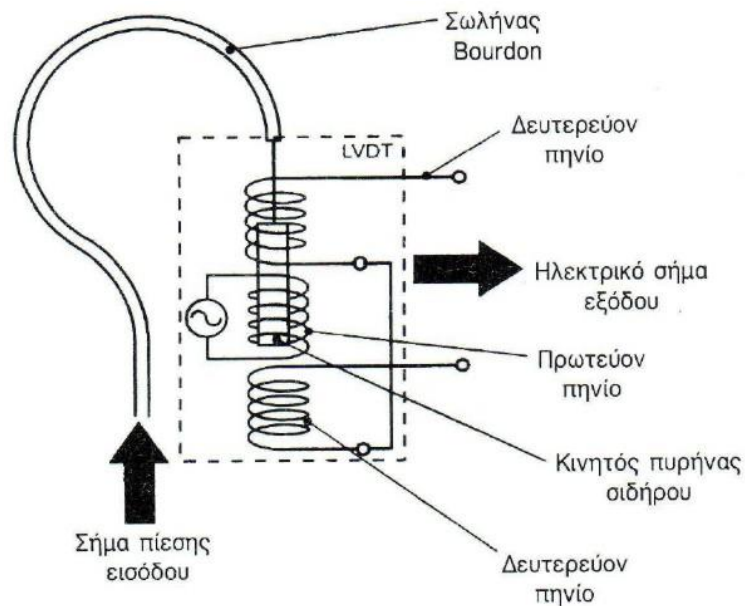
3.1.2 Σωλήνες Bourdon

Οι σωλήνες Bourdon είναι σωλήνες οι οποίοι δεν έχουν στρόγγυλη διατομή, συνήθως έχουν είτε οβάλ είτε ελλειπτική διατομή. Είναι τοποθετημένοι είτε σε μορφή C, είτε σπειροειδώς, είτε ελικοειδώς. Συνήθως είναι ορειχάλκινοι και έχουν το ένα άκρο τους σφραγισμένο. Στο άλλο άκρο τους εισέρχεται το ρευστό του οποίου η πίεση χρειάζεται να μετρηθεί. Η πίεση του ρευστού αυτού προκαλεί μεταβολή της διάταξης του σωλήνα ο οποίος τείνει να γίνει ευθύγραμμος. Στο άκρο του σωλήνα υπάρχει μια μηχανική διάταξη συνδεδεμένη με το άκρο του σωλήνα η οποία μεταβάλλει τον δείκτη του μανομέτρου. Όσο λοιπόν μεταβάλλεται το σχήμα του σωλήνα μετατοπίζεται και ο δείκτης του μετρητή και η ένδειξη. Παρακάτω φαίνεται ένας μετρητής Bourdon με σωλήνα τύπου C.



Εικόνα 12: Μετρητής πίεσης Bourdon ^[8]

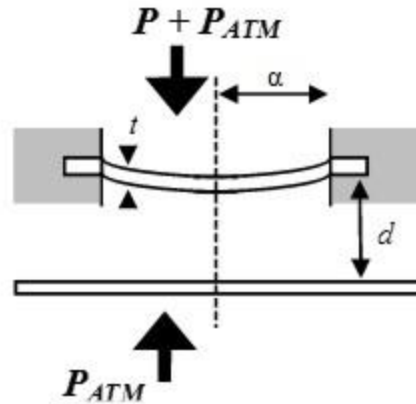
Σε σύγχρονες μορφές των αισθητήρων Bourdon η μέτρηση μετατρέπεται σε ψηφιακή και όχι σε αναλογική. Για αυτό τον λόγο αντί του συνδετικού μηχανισμού τοποθετείται ένας αισθητήρας μετατόπισης πηνίου. Στο άκρο του σωλήνα συνδέεται ένας πυρήνας ο οποίος, αναλόγως της μετρούμενης πίεσης, μετατοπίζεται εξαιτίας της μεταβολής του σχήματος του σωλήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια την μεταβολή της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το πηνίο άρα και την διαφοροποίηση στην ένδειξη του μετρητή. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας ψηφιακός μετρητής πίεσης Bourdon.



Εικόνα 13: Ψηφιακός μετρητής πίεσης Bourdon^[8]

3.1.3 Διαφράγματα

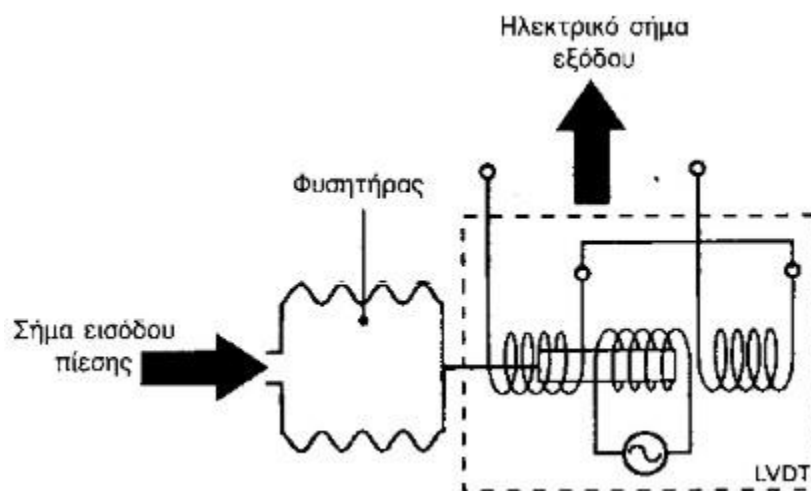
Τα διαφράγματα είναι μετρητές οι οποίοι μετρούν την πίεση μετρώντας επί της ουσίας την παραμόρφωση του διαφράγματος. Το διάφραγμα, κατασκευασμένο από ελαστικό υλικό, διαχωρίζει ένα χώρο σε δύο ανεξάρτητους υποχώρους. Στον ένα χώρο του διαφράγματος, συνήθως στον κάτω, επικρατεί η ατμοσφαιρική πίεση εάν πρόκειται για μετρητή σχετικής πίεσης ή η γνωστή πίεση εάν μετριέται διαφορική πίεση. Στον δεύτερο χώρο επικρατεί η προς μέτρηση πίεση. Η μέτρηση της μετατόπισης του διαφράγματος οδηγεί στην μέτρηση της πίεσης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διάταξη ενός τυπικού μετρητή διαφράγματος.



Εικόνα 14: Μετρητής πίεσης τύπου διαφράγματος ^[7]

3.1.4 Φυσητήρες

Οι φυσητήρες είναι αισθητήρες μέτρησης κυρίως διαφορικής πίεσης. Είναι κατασκευασμένοι από σωλήνες κράματος χαλκού οι οποίοι είναι βαθμονομημένοι. Στο ένα άκρο τους επικρατεί η γνωστή πίεση. Στο άλλο άκρο τους εφαρμόζεται η προς μέτρηση πίεση. Αυτό έχει ως συνέπεια την μεταβολή του μήκους του αισθητήρα άρα και την μεταβολή της ένδειξης βάσει της κλίμακας βαθμονόμησης. Αντίστοιχα με τους σωλήνες Bourdon μπορεί και οι φυσητήρες να δώσουν ψηφιακή ένδειξη εάν συνδεθούν με ένα αντίστοιχο πηνίο και πυρήνα. Σε αυτή την περίπτωση η μεταβολή του μήκους του φυσητήρα οδηγεί σε νέα θέση τον πυρήνα άρα και σε μεταβολή της ένδειξης. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένας φυσητήρας που παράγει ψηφιακό σήμα.



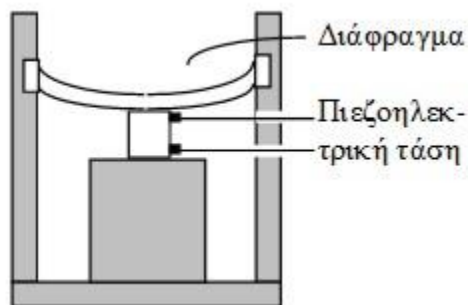
Εικόνα 15: Φυσητήρας με ψηφιακή μέτρηση πίεσης ^[9]

3.1.5 Πιεζοαντιστάτες

Οι πιεζοαντιστάτες είναι μετρητές πίεσης των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού (συνήθως μέταλλα, κράματα μετάλλων ή ημιαγωγοί) όταν αυτό πιεστεί κατά την κύρια διάστασή του. Όταν ένα υλικό από τα παραπάνω πιέζεται κατά την κύρια διάσταση του τότε μειώνεται το μήκος του και αυξάνεται η διατομή του με συνέπεια την μεταβολή της αντίστασής του. Όταν τα δύο άκρα των υλικών είναι συνδεδεμένα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα τότε μπορεί να μετρηθεί η μεταβολή της αντίστασής καθώς θα μεταβάλει την τάση που διαρρέει το κύκλωμα εξαιτίας μεγαλύτερων ή μικρότερων απωλειών.

3.1.6 Πιεζοκρύσταλλοι

Οι πιεζοκρύσταλλοι είναι συνήθως κρύσταλλοι χαλαζία οι οποίοι έχουν την ικανότητα όταν συμπιέζονται να μετατοπίζονται οι θέσεις των μορίων του, των θετικών και των αρνητικών φορτίων του, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας διαφοράς δυναμικού στα δύο άκρα του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Η διαφορά δυναμικού μετρείται σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και ακολούθως μετατρέπεται σε τιμές πίεσης. Συνήθως δεν χρησιμοποιούνται μόνοι τους για να μετρήσουν την πίεση ενός υλικού μα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με διάφραγμα έτσι ώστε η μέτρηση να είναι πιο ακριβής γιατί ασκείται σημειακά η πίεση από το διάφραγμα και όχι σε όλο τον κρύσταλλο από το ρευστό. Βρίσκονται τοποθετημένοι κάτω από το διάφραγμα και μετράνε την πίεση που ασκείται σε αυτούς από την μετατόπιση του διαφράγματος. Έτσι καθιστούν πιο ακριβή την μέτρηση της μετατόπισης του διαφράγματος και κατά συνέπεια την μέτρηση της πίεσης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συγκεκριμένη διάταξη μέτρησης πίεσης.^{[1], [2], [7], [8], [9]}



Εικόνα 16: Πιεζοηλεκτρικός μετρητής πίεσης^[7]

3.2 Εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων

Η μέτρηση της πίεσης στις δεξαμενές των πλοίων είναι πολύ σημαντική, κυρίως για λόγους ασφάλειας. Ο σημαντικότερος κίνδυνος είναι στις δεξαμενές που φέρουν ρευστά υπό πίεση. Στο πλοίο δεν είναι πολλές αυτές, είναι μόνο δεξαμενές μικρές που αποθηκεύουν ρευστά εξειδικευμένων λειτουργιών του πλοίου. Σε αυτές λοιπόν πρέπει να είναι γνωστή η πίεση ώστε να αποφευχθούν κίνδυνοι καταστροφής και πρόκλησης ζημιάς στο πλοίο. Αντίθετα, στις υπόλοιπες δεξαμενές η γνώση της πίεσης γίνεται καθαρά για εποπτικούς λόγους αλλά και για μέτρηση μέσω αυτών της στάθμης της δεξαμενής. Εξαιρέση από τα παραπάνω είναι οι δεξαμενές μεταφοράς υγραερίου ή υγροποιημένου φυσικού αερίου όπου η πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής είναι εξαιρετικής σημασίας ώστε να παραμείνει σε υγρή κατάσταση το αέριο.

Δεν είναι όλοι οι αισθητήρες μέτρησης κατάλληλοι για την μέτρηση της στάθμης της δεξαμενής. Τα μανόμετρα είναι τα πλέον ακατάλληλα και σπάνια χρησιμοποιούνται. Ο λόγος είναι ότι η μέτρηση τους δεν έχει μεγάλη ακρίβεια. Επίσης είναι δύσκολο να τοποθετηθούν στην δεξαμενή ώστε να λαμβάνουν υγρό από αυτή και να μπορούν να το μετατρέπουν σε τροποποίηση του ύψους στήλης του ρευστού. Τέλος, το ότι δεν μπορούν να δώσουν ψηφιακό σήμα τα καθιστά εντελώς ακατάλληλα για χρήση τους σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Οι φυσητήρες είναι επίσης μετρητές πίεσης οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται πάρα πολύ στις δεξαμενές. Οι φυσητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για την μέτρηση διαφορικής πίεσης και όχι για μετρήσεις σχετικής ως προς την ατμοσφαιρική πίεσης. Δεν παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια στην ένδειξή τους για αυτό και αποφεύγονται στις δεξαμενές.

Οι μετρητές Bourdon χρησιμοποιούνται στις δεξαμενές για τοπικές μετρήσεις κυρίως ως εφεδρικά μέσα μέτρησης πίεσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται στην αναλογική τους μορφή ώστε να υπάρχει μια άμεση ένδειξη της δεξαμενής επί τόπου στο πλήρωμα ώστε να μπορεί να κοιτάει την πίεση. Επίσης είναι μια εφεδρική μέτρηση η οποία σε περίπτωση που τα ηλεκτρονικά του πλοίου τεθούν εκτός λειτουργίας να γνωρίζει το πλήρωμα την πίεση της δεξαμενής.

Το κυριότερο σύστημα μέτρησης πίεσης που χρησιμοποιείται σε μια δεξαμενή πλοίου είναι συνδυασμός διαφράγματος με πιεζοκρύσταλλο. Το διάφραγμα δεν χρησιμοποιείται μόνο του γιατί είναι δύσκολο να μετρηθεί η μετατόπισή του με ακρίβεια. Ο πιεζοκρύσταλλος επίσης δεν χρησιμοποιείται μόνος του γιατί όταν τοποθετηθεί μέσα σε ένα ρευστό πιέζεται από όλες τις

κατευθύνσεις έτσι δεν μπορεί να δώσει ένδειξη. Για αυτό τον λόγο γίνεται ένας συνδυασμός των δύο συστημάτων. Τοποθετείται λοιπόν ένα διάφραγμα στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Κάτω από το διάφραγμα υπάρχει ένας πιεζοκρυστάλλος. Όσο αυξάνεται η πίεση το διάφραγμα παραμορφώνεται κάνοντας κοιλιά προς τα κάτω και πιέζει τον πιεζοκρυστάλλο. Ο πιεζοκρυστάλλος πιεζόμενος στην μεγάλη του διάσταση δίνει το αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα το οποίο μετατρέπεται σε τιμή πίεσης. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του συνδυασμού είναι η ακρίβεια της μέτρησης εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας του διαφράγματος. Η μεγάλη επιφάνεια συνεπάγεται ότι μπορεί να αντληφθεί μικρές μετατροπές πίεσης παραμορφούμενο. Η άμεση απόκριση του πιεζοκρυστάλλου σε αυτές τις αποκρίσεις δίνει την δυνατότητα για αντίληψη και της παραμικρής αλλαγής της πίεσης. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα για ηλεκτρονικό σήμα κάτι που τα καθιστά ιδανικά για συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Τέλος, η αξιοπιστία του μετρητή είναι μεγάλη κάτι που το καθιστά ιδανικό για χρήση μακροχρόνια χωρίς φθορές του μετρητή και μη αξιόπιστες μετρήσεις. Παρακάτω βλέπουμε την διάταξη μέτρησης με χρήση διαφράγματος και πιεζοκρυστάλλου.



Εικόνα 17: Διάταξη μέτρησης πίεσης σε δεξαμενή με την χρήση διαφράγματος και πιεζοκρυστάλλου ^[19]

Εκτός του παραπάνω συνδυασμού συχνά χρησιμοποιούνται και οι πιεζοαντιστάτες ως μετρητές πίεσης στις δεξαμενές των πλοίων. Ο λόγος δεν είναι τόσο η ακρίβεια ή τα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά τους αλλά το ότι ήδη υπάρχουν. Ένας αντιστάτης υπάρχει ήδη μέσα στην δεξαμενή για να μετρήσει θερμοκρασία. Όμως καθώς πιέζεται μεταβάλλεται η αγωγιμότητά του έτσι μπορεί να μετρήσει και την πίεση. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνουμε από ένα αισθητήρα τόσο την ένδειξη της πίεσης όσο και την θερμοκρασία. Αυτό είναι θετικό γιατί δεν χρειάζεται η δημιουργία δεύτερης υποδοχής για τοποθέτηση του συστήματος στην δεξαμενή όμως σε περίπτωση που χαλάσει τότε δεν υπάρχει ένδειξη ούτε θερμοκρασίας ούτε πίεσης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένας αισθητήρας που μετράει και θερμοκρασία και πίεση.^{[8], [9], [17], [19]}



Εικόνα 18: Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και πίεσης σε δεξαμενή πλοίου ^[17]

4 Κεφάλαιο 4^ο "Αισθητήρες μέτρησης στάθμης"

4.1 Είδη αισθητήρων μέτρησης στάθμης

Η μέτρηση στάθμης είναι μια εκ των σημαντικότερων μετρήσεων που πρέπει να γίνουν σε μια δεξαμενή ώστε να είναι γνωστό το περιεχόμενό της. Για παράδειγμα είναι πολύ σημαντικό στην δεξαμενή των καυσίμων να ξέρουμε όχι μόνο το ότι υπάρχει καύσιμο αλλά και το πόσο καύσιμο υπάρχει. Αντίστοιχης κρισιμότητας είναι η μέτρηση της στάθμης και στις άλλες δεξαμενές ενός πλοίου.

Η μέτρηση της στάθμης γίνεται με αισθητήρες μέτρησης στάθμης. Υπάρχουν αρκετοί αισθητήρες μέτρησης στάθμης οι γνωστότεροι όμως είναι το δοχείο παρατήρησης, η ράβδος βυθομέτρησης, ο πλωτήρας, οι βελόνες (αγωγιμότητας και χωρητικότητας), οι υπέρηχοι, και η έμμεση μέτρηση με χρήση αισθητήρων πίεσης. Στις επόμενες ενότητες θα δούμε αυτούς τους αισθητήρες.

4.1.1 Δοχείο παρατήρησης

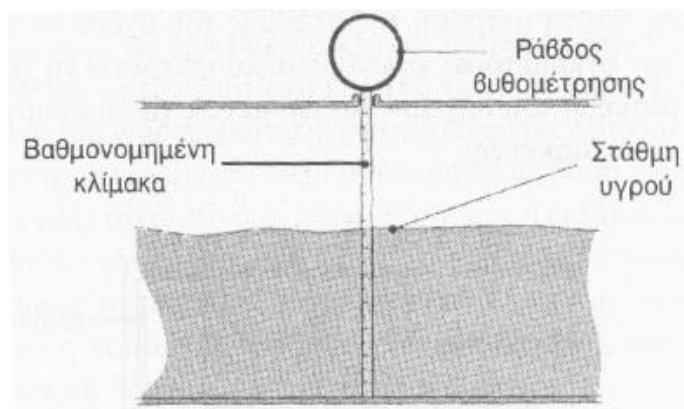
Το δοχείο παρατήρησης είναι ο απλούστερος τρόπος μέτρησης στάθμης μιας δεξαμενής. Ένα δοχείο που επικοινωνεί με την δεξαμενή βρίσκεται εκτός αυτής, έχει διάφανα τοιχώματα και δείχνει την ποσότητα της δεξαμενής. Η λειτουργία του βασίζεται στην λειτουργία των συγκοινωνούντων δοχείων βάσει της οποίας δύο δοχεία που συγκοινωνούν έχουν την ίδια στάθμη αν δέχονται την ίδια εξωτερική πίεση. Στην πράξη συνήθως είναι ένας βαθμονομημένος κύλινδρος στο εξωτερικό της δεξαμενής με ύψος ίσο με το ύψος της δεξαμενής. Σε σύγχρονα συστήματα δεν βρίσκει εφαρμογές καθώς δεν μπορεί να δώσει ψηφιακή έξοδο και να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα αυτόματου ελέγχου. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το δοχείο παρατήρησης μιας δεξαμενής.



Εικόνα 19: Μέτρηση στάθμης δεξαμενής με παρατήρηση ^[9]

4.1.2 Ράβδος βυθομέτρησης

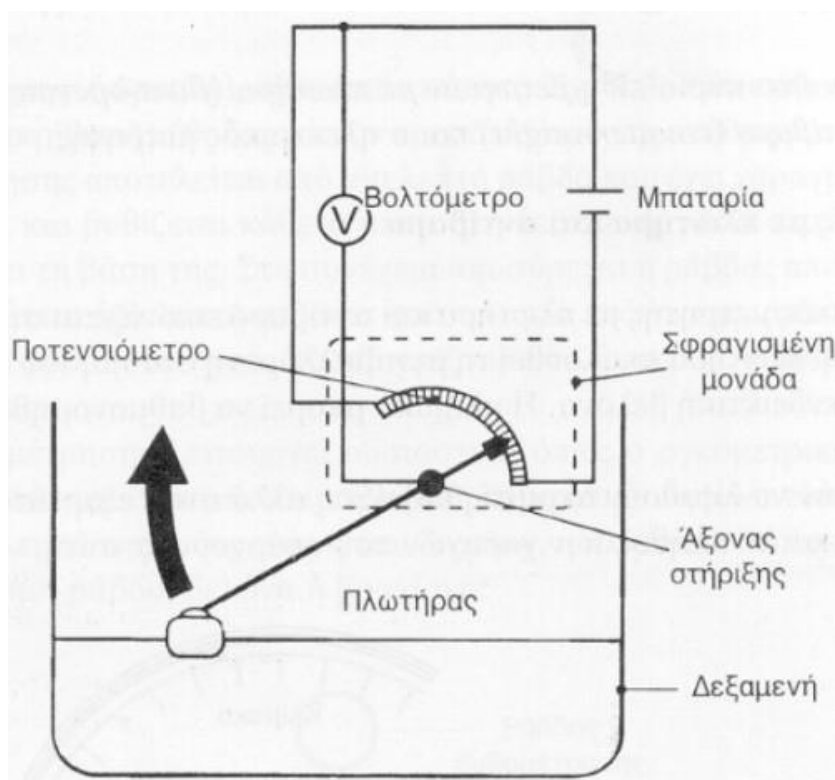
Η ράβδος βυθομέτρησης είναι μια ράβδος η οποία τοποθετείται μέσα στην δεξαμενή και καταγράφει το ύψος του ρευστού σε αυτή. Ακολούθως εξέρχεται της δεξαμενής και ο χειριστής διαβάζει την ένδειξη. Είναι μια από τις πιο απλές μα συνάμα και λιγότερο ακριβείς μεθόδους μέτρησης της στάθμης. Η καθετότητα τοποθέτησης της ράβδου είναι κρίσιμος παράγοντας ορθής μέτρησης και εναπόκειται στον χειριστή να περιορίσει το λάθος. Επίσης η ακριβής ένδειξη στην ράβδο δεν υπάρχει παρά μόνο φαίνεται που ακούμπησε το υγρό κάτι που αυξάνει την πιθανότητα σφάλματος. Ένα ακόμη μειονέκτημα της είναι ότι απαιτείται διαφορετική βαθμονόμηση για κάθε δεξαμενή εκτός αν αυτές έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Για αυτούς τους λόγους η ράβδος χρησιμοποιείται μόνο για χοντρικές, ενδεικτικές μετρήσεις. Φυσικά δεν βρίσκει εφαρμογές στις δεξαμενές των πλοίων γιατί πέραν των παραπάνω δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα αυτόματου ελέγχου καθώς δεν μπορεί να παράξει ψηφιακές ενδείξεις. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η μέτρηση στάθμης με την ράβδο βυθομέτρησης.



Εικόνα 20: Μέτρηση στάθμης με ράβδο βυθομέτρησης ^[9]

4.1.3 Πλωτήρας

Ο πλωτήρας είναι η απλούστερη μέθοδος μέτρησης της στάθμης μιας δεξαμενής. Προσομοιάζει τον πλωτήρα που υπάρχει μέσα στο καζανάκι μόνο που εδώ είναι συνδεδεμένος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και μας δείχνει την στάθμη της δεξαμενής και δεν λειτουργεί μηχανικά μέχρι την πλήρωση της δεξαμενής. Για να επιτύχει να δείξει την στάθμη της δεξαμενής ο πλωτήρας συνδέεται με ένα ποτενσιόμετρο. Έτσι κατά την περιστροφή του πλωτήρα (η οποία είναι ανάλογη με την στάθμη της δεξαμενής) αλλάζει η τιμή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου άρα τροποποιείται και η τάση του κυκλώματος και η ένδειξη στο βολτόμετρο. Φυσικά υπάρχει και η κλασσική διάταξη πλωτήρα με μηχανική ένδειξη η οποία χρησιμοποιεί ένα αντίβαρο το οποίο μετατοπίζεται αναλόγως της θέσης του πλωτήρα. Η μηχανική διάταξη ανακαλύφθηκε πρώτη όμως πλέον δεν χρησιμοποιείται γιατί περιορίζεται η ακρίβεια του. Μια απεικόνιση ενός συστήματος μέτρησης στάθμης με πλωτήρα και ψηφιακή έξοδο φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 21: Μέτρηση στάθμης με την χρήση πλωτήρα ^[10]

4.1.4 Βελόνα χωρητικότητας

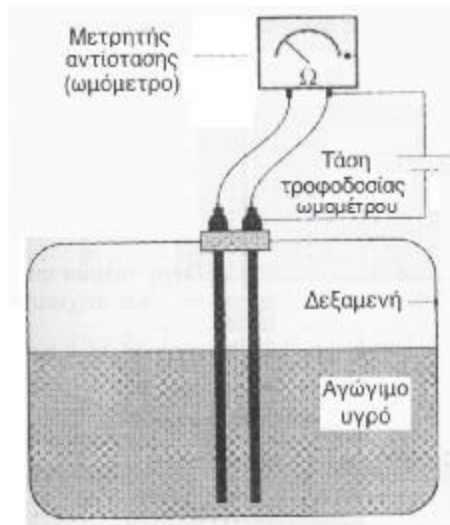
Η βελόνα χωρητικότητας είναι άλλη μια μέθοδος μέτρησης στάθμης δεξαμενής. Οι βελόνες επί της ουσίας είναι δύο κυλινδρικοί σωλήνες τοποθετημένοι ο ένας εσωτερικά του άλλου. Αποτέλεσμα είναι μεταξύ των δύο σωλήνων να δημιουργείται ένας πυκνωτής. Αρχικά μεταξύ των σωλήνων υπάρχει αέρας και όσο γεμίζει η δεξαμενή το υγρό εκτοπίζει τον αέρα. Η αλλαγή του ρευστού από αέρα σε ρευστό αλλάζει την διηλεκτρική σταθερά που βρίσκεται ανάμεσα στους δύο σωλήνες άρα και την χωρητικότητα του πυκνωτή. Εάν αυτός ο ιδιότυπος πυκνωτής συνδεθεί σε ένα κύκλωμα τότε η αλλαγή της χωρητικότητας του μετατρέπεται σε μεταβολή της τάσης του κυκλώματος. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η μέτρηση στάθμης με βελόνα χωρητικότητας.



Εικόνα 22: Μέτρηση στάθμης με χρήση χωρητικής βελόνας ^[9]

4.1.5 Βελόνα αγωγιμότητας

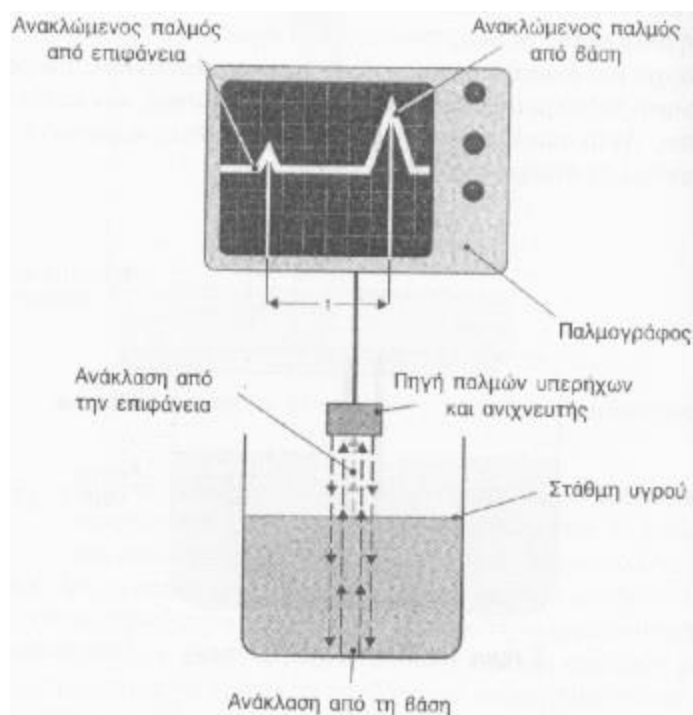
Η βελόνα αγωγιμότητας είναι μια παραπλήσια με την προηγούμενη μέθοδος με διαφορά τώρα το ότι αντί να μετριέται η χωρητικότητα ενός πυκνωτή μετριέται η αγωγιμότητα ενός αγωγού. Η βελόνα αυτή αποτελείται από δύο παράλληλα ηλεκτρόδια. Αναλόγως του ρευστού που υπάρχει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια μεταβάλλεται η αγωγιμότητά τους. Η μεταβολή αυτή μετριέται με ωμόμετρο και μπορεί να προσδιορίσει την στάθμη του ρευστού εντός της δεξαμενής. Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε την λειτουργία της βελόνας αγωγιμότητας.



Εικόνα 23: Μέτρηση ύψους στάθμης με βελόνα αγωγιμότητας ^[9]

4.1.6 Υπέρηχοι - Ραντάρ

Οι υπέρηχοι είναι μια εκ των πλέον σύγχρονων τρόπων μέτρησης της στάθμης μιας δεξαμενής. Σύστημα υπερήχων, τοποθετημένο στην δεξαμενή, εκπέμπει συνεχώς υπερήχους προς το υγρό. Η επιφάνεια του υγρού αντανακλά πίσω ένα ποσοστό των υπερήχων. Οι υπόλοιποι υπέρηχοι αντανακλώνται από την βάση της δεξαμενής και επιστρέφουν πίσω. Αν η δεξαμενή είναι γεμάτη οι υπέρηχοι που έχουν αντανακλαστεί θα γυρίσουν σύντομα στον δέκτη. Σε μια δεξαμενή με χαμηλότερη στάθμη θα καθυστερήσουν χρονικά. Οι υπέρηχοι που επιστρέφουν ανακλώμενοι στην βάση της δεξαμενής θέλουν τον ίδιο χρόνο και στις δύο περιπτώσεις. Μετρώντας λοιπόν τον χρόνο μεταξύ της λήψης των ανακλώμενων υπερήχων της επιφάνειας και της βάσης της δεξαμενής υπολογίζεται η στάθμη των δεξαμενών. Η ακρίβεια αυτού του συστήματος είναι πολύ μεγάλη, μπορούν να μετρηθούν χωρητικότητες δεξαμενών μεγάλου βάθους, το σύστημα μέτρησης δεν έχει καμιά επαφή με το υγρό και η έξοδός του είναι πλήρως ψηφιακή άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα αυτόματου ελέγχου. Αυτό συνεπάγεται ότι το συγκεκριμένο σύστημα είναι ίσως η καλύτερη λύση μέτρησης στάθμης δεξαμενής, έχει όμως ένα πολύ μεγάλο κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα σύστημα μέτρησης στάθμης με χρήση υπέρηχου.



Εικόνα 24: Μέτρηση στάθμης με χρήση υπέρηχου ^[9]

4.1.7 Μέτρηση στάθμης με χρήση αισθητήρων πίεσης

Δεδομένου ότι στην δεξαμενή τοποθετείται μέσα ρευστό συνεπάγεται ότι όσο περισσότερο ρευστό υπάρχει μέσα στην δεξαμενή τόσο μεγαλύτερη πίεση ασκείται στην βάση της. Εάν υπάρχει ένας αισθητήρας μέτρησης της πίεσης στην βάση της δεξαμενής τότε μπορεί εύκολα να μετρηθεί η πίεση που ασκείται από όλο τον όγκο του ρευστού. Και δεδομένου του ότι είναι γνωστή η διατομή της δεξαμενής τότε εύκολα μπορεί να προσδιοριστεί το ύψος της στάθμης της. Συνηθέστερος αισθητήρας πίεσης που χρησιμοποιείται από όσους αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα είναι ο αισθητήρας διαφράγματος.^{[1], [2], [9], [10]}

4.2 Εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων

Σε όλες τις δεξαμενές που φέρουν τα πλοία είναι απαραίτητοι οι μηχανισμοί μέτρησης της στάθμης. Η αιτία είναι φυσικά ότι γνωρίζοντας την στάθμη και την διατομή της δεξαμενής μπορείς να υπολογίσεις αμέσως τον όγκο του ρευστού που βρίσκεται εντός. Αυτό είναι το σημαντικό μέγεθος το οποίο απαιτείται να γνωρίζει το πλήρωμα του πλοίου. Για παράδειγμα στις δεξαμενές καυσίμου είναι απαραίτητο να γνωρίζεις την ποσότητα που βρίσκεται εντός της δεξαμενής ώστε να αποφασίσεις εάν χρειάζεσαι ανεφοδιασμό. Στις δεξαμενές νερού χρειάζεται

να ξέρεις πόσο νερό υπάρχει ώστε να ξέρεις αν επαρκεί για την ψύξη του κινητήρα και για τις άλλες λειτουργίες που απαιτείται. Στις δεξαμενές φορτίου χρειάζεται η γνώση της στάθμης για να ξέρει εάν μπορεί να φορτώσει ακόμη περισσότερο φορτίο ώστε να εκτελεί το δρομολόγιο με το μεγαλύτερο δυνατό φορτίο. Στις δεξαμενές έρματος είναι απαραίτητη η γνώση της στάθμης ώστε να γνωρίζει το πλήρωμα ότι υπάρχει ευστάθεια στο πλοίο και μπορεί να γίνει το δρομολόγιο με ασφάλεια.

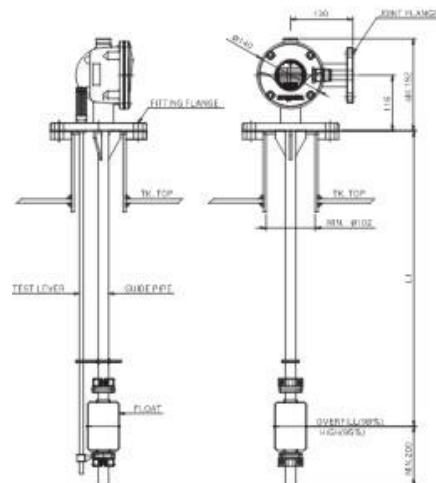
Ποιος όμως εκ των παραπάνω αισθητήρων είναι ο κατάλληλος ώστε να χρησιμοποιηθεί στις δεξαμενές του πλοίου για να δείξει την στάθμη τους αναλόγως της χρήσης τους; Ας ξεκινήσουμε αντίθετα, ποιοι είναι ακατάλληλοι. Ο πρώτος αισθητήρας που απορρίπτεται για χρήση σε δεξαμενή είναι η ράβδος βυθομέτρησης. Ο λόγος είναι το μεγάλο σφάλμα που φέρει αυτός ο αισθητήρας. Επίσης η μέτρηση του δεν είναι αξιόπιστη καθώς είναι άμεσα εξαρτώμενη με το πόσο σωστά μπορεί να κρατήσει την ράβδο ο άνθρωπος που επιφορτίζεται της μέτρησης. Ένας τρίτος παράγοντας που αποτρέπει την χρήση της είναι το ότι για να διαβάσει την ένδειξη ο χειριστής πρέπει να αφήσει αποτύπωμα το ρευστό στην ράβδο. Έτσι σε περίπτωση που το ρευστό είναι διαφανές, όπως το νερό, η μέτρηση αποτυπώματος είναι πολύ δύσκολη. Ένας ακόμη λόγος που αποτρέπει την χρήση της είναι ότι η δεξαμενή πρέπει να ανοίξει για να τοποθετηθεί εντός η ράβδος. Αυτό σε κάποιες δεξαμενές δεν δημιουργεί πρόβλημα σε κάποιες άλλες όμως, όπως για παράδειγμα οι δεξαμενές υγροποιημένου υγραερίου ή φυσικού αερίου αυτό απαγορεύεται και δεν μπορεί να γίνει. Τέλος, η μέτρηση είναι καθαρά οπτική, δεν υπάρχει η δυνατότητα λήψης ηλεκτρικού σήματος σχετικά με την στάθμη της δεξαμενής έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου. Όλοι αυτοί οι λόγοι καθιστούν την χρήση της ράβδου βυθομέτρησης μηδενική στα σύγχρονα πλοία.

Οι επόμενες μέθοδοι μέτρησης στάθμης που απορρίπτονται είναι οι βελόνες. Βρίσκουν μεν κάποιες εφαρμογές αλλά πολύ λίγες. Ο λόγος είναι ότι η αγωγιμότητα ή η χωρητικότητά τους, με την πάροδο του χρόνου τροποποιούνται κάτι που καθιστά την μέτρηση μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αναξιόπιστη. Πέραν τούτου, υπάρχει ο κίνδυνος χημικής αντίδρασης με το φορτίο που μπορεί να προκαλέσει την αλλοίωση του φορτίου ή την ταχύτερη φθορά των βελόνων άρα και την μείωση της ακρίβειάς τους. Επιπλέον, κατά την παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου είτε από την βελόνα αγωγιμότητας είτε από την χωρητική βελόνα πάντα ελλοχεύει ο κίνδυνος σπινθηρισμού. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι ανώδυνο αυτό. Όχι όμως αν η βελόνα μετρά την στάθμη της δεξαμενής καυσίμου. Για αυτούς τους λόγους οι βελόνες βρίσκουν

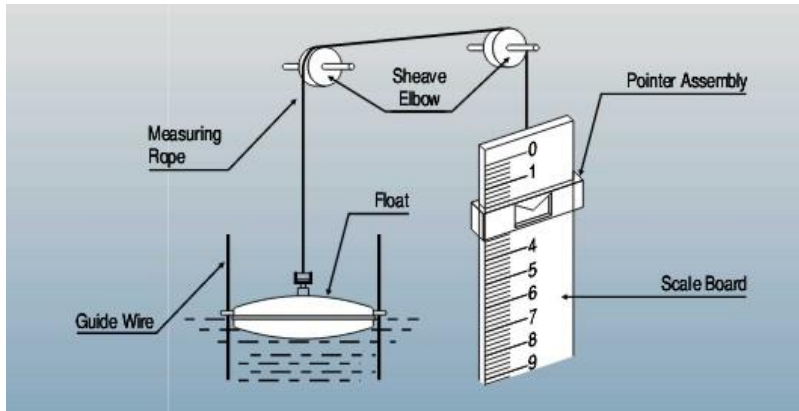
ελάχιστες εφαρμογές, κυρίως σε δεξαμενές νερού ή έρματος και συνήθως ως συμπληρωματικές μέθοδοι μέτρησης της στάθμης.

Οι πλωτήρες είναι αισθητήρες μέτρησης της στάθμης που βρίσκουν αρκετές εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων. Χρησιμοποιούνται όμως συνήθως ως αισθητήρες που υπολογίζουν πότε έχει γεμίσει η δεξαμενή και διακόπτουν την παροχή και όχι ως αισθητήρες συνεχούς αναπαράστασης της στάθμης της δεξαμενής. Ο λόγος είναι ότι για να αναπαριστούν συνεχώς την στάθμη της δεξαμενής χρειάζονται μεγάλα μηχανικά στελέχη, ειδικά σε βαθιές δεξαμενές, κάτι που κάνει την χρήση τους δύσκολη. Αντιθέτως, η τοποθέτηση τους στο πάνω μέρος της δεξαμενής δεν απαιτεί κάτι τέτοιο έτσι ενεργοποιούνται όταν η στάθμη της δεξαμενής ανεβαίνει σε πολύ υψηλά επίπεδα και μόλις υπάρξει πλήρωση στέλνουν ηλεκτρικό σήμα και διακόπτεται η παροχή του ρευστού στην δεξαμενή. Το ότι μπορούν να συνδεθούν σε ηλεκτρικό κύκλωμα και να συμμετέχουν σε ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου υπό την μορφή διακόπτη είναι το μεγάλο τους πλεονέκτημα που τους επιτρέπει ακόμη την χρήση.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένας πλωτήρας που χρησιμοποιείται στο πάνω μέρος της δεξαμενής ώστε να ενημερώνει όταν πλησιάζει η υπερχειλίση της δεξαμενής. Δίνει ηλεκτρικό σήμα όταν ο πλωτήρας φτάσει στις δύο οριζόντιες ράβδους όπου επί της ουσίας διακόπτει μια οπτική δέσμη και δίνει ένα δεύτερο σήμα όταν ακουμπήσει στο πάνω μέρος του πιέζοντας ένα πιεζοκρύσταλλο και κλείνοντας την παροχή αφού έχει γεμίσει η δεξαμενή. Στην μεθεπόμενη εικόνα παρουσιάζεται ένας πλωτήρας μέτρησης της στάθμης στο σύνολο του ύψους της δεξαμενής. Είναι μηχανικός αλλά αντίστοιχα θα μπορούσε να είναι και ηλεκτρικός.

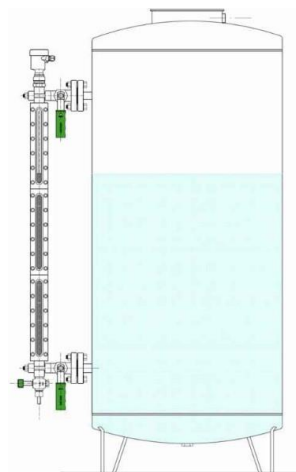


Εικόνα 25: Πλωτήρας που χρησιμοποιείται για ένδειξη υπερπλήρωσης της δεξαμενής του πλοίου ^[12]



Εικόνα 26: Πλωτήρας συνεχούς μέτρησης στάθμης δεξαμενής πλοίου ^[13]

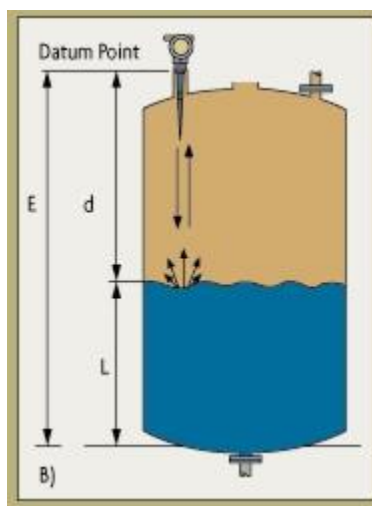
Η στάθμη της δεξαμενής μπορεί να μετρηθεί και με δοχείο παρατήρησης. Είναι μια μέθοδος που παρότι έχει μειονεκτήματα με κυριότερο το ότι δεν μπορεί να δώσει ψηφιακή ένδειξη χρησιμοποιείται συχνά στα πλοία. Ο λόγος είναι ότι χρησιμοποιείται ως εφεδρική μέθοδος ώστε να μπορεί να διαβαστεί η ένδειξη σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο δεν λειτουργούν τα ηλεκτρονικά συστήματα μέτρησης στάθμης. Επίσης είναι ένας εύκολος τρόπος να διακρίνει οπτικά το πλήρωμα αν η δεξαμενή είναι γεμάτη, άδεια, στην μέση χωρίς να το ενδιαφέρει σε πρώτη φάση η ακριβής ένδειξη. Δηλαδή δίνει μια αποτύπωση της εικόνας της δεξαμενής διευκολύνοντας το πλήρωμα να κάνει σύντομα την δουλειά του. Για παράδειγμα στην πλήρωση δεξαμενών φορτίου μπορεί να βλέπει ποιες δεξαμενές είναι γεμάτες και να ξέρει πόσες θα γεμίσει ακόμη. Επίσης μπορεί να βλέπει εάν πλησιάζει να γεμίσει ώστε να έχει το μυαλό του για να παρακολουθεί και τους μετρητές ακριβούς ένδειξης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ο δείκτης μέτρησης στάθμης με δοχείο παρατήρησης σε μια δεξαμενή νερού του πλοίου.



Εικόνα 27: Μέτρηση στάθμης με την χρήση δοχείου παρατήρησης ^[14]

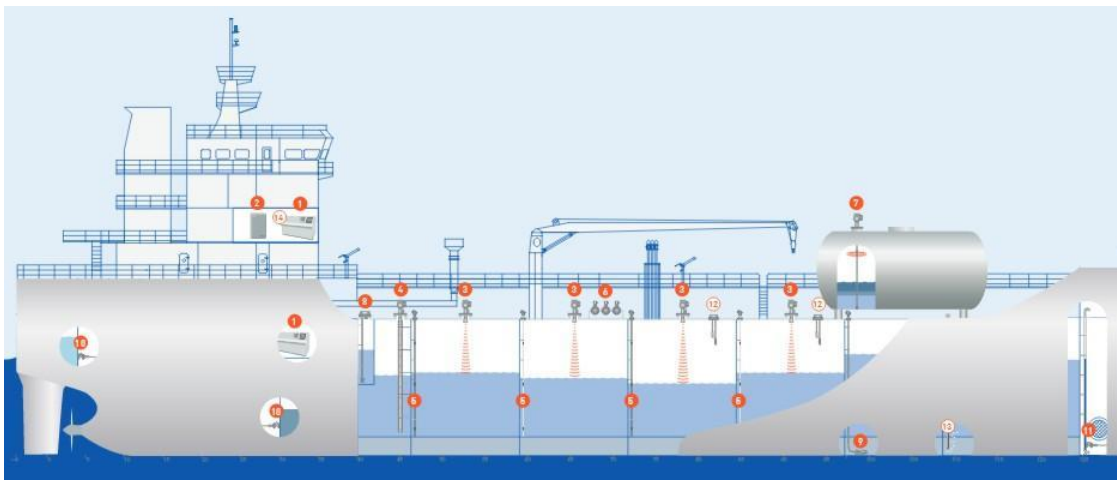
Η προτελευταία μέθοδος μέτρησης στάθμης που είναι ίσως και η πλέον χρησιμοποιούμενη είναι οι αισθητήρες πίεσης και κυρίως οι αισθητήρες διαφράγματος σε συνδυασμό με πιεζοκρύσταλλο που βρίσκονται στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Χρησιμοποιούνται ώστε να μετρήσουν την πίεση της δεξαμενής και αφού υπάρχουν χρησιμοποιούνται και για την μέτρηση της στάθμης. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατός ο έλεγχος του συστήματος της στάθμης ηλεκτρονικά καθώς ο πιεζοκρύσταλλος δίδει ηλεκτρικό σήμα στο σύστημα αυτόματου ελέγχου. Συνήθως αυτή η μέθοδος δεν είναι η κύρια μέθοδος μέτρησης της στάθμης αλλά χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την διασταύρωση δεδομένων με την κύρια μέθοδο. Επίσης με αυτό τον τρόπο ελέγχεται εάν μετράται ορθά η πίεση στην δεξαμενή έτσι ώστε να μπορούμε να δεχτούμε τις μετρήσεις πίεσης που λαμβάνουμε.

Η τελευταία μέθοδος μέτρησης στάθμης δεξαμενών πλοίου είναι οι υπέρηχοι – ραντάρ. Είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος και η πλέον χρησιμοποιούμενη. Έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι είναι πλήρως ηλεκτρονικοί μετρητές και οι μετρήσεις τους οδηγούνται κατευθείαν σε συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Το δεύτερο είναι ότι δεν έρχονται σε καμία επαφή με τα ρευστά των οποίων την στάθμη μετρούν. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν υπάρχει η πιθανότητα να αλλοιώσουν το ρευστό άλλα ούτε και να φθαρούν οι ίδιοι κάτι που θα περιορίσει την ακρίβειά τους. Το τρίτο είναι ότι έχουν μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία ως μετρητές. Για αυτούς τους λόγους έχουν επικρατήσει στις εφαρμογές σε δεξαμενές πλοίων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η λειτουργία ενός μετρητή με radar σε δεξαμενή πλοίου.

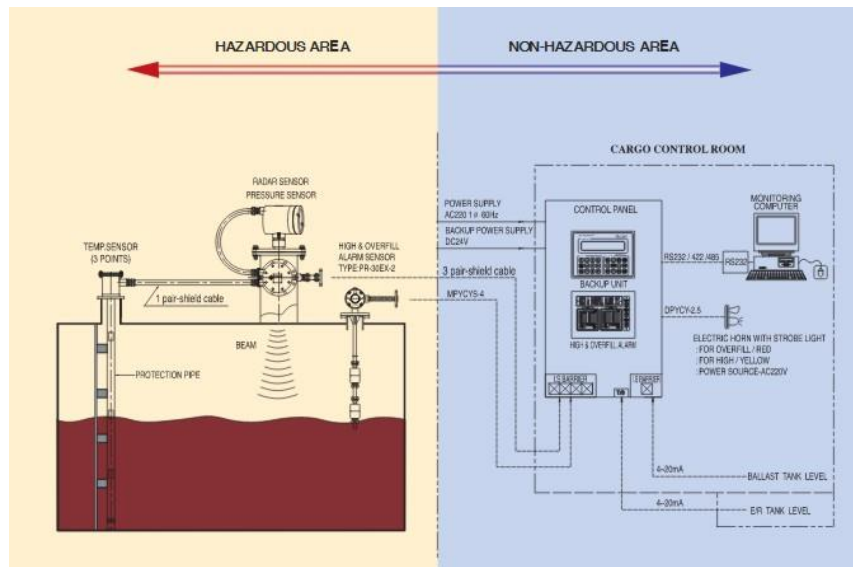


Εικόνα 28: Μέτρηση στάθμης δεξαμενής πλοίου με radar^[16]

Στην πράξη δεν χρησιμοποιείται μόνο ένα είδος αισθητήρα. Αντίθετα χρησιμοποιείται συνδυασμός αισθητήρων ώστε η μονάδα να επεξεργάζεται τα αποτελέσματα και να μπορεί να κρίνει την ορθή λειτουργία όλων των αισθητήρων. Συνήθως τα σύγχρονα πλοία φέρουν σύστημα υπέρηχων – ραντάρ. Εκτός αυτού φέρουν και μετρητή στάθμης μέσω πίεσης καθώς τον αισθητήρα ήδη τον έχουν για να μετρήσουν την πίεση. Από εκεί και πέρα έχουν συνήθως άλλο ένα ή δύο αισθητήρες για επιπλέον μετρήσεις. Στην πρώτη εικόνα που φαίνεται παρακάτω χρησιμοποιούνται αισθητήρες δοχείου παρατήρησης και πλωτήρες για ένδειξη πληρότητας ενώ στην δεύτερη εικόνα χρησιμοποιούνται μόνο πλωτήρες για ένδειξη όλης της δεξαμενής και για ένδειξη πληρότητας. [9], [10], [12], [13],[14], [15], [16]



Εικόνα 29: Μέτρηση στάθμης με radar, πλωτήρα ένδειξης υπερχειλίσσης και δοχείο παρατήρησης [15]



Εικόνα 30: Μέτρηση στάθμης δεξαμενής πλοίου με radar και πλωτήρα μέγιστης στάθμης [12]

Βιβλιογραφία

1. Δ. Πράπας, «Τεχνολογία Μετρήσεων: Αρχές και Εφαρμογές», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2009.
2. J. Fraden, «Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications», 4th Editions, Springer, New York, USA, 2010.
3. R. C. Dorf, R. H. Bishop, «Σύγχρονα συστήματα Αυτόματου Ελέγχου», 11^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2009.
4. Α. Χατζηευφραϊμίδης, «Τεχνολογία μετρήσεων», Σημειώσεις για το μάθημα Τεχνολογίας Μετρήσεων, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ Χαλκίδας. Λήψη από:
http://www.ee.teihal.gr/lessons/techno/private/uploads/shmeioseis_f_.pdf
5. Α. Παπασταμούλης, «Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας», Σημειώσεις για το μάθημα Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου, Σχολή Μηχανικών ΑΕΝ Μακεδονίας. Λήψη από:
<https://maredu.gunet.gr/modules/document/?course=MAK176>
6. Κ. Χριστοδουλίδης, «Θερμομετρία», Σημειώσεις για το μάθημα Φυσικής της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνίου. Λήψη από:
<http://www.physics.ntua.gr/~cchrist/SIMEIOSEIS/TECH.PEIR.FYS.2004.PDF/TECH.PEIR.FYS.2004.KEF.10.pdf>
7. Ι. Καλόμοιρος, Σ. Μπουλτουδάκης, Ι. Πεταλάς, «Έλεγχος κυκλωμάτων και μετρήσεων με Η/Υ», Σημειώσεις για το μάθημα Αισθητήρων, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας. Λήψη από:
http://meleththrio.teicm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/26/Kef2_Sensors_Peta_I_Kalom.pdf;jsessionid=D58FE7C57BFE7AD1CCDCB999BCA826DA?sequence=2
8. Α. Παπασταμούλης, «Αισθητήρες μέτρησης πίεσης», Σημειώσεις για το μάθημα Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου, Σχολή Μηχανικών ΑΕΝ Μακεδονίας. Λήψη από:
<https://maredu.gunet.gr/modules/document/?course=MAK176>
9. Λ. Μπισδούνης, «Μετρήσεις στάθμης και πίεσης», Παρουσίαση για το μάθημα Τεχνολογίας Μετρήσεων, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Λήψη από:

- <http://eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487108/Διαλέξεις/Ενότητα7.pdf>
10. Α. Παπασταμούλης, «Αισθητήρες μέτρησης στάθμης», Σημειώσεις για το μάθημα Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου, Σχολή Μηχανικών ΑΕΝ Μακεδονίας. Λήψη από: <https://maredu.gunet.gr/modules/document/?course=MAK176>
 11. http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_3.html
 12. Pansia, «Measurement and control for shipbuilding and offshore», Λήψη από: <http://mwt.no/Tank%20level%20gauging%20system.pdf>
 13. <http://www.toshbrocontrols.com/uploads/models/pdfs/mechanical-gauges-mlf-500.pdf>
 14. <http://www.h-hm.com/cms/wp-content/uploads/2012/09/Diesseproducts.pdf>
 15. Cargomaster, «Intelligent solution for tank monitor», Λήψη από: http://krohne.com/fileadmin/content/media-lounge/files-marine/Downloads_pdf/CARGOMASTER_System_Overview.pdf
 16. <http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-14-RAD.html>
 17. Scanjet, «Tank management systems», Λήψη από: http://www.technava.gr/companies/5376206da584b/pdfs/pdf_1.pdf
 18. Emerson, «The Engineer's guide to tank gauging», Λήψη από: <http://www.emerson.com/resource/blob/175314/32c04f154e01b2efa3bf66c5e85f19f6/00805-0100-5100-data.pdf>
 19. http://www.hoppe-marine.com/sites/hoppe-bmt.de/files/editorship/downloads/08_Tank_Content_Measuring.pdf