



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΤΜ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

‘Σύγχρονα όργανα μέτρησης σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς’



Συγγραφέας:

Ανδρέας Κατεβάτης AM 47502

Επιβλέποντες καθηγητές:

Θεοχάρης Ευστάθιος

Σορτ Ανδρέας

Αθήνα, Γενάρης 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Κατεβάτης Ανδρέας** του **Γεωργίου**, με αριθμό μητρώου **71447502** φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Βιομηχανικής σχεδίασης και παραγωγής**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



Επιτροπή αξιολόγησης.

ΣΟΡΤ ΑΝΔΡΕΑΣ	
ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ	
ΛΕΛΙΓΚΟΥ ΕΛΕΝΗ-ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ	

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους καθηγητές μου Θεοχάρη Ευστάθιο και Ανδρέα Σορτ για την εμπιστοσύνη τους να μου αναθέσουν ένα τόσο ιδιαίτερο θέμα και για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχαν για να περατώσω την συγγραφή της πτυχιακής/διπλωματικής. Θα ήθελα να τονίσω ότι η επικοινωνία που είχαμε καθ' όλη την διάρκεια του εξαμήνου ήταν συνεχής και αδιάλειπτη. Επιπλέον, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την αδερφή μου, η οποία μου παρείχε συμβουλές ως προς τον τρόπο γραφής της συγκεκριμένης διπλωματικής. Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες την οικογένεια μου αλλά και την κοπέλα μου οι οποίοι με στήριζαν καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής, δίνοντας μου κίνητρο να την πραγματοποιήσω με επιτυχία.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	6
Περίληψη	7
Abstract.....	7
Κεφάλαιο 1ο –Εισαγωγή- Sensors.....	8
1.1.1 Η έννοια του αυτοματισμού και του ελέγχου.....	8
1.1.2 Ιστορική εξέλιξη του βιομηχανικού αυτοματισμού από το industry 1.0 στο industry 4.0	9
1.1.3 Η αρχιτεκτονική του βιομηχανικού αυτοματισμού	11
1.1.4 Βιομηχανικός αυτοματισμός μέσω έξυπνων οργάνων.....	12
Sensors.....	13
1.2.1 Εισαγωγή - τεχνικές απαιτήσεις	13
1.2.2 Ultrasonic sensors	15
1.2.3 Εφαρμογές των υπερήχων αισθητήρων	17
1.2.4 Micromachined pressure sensors	19
Piezoresistive sensors.....	20
Capacitive sensors	21
1.2.5 Wireless sensor networks.....	22
Κεφάλαιο 2 ^ο –Μέτρηση ροής	22
2.1.1 Βαθμονόμηση και πιστοποίηση σύγχρονων οργάνων	22
Μέτρηση ροής.....	24
2.1.2 Το ροόμετρο Coriolis.....	24
2.1.3 Αρχή λειτουργίας ροόμετρου Coriolis.....	26
2.1.4 Κατηγορίες -Τοποθέτηση.....	29
2.1.5 Εφαρμογές μετρητών Coriolis – απόδοση.....	31
2.1.6 Ο μετρητής SITRANS FC330	33
2.2.1 Differential pressure flow	36
2.2.2 Αρχή λειτουργίας DP ροόμετρου.....	37
2.2.3 Τα μέρη του μετρητή-τοποθέτηση.....	38
2.2.4 SITRANS FP230/FPS200.....	40
2.3.1 Μαγνητικά ροόμετρα-magnetic flowmeter.....	43
2.3.2 Αρχή λειτουργίας μαγνητικού ροόμετρου.....	43

2.3.3 Κατηγορίες-τοποθέτηση	44
2.3.4 Εφαρμογές.....	47
2.3.5 Ο μαγνητικός μετρητής ροής 9500A IMT30A	47
2.4 Επαλήθευση σωστής λειτουργίας σύγχρονων ροόμετρων.....	49
Κεφάλαιο 3° Μέτρηση στάθμης-πίεσης και χρωματογράφοι.....	51
Μέτρηση στάθμης.....	51
3.1.1 Radar	51
3.1.2 Αρχή λειτουργίας μεθόδου μέτρησης με radar	52
3.1.3 Κατηγορίες radar.....	53
3.1.4 Εφαρμογές-επιλογή κατάλληλου τύπου ραντάρ.....	54
3.1.5 Η σειρά μετρητών LWT300.....	56
3.2.1 3-D ACCOUSTIC.....	58
3.2.2 Αρχή λειτουργίας 3d acoustic τεχνολογίας.....	58
3.2.3 Κατηγορίες-τοποθέτηση 3d acoustic μετρητών.....	59
Μέτρηση πίεσης.....	60
3.3.1 Γενικά.....	60
3.3.2 Αρχή λειτουργίας μέτρησης πίεσης	60
3.3.3 Κατηγορίες μετρητών	62
3.3.4 Εφαρμογές μετρητών πίεσης	64
3.3.5 Οι αισθητήρες πίεσης XMLR	65
3.4.1 Χρωματογράφοι.....	66
3.4.2 Αρχή λειτουργίας χρωματογράφων.....	67
3.4.3 Επιλογή και τοποθέτηση χρωματογράφου	70
Κεφάλαιο 4° – Laser scanners και εφαρμογές μέτρησης βασιζόμενες σε αναλυτές laser	71
4.1.1 Αρχή λειτουργίας.....	71
4.1.2 Κατηγορίες σαρωτών	72
4.1.3 Εφαρμογές στην Βιομηχανία	73
4.1.4 Το σύστημα AutoScan-K 3D	74
4.2.1 Αναλυτές βασιζόμενοι στην τεχνολογία Laser	76
4.2.2 Αρχή λειτουργίας αναλυτών που βασίζονται σε τεχνολογία laser.....	80
Κεφάλαιο 5°- IOT και βιομηχανικός αυτοματισμός, το μέλλον.....	81

5.1 Ο όρος industrial IOT (IIOT).....	81
5.2 Η αρχιτεκτονική του IOT στον βιομηχανικό αυτοματισμό	82
5.3 Narrow band internet of things (NB-Iot)	83
Συμπεράσματα	84

Πρόλογος

Τα σύγχρονα όργανα μέτρησης συλλέγουν πληροφορίες από το πεδίο που εργάζονται όπως οι τιμές της διεργασίας και παράγουν αποτελέσματα. Αυτές οι πληροφορίες στην συνέχεια αποστέλλονται σε συστήματα ελέγχου όπως τα plc μέσω ψηφιακών επικοινωνιών (foundation , fieldbus) ή υβριδικών (HART). Τελικά, τα δεδομένα προβάλλονται στον χρήστη ,προκειμένου να αξιοποιηθούν για την ορθή λειτουργία της βιομηχανίας. Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των βιομηχανικών εφαρμογών έχουν οδηγήσει τα όργανα πεδίου όπως οι μετρητές διαφορικής πίεσης και τα ροόμετρα σε σημαντικές αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και την ποιότητα κατασκευής τους. Η εξέλιξη στις τεχνολογίες ανίχνευσης μπορεί επιπλέον να καλύψει ανάγκες στους τομείς εξοικονόμησης ενέργειας και μακροπρόθεσμης σταθερότητας του οργάνου.

Αρχικά, όσον αφορά το κομμάτι της ανάπτυξης των ψηφιακών τεχνολογιών επικοινωνίας, η Yokogawa πρώτη λάνσαρε όργανα μέτρησης που κάνουν χρήση της τεχνολογίας foundation fieldbus , το 1998. Τα σύγχρονα όργανα διαθέτουν προ εγκατεστημένες λειτουργίες για PID έλεγχο και πολύπλοκους υπολογισμούς κάτι που δεν συνέβαινε στα παραδοσιακά. Ακόμη μια σημαντική τεχνολογική εξέλιξη των οργάνων ήταν ο εξοπλισμός τους με λειτουργία που τους επέτρεπε να ενημερώνουν το λογισμικό τους μέσω της τεχνολογίας fieldbus. Επιπρόσθετα, τα σύγχρονα όργανα μέτρησης μπορούν να υπολογίσουν και να λάβουν μετρήσεις για πολλαπλές τιμές διεργασίας όπως ο ρυθμός ροής μάζας, ταχύτητα ροής όγκου και η θερμοκρασία του ρευστού. Αυτό το πλεονέκτημα τους το οφείλουν στην συνεχόμενη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών (CPU , μνήμες) τα οποία πλέον δεν απαιτούν μεγάλες ποσότητες ρεύματος για την λειτουργία τους. Επιπλέον, διαθέτουν διαγνωστικά με λειτουργίες όπως η ανίχνευση απόφραξης σε πομπούς διαφορικής πίεσης, η ανίχνευση βλάβης και προγραμματισμό συντήρησης.

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον έχει στραφεί όσο ποτέ άλλοτε σε τεχνολογίες οι οποίες έχουν την μικρότερη επίπτωση προς το περιβάλλον. Τομείς όπως η εκμετάλλευση νέων ενεργειών στοχεύουν στην μείωση των εκπομπών ορυκτών ρύπων, Ωστόσο, εφαρμογές που απαιτούν εξόρυξη όπως οι γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου δεν έχουν εκλείψει . Σε αυτές απαιτούνται όργανα μέτρησης τα οποία θα έχουν υψηλές αντοχές σε θερμοκρασία, πίεση και διάβρωση .Επίσης, όλα τα σύγχρονα όργανα θα πρέπει να είναι πλήρως εναρμονισμένα με όλο και πιο καινοτόμους κανόνες συμμόρφωσης. Τελικώς, οι τεχνολογίες μέτρησης αποτελούν την βάση στην μακροπρόθεσμη και σταθερή παραγωγή λειτουργικών προϊόντων.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστούν τα σύγχρονα όργανα μέτρησης τα οποία βρίσκουν ευρεία χρήση στο χώρο της βιομηχανίας. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο θα εισαχθεί ο γενικότερος όρος του αυτοματισμού και η ιστορική εξέλιξή του ενώ επιπλέον, θα παρουσιαστούν οι βασικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία των σύγχρονων οργάνων. Στο δεύτερο κεφάλαιο, θα γίνει εκτενής ανάλυση των σύγχρονων οργάνων μέτρησης που αφορούν την ροή. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στους μετρητές Coriolis , διαφορικής πίεσης ροής και μαγνητικούς μετρητές ροής παρουσιάζοντας τον τρόπο λειτουργίας τους, τις κατηγορίες τους, τον τρόπο εγκατάσταση τους αλλά και τις εφαρμογές τους στην βιομηχανία. Το τρίτο κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο επιμέρους μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται οι σύγχρονοι μετρητές πίεσης και στο δεύτερο οι χρωματογράφοι. Έπειτα στο τέταρτο κεφάλαιο , αναλύεται μια άλλη μεγάλη κατηγορία μετρητών οι οποίοι κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος στο χώρο τις βιομηχανίας και αυτοί είναι οι laser scanners. Τόσο στο δεύτερο, το τρίτο και το τέταρτο κεφάλαιο όπου γίνεται η παρουσίαση των μετρητών, υπάρχουν παραδείγματα οργάνων μέτρησης από διαφορετικές εταιρίες όπως η Siemens, telemecanique κτλ. Τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται στροφή προς το μέλλον του βιομηχανικού αυτοματισμού και πως αυτός εξελίσσεται μέσω του IOT.

Abstract

In this dissertation the modern measuring instruments which are widely used in industry will be presented. Initially, the first chapter will introduce the general term of automation and its historical development, while in addition, the basic sensors used for the operation of modern instruments will be discussed. In the second chapter, an extensive analysis of modern flow meters will be made. More specifically, reference is made to Coriolis meters, differential flow pressure and magnetic flow meters, presenting their mode of operation, their categories, the way of their installation and their applications in industry. The third chapter is divided into two parts. The first part presents the modern pressure gauges and the second the chromatographs. Then in the fourth chapter, another large category of modern instrument is analyzed ,which is gaining more and more ground in the industry, and these are the laser scanners. In both the second, third and fourth chapters where the presentation of instruments takes place, there are examples of measuring instruments from different companies such as Siemens, telemecanique etc. Finally, in the fifth and last chapter there is a turn towards the future of industrial automation and how it evolves through the IoT.

Κεφάλαιο 1ο –Εισαγωγή- Sensors

1.1.1 Η έννοια του αυτοματισμού και του ελέγχου

Αρχικά, οφείλουμε να υπογραμμίσουμε ότι σαν έννοια ο αυτοματισμός είναι μια σύνθετη λέξη. Οι ρίζες της προέρχονται από την αρχαία Ελλάδα και πιο συγκριμένα με την σύνθεση των λέξεων << αυτό >> που σημαίνει ο εαυτός μου και << ματός >> που σημαίνει κίνηση. Επομένως μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι αναφέρεται σε συστήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να πράξουν οποιαδήποτε κίνηση αυτοβούλως. Ο αυτοματισμός λοιπόν είναι η τεχνολογία η οποία παντρεύει τη λειτουργία μηχανών και συστημάτων έτσι ώστε αυτά να λειτουργήσουν αποδοτικότερα, χωρίς ανθρώπινη επέμβαση, συγκριτικά με την λειτουργία με τον χειροκίνητο τρόπο.

Πρέπει να τονιστεί ότι πολύ σημαντικός παράγοντας για την λειτουργία μιας βιομηχανικής διεργασίας αποτελεί ο απαραίτητος έλεγχος σε κάθε στάδιο αυτής. Με τον όρο “ έλεγχος” αναφορά γίνεται στο σύνολο τόσο των πολιτικών όσο και των τεχνικών, οι οποίες στοχεύουν στην επίτευξη των επιθυμητών λειτουργικών παραμέτρων και ακολουθιών για διεργασίες σε μονάδες και συστήματα παραγωγής παρέχοντας τις απαραίτητες εισαγωγές σημάτων. Για αυτό το λόγο η βαρύτητα του να κατανοήσουμε την σημαντικότητα της έννοιας του ελέγχου στον βιομηχανικό αυτοματισμό, κρίνεται ιδιαίτερος μεγάλη.

- Ένα σύστημα ελέγχου δύναται να ενσωματώνεται σε ένα σύστημα αυτοματισμού. Παρά ταύτα, ένα σύστημα ελέγχου δεν είναι απαραίτητο να υφίσταται με κάποιο σύστημα αυτοματισμού.
- Ένα σύστημα ελέγχου δεν μπορεί να έχει νόημα εφόσον αυτό δεν διασφαλίζει ότι η έξοδος - το αποτέλεσμα - που θα δώσει στον χρήστη δεν είναι μέσα στις ρυθμίσεις και στα όρια που έχει θέσει ο χρήστης.
- Ένα σύστημα ελέγχου δεν είναι απαραίτητο να ενεργεί για μια λειτουργία. Το σύστημα ελέγχου μπορεί να κάνει έλεγχο στην μέτρηση της απόδοσης ενός συστήματος ή ακόμα και έναρξη ή παύση μια βιομηχανικής διεργασίας.

Ένας μηχανικός ελέγχου, λοιπόν, όπως είναι φυσικό θα πρέπει να λειτουργεί αποδοτικά καθώς αυτός είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ της μηχανής και της διεργασίας. Τα καθήκοντα ενός μηχανικού ελέγχου είναι να συγκρίνει τις μεταβλητές εξόδου που δέχεται το σύστημα με τις ήδη υπάρχουσες μεταβλητές και να συμπεραίνει κατά πόσο αυτές είναι στα επιθυμητά όρια που έχουν τεθεί. Ο μηχανικός είναι το σημαντικότερο γρανάζι σε μια βιομηχανία, διεργασία και γραμμή παραγωγής και η συνεισφορά του σημαντικότερη για την οικονομία της εκάστοτε

βιομηχανίας, των προϊόντων και υπηρεσιών της, την ασφάλεια ακόμα και την προστασία του περιβάλλοντος.

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του ελέγχου, οι βιομηχανίες στρέφονται συνεχώς σε καινοτόμες μεθόδους αυτοματισμού. Ξεκινώντας από τους πρώιμους πνευματικούς αναλογικούς PID ελεγκτές και φτάνοντας στους σύγχρονους ψηφιακούς ελεγκτές αλλά και άλλες τεχνολογίες-μεθόδους όπως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, ο προγραμματισμός κτλ.

1.1.2 Ιστορική εξέλιξη του βιομηχανικού αυτοματισμού από το industry 1.0 στο industry 4.0

Η ιστορία της ανάπτυξης βιομηχανιών βασιζόμενες στον αυτοματισμό είναι μακρά και η απαρχή της τοποθετείται δύο (2) αιώνες πίσω [1]. Στις αρχές του 18^{ου} αιώνα οι άνθρωποι προμηθεύονταν, επεξεργάζονταν και συντηρούσαν τα αγαθά τους χειρονακτικά και με την βοήθεια των ζώων. Το τέλος αυτού του αιώνα σηματοδοτείται ως ορόσημο καθώς τότε άρχισε δειλά να κάνει την εμφάνιση της η έννοια της διαδικασίας παραγωγής της οποίας η πρόοδος είναι ραγδαία μέχρι και σήμερα.

- **Industry 1.0**

Το industry 1.0 τοποθετείται τον 18^ο αιώνα με την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, την ανακάλυψη της ατμομηχανής και της μηχανοποίησης της παραγωγής. Καινοτομία που έπαιξε καταλυτικό ρόλο ήταν η αυτοματοποιημένη εκδοχή του περιστρεφόμενου τροχού, ο οποίος μέχρι τότε ήταν χειροκίνητος, η οποία κατάφερε να αυξήσει την παραγωγικότητα των διεργασιών στο οκταπλάσιο. Η εκμετάλλευση της ενέργειας, η οποία μπορούσε να παραχθεί από τον ατμό ήταν μεγίστης σημασίας καθώς πλέον και με την ανακάλυψη των ατμομηχανών αλλά και των ατμόπλοιων, τα προϊόντα μπορούσαν να διανεμηθούν σε σημαντικότερα μικρότερο χρονικό διάστημα από πριν.

- **Industry 2.0**

Κατά το industry 2.0 έχουμε την δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, η οποία τοποθετείται τον 19^ο αιώνα. Τότε ανακαλύπτεται ο ηλεκτρισμός αλλά και οι πρώτες γραμμές συναρμολόγησης. Η παραγωγικότητα αυξάνεται περαιτέρω καθώς σε κάθε γραμμή συναρμολόγησης, ο εργάτης αναλαμβάνει την αποπεράτωση μιας συγκεκριμένης εργασίας. Έχουμε, δηλαδή, καταμερισμό εργασίας. Παράδειγμα αποτελεί η πράξη του Henry ford [2] (1863-1947), ο οποίος έχοντας ως δείγμα ένα σφαγείο στο Σικάγο εφάρμοσε την τακτική στο δικό του εργοστάσιο αυτοκινήτων αυξάνοντας την παραγωγή και μετατρέποντας την βιομηχανία του σε ένα κολοσσό.

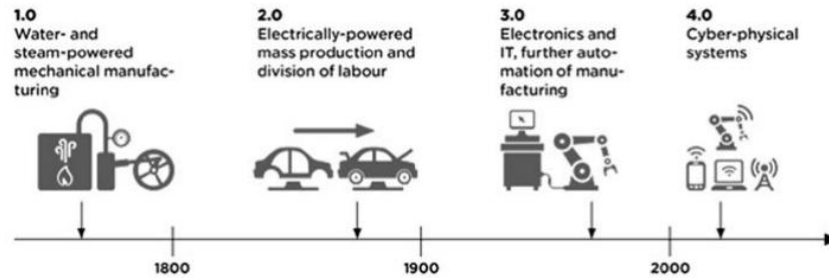
- **Industry 3.0**

Η Τρίτη βιομηχανική επανάσταση σηματοδοτείται με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών στην βιομηχανία περί τα τέλη του 20^{ου} αιώνα. Η εκτεταμένη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, όπως των τρανζίστορ και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, συνέβαλλαν στην περαιτέρω αυτοματοποίηση των μηχανών, οι οποίες πλέον κάνουν την διαδικασία ταχύτερη και κυρίως αποδοτικότερη. Πολλές φορές δε υπήρξαν περιπτώσεις όπου οι μηχανές αντικατέστησαν την ανθρώπινη εργασία. Το πρώτο PLC [3] (programmable logic controller) κατασκευάστηκε το 1960 και χρησιμοποιούσε εξ ολοκλήρου ηλεκτρονικά. Η ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών στην βιομηχανία (hardware) λειτούργησε επίσης ως εναρκτήριο λάκτισμα για την ανάπτυξη των συστημάτων λογισμικού (software) τα οποία είχαν ως λειτουργία τους την εκκίνηση των ηλεκτρονικών. Το software κομμάτι με την σειρά του άνοιξε το δρόμο σε νέους τομείς, άγνωστους μέχρι τότε, όπως ο προγραμματισμός των πόρων μιας επιχείρησης, η διαχείριση αποθεμάτων και η εφοδιαστική αλυσίδα.

• **Industry 4.0**

Από τα τέλη της δεκαετίας του 90 έχει γίνει στροφή προς την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επικοινωνίας και σε συνδυασμό με τα νέα δεδομένα στο διαδίκτυο, έχουμε οδηγηθεί σε μια επανάσταση όσων αναφορά την ανταλλαγή πληροφοριών. Όλα αυτά είχαν σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και στο κομμάτι του βιομηχανικού αυτοματισμού. Τα κυβερνοφυσικά συστήματα [4] (CPS) δίνουν την δυνατότητα στις μηχανές να επικοινωνήσουν μεταξύ τους ευφύεστατα και χωρίς χωροταξικά όρια.

Λέγοντας “ευφύεστατα” αναφερόμαστε σε διάφορες διαδικασίες στην βιομηχανία, στις οποίες συμβάλουν τα κυβερνοφυσικά συστήματα και καθιστούν τα μηχανήματα πιο «έξυπνα». Μέσω αυτών των έξυπνων μηχανημάτων δίνεται η δυνατότητα στην βιομηχανία να επιβλέπει, να εντοπίζει και να προβλέπει σφάλματα ενώ αυτά τα μηχανήματα έχουν την δυνατότητα να προτείνουν διορθωτικές κινήσεις. Φυσικά αυτό ισχύει και για άλλους τομείς της βιομηχανίας όπως αναφέρθηκαν παραπάνω. Τέλος, τα συστήματα φυσικής παραγωγής στον κυβερνοχώρο (CPPS) παρέχουν την ευκολία της διαχείρισης του εργοστασίου από απομακρυσμένη τοποθεσία βάζοντας το εργατικό προσωπικό, τις διαδικασίες και τις υποδομές-μηχανές σε ένα ενιαίο δίκτυο ελέγχου. Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών θα συμβάλει στην περαιτέρω μείωση του παραγωγικού κόστους και θα φέρει επανάσταση στο βιομηχανικό κόσμο. Το industry 4.0 βρίσκεται ακόμα σε ένα αρχικό στάδιο και αναμένεται να παραμείνει για τουλάχιστον μια δεκαετία ακόμα στο προσκήνιο μέχρι να βρεθεί κάτι νεότερο να το αντικαταστήσει.



(εικόνα 1.1)..Η εξέλιξη του αυτοματισμού από το industry 1.0 στο 4.0

1.1.3 Η αρχιτεκτονική του βιομηχανικού αυτοματισμού

Η αρχιτεκτονική του βιομηχανικού αυτοματισμού μπορεί να διαιρεθεί σε πέντε (5) επίπεδα. Αυτά τα πέντε (5) επίπεδα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους και απεικονίζουν την αναγκαιότητα των μηχανημάτων, την μεταξύ τους επικοινωνία, τα δεδομένα των εξόδων των μηχανημάτων καθώς και τον έλεγχο τους. Παρακάτω περιγράφονται τα πέντε αυτά επίπεδα.

- **Field level**

Πρόκειται για το αρχικό επίπεδο σε μία διεργασία βιομηχανικού αυτοματισμού. Αυτό το στάδιο περιέχει όλους τους αισθητήρες, τους ενεργοποιητές και τους διακόπτες. Οι μεν αισθητήρες είναι αυτοί οι οποίοι λαμβάνουν ένα σήμα ως είσοδο και το μεταφέρουν στο επίπεδο I/O (input/output). Οι δε ενεργοποιητές ή διακόπτες λαμβάνουν το αντίστοιχο σήμα από τους αισθητήρες πράττοντας αναλόγως. Πιο συγκεκριμένα, ανοίγουν ή κλείνουν μια βάνα, μια βαλβίδα κτλ. Θεωρείται ως το πρώτο επίπεδο καθώς αυτά είναι συνδεδεμένα με δεξαμενές, αγωγούς κτλ, μέσα στους οποίους γίνεται η διεργασία.

- **I/O level**

Ουσιαστικά είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των σημάτων εξόδου και εισόδου. Τα σήματα εξόδου που λαμβάνονται από τα αισθητήρια μεταφέρονται στους ελεγκτές και από εκεί πέρα ανάλογα με το σκοπό που θέλει να επιτύχει η διεργασία δίνουν εντολή στους ενεργοποιητές.

- **Control level**

Αφορά το επίπεδο όπου περιέχονται τα PLC, SCADA & DCS τα οποία έχουν ως σκοπό να επεξεργαστούν τα σήματα που λαμβάνουν και να επιλέξουν την προσδοκώμενη έξοδο.

- **HMI(human machine interface) level**

Αρμοδιότητα του συγκεκριμένου επιπέδου είναι η οργάνωση των λειτουργιών του εργοστασίου λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που πέρασαν από τον έλεγχο. Οι μηχανικοί σε αυτό το επίπεδο έχουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία μέσα από θρόνες δίνοντας τους έτσι τη δυνατότητα να διορθώσουν κάποια διεργασία, η οποία συμβαίνει εκτός πρότυπων ορίων. Τέλος, τους δίνεται η δυνατότητα πρόβλεψης και πρόληψης κάποιου συναγερμού αλλά και η καταγραφή ιστορικών δεδομένων.

- **Enterprise level**

Πρόκειται για το τελικό στάδιο στην αρχιτεκτονική αυτοματισμού αφού πλέον φτάνουμε στο επίπεδο όπου λαμβάνονται οι αποφάσεις από την διοίκηση της βιομηχανίας. Οι αποφάσεις αυτές αφορούν παραγγελίες, χρεώσεις, αποστολές, μελλοντικές δράσεις κτλ.

1.1.4 Βιομηχανικός αυτοματισμός μέσω έξυπνων οργάνων

Ένα από τα βασικά στοιχεία για την ζωτικότητα μίας βιομηχανίας είναι η σωστή συντήρηση των οργάνων της. Θα ήταν πολύ δαπανηρό για μια επιχείρηση να σταματήσει την γραμμή παραγωγής της σε περίπτωση μακροχρόνιας βλάβης κάποιου οργάνου. Για αυτό το λόγο η σύγχρονη τεχνολογία έχει αναπτύξει όργανα τα οποία στην πλειοψηφία τους μπορούν να προβλέψουν δυσλειτουργίες στον εξοπλισμό ωστόσο και πάλι είναι σχεδόν αδύνατον να επιτευχθεί αυτό στο εκατό τις εκατό. Αρκετές φορές λοιπόν ακολουθείται είτε η τακτική «διόρθωση όταν χαλάσει» είτε ο κανόνας της συντήρησης βάσει εμπειρίας προηγούμενων βλαβών κάτι που σύμφωνα με έρευνες οδηγεί σε κόστος επιβάρυνσης στην βιομηχανία περί τα 10%.

Στη σύγχρονη βιομηχανία αυτοματισμού γίνεται επιτακτική η ανάγκη των σύγχρονων οργάνων αλλάζοντας την συντήρηση μέσω πρόληψης σε συντήρηση μέσω πρόγνωσης - παρακολούθησης βάση συνθηκών, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της απόδοσης. Τα σύγχρονα όργανα δίνουν την δυνατότητα στον μηχανικό να κατανοήσει τυχόν μικρή βλάβη, προτού το όργανο καταστραφεί τελείως. Ένα έξυπνο όργανο συνήθως έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ρύθμιση σήματος
- μία ή περισσότερες επιλογές ψηφιακής επικοινωνίας
- wireless communication
- αυτό-διάγνωση
- βαθμονόμηση
- χρονική σήμανση
- μετατροπή μονάδων
- ασφάλεια δεδομένων

Πιο συγκεκριμένα, η χρήση οργάνων οπού δεν απαιτείται η χρήση καλωδίων για την συνδεσμολογία, τους δίνει το πλεονέκτημα τοποθέτησης τους σε δυσπρόσιτα σημεία και ως επακόλουθο κάνει την επικοινωνία μεταξύ τους πιο ευέλικτη.

Τα αυτοδιαγνωστικά χαρακτηριστικά δίνουν άμεσα στο όργανο πληροφορίες για τυχόν δυσλειτουργίες του ή ακόμη και ενημέρωση σχετικά με την τοποθέτηση του σε λάθος σημείο. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από τον μηχανικό είτε απευθείας από το όργανο είτε από κάποιο HMI στο οποίο είναι συνδεδεμένο αυτό.

Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα των σύγχρονων οργάνων είναι ότι πολλές φορές είναι πιθανόν να λαμβάνουν μετρήσεις οι οποίες αφορούν διαφορετικές παραμέτρους. Για παράδειγμα, μέτρηση ροής Coriolis και ολικής ροής, ιξώδες, πυκνότητα & θερμοκρασία.

Τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων οργάνων διέπονται από την αρχή Safety Instrumented System [5] (SIS) που περιλαμβάνει το πρότυπο IEC 61508 [6] για τη σχεδίαση συσκευής. Οι μηχανικοί, οι όποιοι σχεδιάζουν συστήματα, προκειμένου να διασφαλίσουν το απαιτούμενο Safety Integrity Level (SIL) συνήθως ακολουθούν τα πρότυπα ασφαλείας IEC 61511, ISA, και ANSI 84.01-2004 χρησιμοποιώντας όργανα τα οποία είναι πιστοποιημένα από το IEC 61508. Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούν συνδεσμολογία fieldbus τείνουν να χρησιμοποιήσουν πρότυπα ασφαλείας όπως το IEC 61508-2 σε συνεργασία με πρωτόκολλα όπως τα CIP Safety, Foundation Fieldbus SIS, and PROFIsaf.

Sensors

1.2.1 Εισαγωγή - τεχνικές απαιτήσεις

Όπως προαναφέραμε, ο έλεγχος της διεργασίας είναι βασικό κλειδί για την ζωτικότητα μίας βιομηχανίας και αυτός προϋποθέτει την συνεχή παρακολούθηση παραμέτρων που αφορούν διεργασίες σε αέρια, υγρά ή τηγμένα υλικά. Οι παράμετροι αυτοί ως επί το πλείστον αφορούν την μέτρηση της θερμοκρασίας, της πίεσης, της στάθμης, της ροής ακόμη και της συγκέντρωσης ενός υλικού. Για αυτό το λόγο καθίσταται αναγκαία η χρήση προηγμένων αισθητήρων για την μέτρηση τους. Αισθητήρες όπως αυτοί των υπερήχων και των micromachined pressure sensors [7] έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στην βιομηχανία για να δώσουν λύσεις σε ό,τι αφορά τις μετρήσεις. Οι κύριοι κλάδοι της βιομηχανίας οι οποίοι έχουν ανάγκη μέτρησης είναι αυτοί της:

1. Χημικής βιομηχανίας
2. Πετρελαϊκής βιομηχανίας
3. Φαρμακευτικής βιομηχανίας
4. Βιομηχανίας τροφίμων

5. Βιοτεχνολογική βιομηχανίας

6. Ενεργειακής βιομηχανίας

Στο πλαίσιο ερευνών για την χρήση αισθητήρων στην αγορά, αποδείχθηκε ότι το 90% αφορά αισθητήρες ροής, στάθμης, πίεσης και θερμοκρασίας με τους πρώτους να κατέχουν την πρωτιά σε χρήση. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η επιλογή αισθητήρα που θα χρησιμοποιήσει η κάθε βιομηχανία εξαρτάται από την φύση της μέτρησης στην οποία θέλει να προβεί. Τόσο η μέτρηση όσο και οι αισθητήρες θα πρέπει να ακολουθούν συγκεκριμένα και προκαθορισμένα κριτήρια. Όσον αφορά την μέτρηση θα πρέπει να διαθέτει:

1. Συνεχόμενη υψηλή ακρίβεια
2. Υψηλή αξιοπιστία
3. Χαμηλή διασταυρούμενη ευαισθησία.
4. Υψηλή αναλογία απόσβεσης.
5. Μη επεμβατική μέτρηση.

Από την άλλη, οι αισθητήρες θα πρέπει να διαθέτουν:

1. Υψηλή μηχανική και χημική αντοχή (θερμοκρασία, πίεση, σκουριά, δόνηση).
2. Άμεση μέτρηση.
3. Ελάχιστη συντήρηση.
4. Φιλικότητα προς το περιβάλλον.
5. Συμβατότητα με σήματα εξόδου όπως 4-20mA, Profibus, fieldbus.
6. Μη παθογόνα χρήση σε βιομηχανίες φαγητού και φαρμάκων.
7. Ασφαλή χρήση σε επικίνδυνο περιβάλλον.

Εμβαθύνοντας περισσότερο στα προαναφερθέντα, σε μια τυπική διεργασία ένας αισθητήρας θα πρέπει να λειτουργεί ανάμεσα σε όρια θερμοκρασίας μεταξύ - 40 °C και +180 °C και πίεσης έως 40 bar. Ωστόσο σε εξειδικευμένες διεργασίες όπως αυτές που περιέχουν μετατροπή σε ατμό αυτά τα όρια είναι πιθανόν να μεταβάλλονται. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι στις χημικές βιομηχανίες όπου τις περισσότερες φορές οι αισθητήρες θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί σε άκρως όξινα και διαβρωτικά υλικά. Για αυτό το λόγο είναι πολύ σύνηθες να χρησιμοποιούνται αισθητήρες υπερήχων, οι οποίοι διαπερνούν τα δοχεία και τους σωλήνες, πραγματοποιώντας την μέτρηση χωρίς να έρχονται σε άμεση επαφή με το υλικό.

1.2.2 Ultrasonic sensors

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων υπερήχων περιγράφεται ακολούθως. Αρχικά, ο αισθητήρας εκπέμπει ένα ακουστικό κύμα το οποίο χτυπάει την επιφάνεια την οποία μετράει. Αυτό αντανακλάται από την επιφάνεια και στη συνέχεια επιστρέφει πίσω στον αισθητήρα μεταφέροντας όλες τις πληροφορίες με τις παραμέτρους που μετρήθηκαν. Εν συνεχεία, ο αισθητήρας επεξεργάζεται τα δεδομένα που δέχθηκε κατά την μέτρηση. Το ακουστικό κύμα που εκπέμπει ο αισθητήρας έχει εύρος συχνοτήτων από 20kHz έως 1kHz .

Η διάδοση ενός ελαστικού κύματος μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$p(x, t) = P_0 e^{j\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)} e^{-ax}$$

Όπου είναι η συχνότητα και ισούται με $\omega = 2\pi f$. Το c είναι η ταχύτητα του ήχου και το a , η οποία είναι η απόσβεση, είναι υπεύθυνα για την διάδοση του κύματος.

Σε ένα στερεό μέσο μπορούμε να υπολογίσουμε:

A) Την διαμήκη ταχύτητα του ήχου

$$Cl^2 = \frac{K + \frac{3}{4}G}{\rho}$$

Όπου K ο συντελεστής όγκου του στερεού, G ο συντελεστής διάτμησης και ρ η πυκνότητα.

B) Την εγκάρσια ταχύτητα του ήχου

$$CTr^2 = \frac{G}{\rho}$$

Με G και ρ συντελεστή διάτμησης και πυκνότητα αντίστοιχα.

Γ) Το διαμήκη κύμα σε μία ράβδο

$$Clrod^2 = \frac{E}{\rho}$$

Όπου E ο συντελεστής Young.

Πρέπει βέβαια να τονιστεί ότι το κύμα που προσπίπτει πάνω σε ένα στερεό επιστρέφει στον αισθητήρα με μία εξασθένηση. Αυτή η εξασθένηση μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες. Για παράδειγμα σε στερεά με πολυκρυσταλλική μορφή παρατηρούνται φαινόμενα σκέδασης στα όρια των κόκκων. Ωστόσο παρά την εξασθένηση αυτή, η οποία είναι συγκρίσιμη

σε παρόμοια υλικά, η εφαρμογή υπερήχων για την μέτρηση στα στερεά έχει γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη.

Σε ένα υγρό μέσο, του οποίου η μέτρηση μέσω υπερήχων γίνεται πιο σύνθετη, η ταχύτητα του ήχου δίνεται από την εξίσωση

$$cl^2 = \frac{1}{\rho\beta}$$

Όπου β η συμπιεστότητα και ρ η πυκνότητα είναι σταθερές που αφορούν το συγκεκριμένο υγρό που μετριέται. Η εξασθένηση στα υγρά μπορεί να οφείλεται σε εναιωρήματα, διασπορές, γαλακτώματα και κολλοειδή συστήματα. Εξαρτάται, επίσης, από παραμέτρους του υλικού όπως η πυκνότητα ρ , το ιξώδες η , η θερμική αγωγιμότητα χ , η θερμική χωρητικότητα c_p και ο συντελεστής θερμικής διαστολής α .

Υπολογίζεται από το άθροισμα :

$$a = a_o + a_{vis} + a_{therm} + a_{sc} + a_{relax}$$

Όπου

- **a_o** η απορρόφηση γαλακτώματος ή του μέσου διασποράς

$$\frac{a_o}{f^2} = \frac{2\pi^2}{\rho c^3} \left(\frac{4}{3} \eta s + \eta v \right)$$

Με ηs μετράται το ιξώδες διάτμησης και ηv το συνολικό ιξώδες.

- **a_{vis}** η απώλεια ιξώδους. Η απώλεια οφείλεται στην τριβή μεταξύ των σωματιδίων κυρίως σε παχύρευστα υγρά όπως το νερό και το λάδι.

$$a_{vis} = \frac{\frac{\omega}{2c} \left(K \frac{\rho'}{\rho} - 1 \right)^2 \frac{9}{4} \frac{\delta}{R} \left(1 + \frac{\delta}{R} \right)}{\frac{\rho'}{\rho} + \frac{1}{2} + \frac{9}{4} \left(\frac{\delta}{R} \right)^2 + \frac{9}{4} \frac{\delta}{R} \left(1 + \frac{\delta}{R} \right)^2}$$

Με $\delta = \frac{\sqrt{2\nu}}{\omega}$, K μετράται η συγκέντρωση φάσης διασποράς.

- **a_{therm}** οι θερμικές απώλειες. Αυτές είναι αποτέλεσμα των διαφορών στους συντελεστές διαστολής.

$$a_{therm} \approx k \frac{3}{2R^2} c T \chi \rho \left[\frac{\alpha}{\rho c p} - \frac{\alpha'}{\rho c} \rho' \right] f$$

Όπου χ η θερμική αγωγιμότητα, cp η ειδική θερμότητα και $F = f(R, \omega, \chi, \chi', cp, cp')$ η αναλυτική συνάρτηση των διαφορετικών παραμέτρων.

- **asc** οι απώλειες σκέδασης. Οφείλονται στα σωματίδια διασποράς Rayleigh ή Mie. Ακόμα μπορεί να οφείλονται σε φυσαλίδες που μπορεί να υπάρχουν μέσα σε υγρό κάτι το οποίο καθιστά την μέτρηση του υγρού με υπερήχους απίθανη.

$$asc \approx k k_0^4 R^3 \left[\frac{1}{6} \left(\frac{\beta - \beta'}{\beta} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{\left(1 - \frac{\rho}{\rho'} \right)^2}{\left(2 + \frac{\rho}{\rho'} \right)^2} \right]$$

- **arelatx** απώλειες χαλάρωσης.

Στα αέρια μέσα η ταχύτητα του ήχου μετριέται από την εξίσωση της θερμοδυναμικής

$$c^2 = \left(\frac{dp}{d\rho} \right)$$

Πέρα από τις ήδη προαναφερθείσες ιδιότητες, κατά την μέτρηση με υπερήχους υπάρχει και μια τρίτη σημαντική ιδιότητα, αυτή της ακουστικής αντίστασης ενός υλικού η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$z = \rho c$$

Η παρακολούθηση - λήψη των διαφόρων παραμέτρων που μετριοούνται από έναν αισθητήρα υπερήχων καθώς και η μετατροπή των σημάτων αυτών, έχει οδηγήσει την αγορά πλέον στην παραγωγή αισθητήριων οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ολοκληρωμένες συσκευές χαμηλού κόστους. Σε βιομηχανικό επίπεδο γίνεται χρήση πιεζοκεραμικών μετατροπέων καθώς διαθέτουν εγκυρότητα και ευστάθεια ενώ μπορούν να λειτουργήσουν και σε θερμοκρασίες έως 300 °C Κελσίου.

1.2.3 Εφαρμογές των υπερήχων αισθητήρων

Δύο από τις σημαντικότερες εφαρμογές των υπερήχων είναι αυτές της μέτρησης στάθμης και απόστασης. Στην βιομηχανία χρησιμοποιούνται όργανα, τα οποία μετράνε την ώρα την οποία χρειάστηκε να διανύσει ένα κύμα μέχρι να προσκρούσει πάνω στο αντικείμενο και να επιστρέψει γνωρίζοντας έτσι την απόσταση του αντικειμένου. Συχνά η μέτρηση γίνεται μέσω του αέρα, όπου η σταθερά της ταχύτητας του ήχου c , είναι γνωστή ωστόσο αυτή συχνά αλλάζει με αλλαγή της θερμοκρασίας ή με την παρουσία ατμού.

Λόγω του ότι υπάρχει περιορισμός στην συχνότητα με την οποία μπορούν να λειτουργήσουν οι συσκευές αυτές (από δέκα έως μερικές εκατοντάδες KiloHertz) η απόσταση, η οποία μπορεί να μετρηθεί, είναι από μερικά χιλιοστά έως λίγα μέτρα. Σημαντικό πλεονέκτημα στην μέτρηση απόστασης όσων αφορά την ακρίβεια έχουν οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν ευρυζωνικούς μετατροπείς υπερήχων. Έρευνες έχουν δείξει πως επικρατεί μια τάση προς την ανάπτυξη αισθητήρων απόστασης, οι οποίοι χρησιμοποιούν τεχνικές σάρωσης ακουστικής μικροσκοπίας, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την γερμανική εταιρεία Advanced Acoustic, η οποία προωθεί αισθητήρες με εύρος μετρήσεων έως και μερικά μικρόμετρα. Στην βιομηχανία, τέτοιοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση σε ακριβείς θέσεις των εμπορευματοκιβωτίων, σε συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας και αποφυγής συγκρούσεων. Από την άλλη, οι αισθητήρες μέτρησης στάθμης πρέπει να υπερπηδήσουν το εμπόδιο της ηχούς που δημιουργείται από κάποια υγρά. Για αυτό το λόγο οι καινούργιοι πλέον αισθητήρες μπορούν να αναγνωρίσουν συγκεκριμένα μοτίβα από ήχους μέσα από μια γκάμα υγρών.

Τόσο οι αισθητήρες υπερήχων που μετράνε απόσταση, όσο και αυτοί που μετράνε στάθμη, έχουν πλέον εξελιχθεί σε ευφυή συστήματα αισθητήρων και παύουν πλέον να είναι απλές κατασκευές. Παραδείγματα εταιρειών που προμηθεύουν με αισθητήρες την αγορά είναι η ελβετική εταιρεία Endress and Hauser [8] που διαθέτει μια ευρεία ποικιλία από όργανα μετρήσεων υγρών ή στερεών, η καναδική Milltronics που πουλάει όργανα μετρήσεων στάθμης, η Αμερικάνικη Honeywell [9] που κατασκευάζει αισθητήρες απόστασης και η αμερικάνικη Lundalh που πουλάει προγραμματιζόμενους αισθητήρες υπέρηχων.

Υπολογίζεται πως το 20% των οργάνων που μετράνε τη στάθμη χρησιμοποιούν αισθητήρες υπερήχων ενώ το υπόλοιπο αξιοποιεί άλλες τεχνικές όπως αυτές της υδροστατικής πίεσης και των ραντάρ. Παρόλο που τα όργανα που χρησιμοποιούν υπερήχους για τις μετρήσεις απόστασης και στάθμης έχουν αυξήσει τις πωλήσεις τους στην αγορά, μελλοντικά αναμένεται τα όργανα που χρησιμοποιούν ραντάρ να πρωταγωνιστήσουν περισσότερο λόγω της ορθότητας τους στην μέτρηση και του χαμηλού κόστους τους.

Πέρα από τις δύο προαναφερθείσες παραμέτρους που μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας υπερήχων, υπάρχει και αυτή της μέτρησης ροής. Η μέτρηση αυτή αξιοποιεί φαινόμενα μετατόπισης, Doppler και περίθλασης. Στην βιομηχανία γίνεται κυρίως χρήση οργάνων βασισμένα σε Doppler και μέτρησης χρόνου διέλευσης των υπερήχων. Τα ροόμετρα, τα οποία μετράνε τον χρόνο διέλευσης των υπερήχων, βασίζονται στο φαινόμενο της μετατόπισης που δημιουργείται όταν το κύμα υπερήχου προσπίπτει κάθετα στον σωλήνα που περιέχει το υγρό ή το αέριο.

Με αυτό τον τρόπο γίνεται η μέτρηση της ταχύτητας της ροής και πολλές φορές λαμβάνεται υπόψη ακόμη και η επιφάνεια ή το σχήμα του σωλήνα από τον οποίον διαρρέει το υλικό. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι μεταξύ άλλων η έλλειψη κινούμενων εξαρτημάτων, η μη απώλεια πίεσης και η αναγκαιότητα για γνώση του ιξώδους, της αγωγιμότητας και της ταχύτητας του ήχου του μέσου. Βέβαια η μέτρηση δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς το μέσο να

είναι προσπελάσιμο από τον υπέρηχο. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι σε περίπτωση στρωτής ροής στο κέντρο του σωλήνα λαμβάνουμε μέτρηση υπερβολικά μεγάλη ενώ το αντίθετο συμβαίνει στα τοιχώματα του σωλήνα.

Σε μέσα όπως υγρά που περιέχουν φυσαλίδες ή εναιωρήματα ή αεροζόλ το φαινόμενο Doppler επιστρατεύεται για την μέτρηση. Στα όργανα τύπου Doppler, ο πομπός του ηχητικού κύματος και ο δέκτης είναι ακίνητοι ενώ όσο μεγαλύτερο είναι το κύμα σε συχνότητα τόσο πιο ακριβής είναι η μέτρηση της ταχύτητας ροής. Για το λόγο αυτό, τα όργανα που αξιοποιούν το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία κατά κόρον σε περιοχή συχνοτήτων megahertz.

Το τρίτο φαινόμενο στο οποίο αναφερθήκαμε είναι αυτό της περίθλασης. Όπως είδαμε η διάδοση του υπερηχητικού κύματος έχει τα χαρακτηριστικά του μήκος κύματος, του μέσου, της εξασθένησης και της διασποράς. Η χρονική εξασθένηση και τα χαρακτηριστικά αυτά αξιοποιούνται για τις τεχνικές που χρησιμοποιούν αυτό το φαινόμενο.

Εταιρείες που παρέχουν ροόμετρα είναι η αμερικάνικη Parametrics και η γερμανική Siemens που προμηθεύει όργανα μέτρησης ροής υπερήχων σε υγρά με ακρίβεια μέτρησης καλύτερη από 0,5% βασιζόμενη στην ελικοειδή ηχητική διαδρομή. Τέλος, η γερμανική Krohne η οποία κατασκευάζει ροόμετρα που χρησιμοποιούν έως και πέντε διαδρομές ροής του υγρού μέσα στο σωλήνα για ακρίβεια μέτρησης έως και 0,15%.

Η αρχή του clamp-on λειτουργεί σε όργανα τα οποία δεν είναι εσωματωμένα στον σωλήνα όπου ρέει το υγρό αλλά στα τοιχώματα αυτού. Αυτά μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις σε κάθε γωνία και δεν απαιτείται κάποια περαιτέρω προσαρμογή κατά την τοποθέτησή τους. Το ηχητικό κύμα διαδίδεται μέσω ενός σφηνοειδούς σχήματος σωλήνα, τα τοιχώματα του αγωγού και τέλος στο μέσο. Λόγω αυτού, ο παλμός προσπίπτει σε κάθε ένα από αυτά τα τρία (3) στρώματα με διαφορετική ταχύτητα, επηρεασμένη από τις διαφορετικές ιδιότητες του κάθε μέσου (τοιχώματα σωλήνα, μέσο). Επιπλέον, το είδος της ροής καθορίζει και αυτό την ταχύτητα ροής. Όλες αυτές οι παράμετροι που επηρεάζουν την μέτρηση, στο παρελθόν καθιστούσαν την χρήση των clamp-on συσκευών μη προσιτή, ωστόσο αυτό τείνει να αναστραφεί αφού πλέον όλα τα χαρακτηριστικά όπως η γεωμετρία του σωλήνα μπορούν να αποθηκευτούν σε μια βάση δεδομένων και να χρησιμοποιηθούν αυτόματα στη μέτρηση. Εταιρείες όπως η γερμανική Flemix και η ιαπωνική Fuji κατασκευάζουν τέτοιου είδους όργανα.

Συμπερασματικά, στις μέρες μας τα ροόμετρα υπερήχων δεν χαιρούν της αποδοχής από τις βιομηχανίες καθώς χρησιμοποιούνται περίπου στο 5% σε σχέση με άλλες μεθόδους. [10]

1.2.4 Micromachined pressure sensors

Στην πλειοψηφία τους, οι μικρομηχανικοί αισθητήρες πίεσης κάνουν χρήση των παραμορφώσιμων διαφραγμάτων. Αναλυτικότερα, η μέτρηση της πίεσης λαμβάνεται σύμφωνα

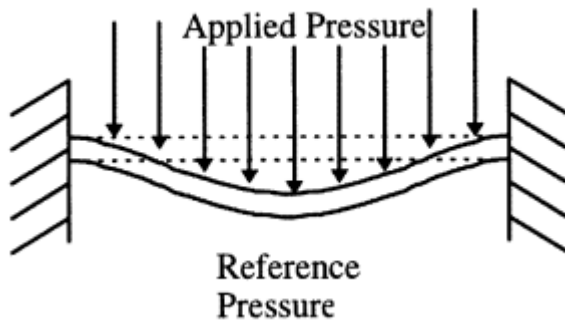
με την παραμόρφωση του διαφράγματος. Για να υπάρξει δυνατότητα μέτρησης της απόλυτης πίεσης θα πρέπει να υφίσταται μια πίεση αναφοράς, η οποία μπορεί να είναι ένας σφραγισμένος θάλαμος είτε μια πόρτα πίεσης. Το σύνηθες σχήμα του διαφράγματος του αισθητήρα είναι κυκλικό ή τετράγωνο και για δεδομένη εφαρμογή πίεσης λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο. Για διάφραγμα με κυκλική πλάκα, όπου υπάρχουν μικρές παραμορφώσεις, η μορφή της εκτροπής, η οποία είναι άμεσα εξαρτωμένη από την πίεση, δίνεται από τον τύπο:

$$w(r) = \frac{Pa^2}{64D} \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right]^2 \quad (1)$$

Όπου w η εκτροπή, r η ακτίνα του κύκλου, a η ακτίνα του διαφράγματος, P η ασκούμενη πίεση και D είναι η ακαμψία και δίνεται από τον τύπο:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

Όπου E η σταθερά του Young, h το πάχος του διαφράγματος και ν η αναλογία Poisson.



(εικόνα 1.2)..Σχηματικό διάγραμμα τυπικού αισθητήρα πίεσης. [7]

Piezoresistive sensors

Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στο φαινόμενο πιεζοαντίστασης, όπου πρώτος κατέγραψε ο Smith το 1954. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες αναλύουν την αλλαγή που δέχονται στην αντίστασή τους το γερμάνιο και το πυρίτιο με την εφαρμογή πίεσης. Στους αισθητήρες πίεσης που λειτουργούν καταυτό τον τρόπο, οι αντιστάσεις πιέσεις τοποθετούνται είτε εσωτερικά του διαφράγματος είτε πάνω σε αυτό και μεταβάλλονται γραμμικά ανάλογα με την πίεση που δέχονται.

Οι αισθητήρες που διαθέτουν μεταλλικά διαφράγματα και κάνουν χρήση μετρητών πυριτίου, εμφανίστηκαν εμπορικά το 1958 κυρίως σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Από την δεκαετία του 1970 μέχρι και σήμερα, η χρήση τους επεκτάθηκε σε βιομηχανίες όπως αυτή του αυτοκινήτου, της βιοιατρικής και γενικότερα βιομηχανίες με λιγότερο κόστος και μεγαλύτερη παραγωγή.

Στους αισθητήρες με μεταλλικό διάφραγμα, οι μετρητές πυριτίου αρχικά συνδεόντουσαν με εποξικές, φαινολικές και ευτηκτικές ρητίνες, ωστόσο η απόδοση τους δεν ήταν η επιθυμητή κυρίως λόγω θερμοκρασίας. Αυτοί, στη συνέχεια, αντικαταστάθηκαν από αισθητήρες με μονοκρυσταλλικά διαφράγματα αποτελούμενοι από διάχυτες πιεζοαντιστάσεις. Κύριο πλεονέκτημα τους είναι οι ιδιότητες του πυριτίου. Πλέον δεν τίθεται το θέμα της υστέρησης και του ερπυσμού που υπήρχε λόγω των μεταλλικών διαφραγμάτων. Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 500 °C Κελσίου το πυρίτιο είναι απόλυτα ελαστικό και δεν παραμορφώνεται πλαστικά αλλά θρυμματίζεται με εύθραυστο τρόπο. Το πυρίτιο διαθέτοντας μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό και δεκαπλάσια καταπόνηση σε σχέση με άλλα κράματα μετάλλων, μπορεί να δεχθεί μεγαλύτερες πιέσεις. Για να πάρουν το σχήμα κυπέλλου τα διαφράγματα πυριτίου, έγινε χρήση της μηχανικής κατεργασίας με σπινθήρα άλεσης και ισοτροπικής χάραξης.

Από το 1980 έως και σήμερα βρισκόμαστε στην εποχή της μικρο-κατεργασίας, καθώς πλέον τα κατασκευαστικά πρότυπα των διαφραγμάτων έχουν στραφεί προς κατευθύνσεις μεγεθών της τάξης του μικρομέτρου.

Capacitive sensors

Η τεχνολογία αισθητήρων χωρητικότητας λειτουργεί με βάση τους πυκνωτές παράλληλων πλακών. Η χωρητικότητα του πυκνωτή δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

Όπου το ϵ είναι το επιτρεπόμενο κενό μεταξύ πυκνωτών, A η επιφάνεια των πυκνωτών και d η απόσταση μεταξύ των πυκνωτών.

Για κυκλικά διαφράγματα η χωρητικότητα δίνεται από τον τύπο:

$$C = \iint \frac{\epsilon}{d - w(r)} r dr d\theta$$

Όπου $w(r)$ δίνεται από τον τύπο (1)

Οι αισθητήρες χωρητικότητας δύναται να λειτουργήσουν σε επαφή καθώς η περιοχή επαφής στην οποία ασκείται η πίεση, που ως επακόλουθο μετρούν, είναι σχεδόν ανάλογη και γραμμική με την χωρητικότητα τους. Βέβαια η αυξημένη τους γραμμικότητα έρχεται σε αντιδιαστολή με την μειωμένη ευαισθησία τους. Τα πλεονεκτήματα έναντι των αισθητήρων πιεζοαντίστασης είναι η αυξημένη ευαισθησία στην πίεση και η μειωμένη στην θερμοκρασία. Από την άλλη το κύριο μειονέκτημα τους είναι η απώλεια σήματος που προκύπτει από την χωρητικότητα του πυκνωτή.

1.2.5 Wireless sensor networks

Τα δίκτυα των ασύρματων αισθητήρων (WSN) [11] έχουν αναπτυχθεί για να δώσουν λύση σε πληθώρα εφαρμογών. Κομμάτι του WSNs είναι οι μικρές, ελάχιστες σε κόστος και κατανάλωση συσκευές, που ονομάζονται κόμβοι, οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός προηγμένου δικτύου. Αυτές οι συσκευές συλλέγουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες είτε δίνουν εντολές ελέγχου σε κάποιους ενεργοποιητές. Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους τα WSNs άπτονται της προσοχής της βιομηχανικής κοινότητας είναι η ευέλικτη εγκατάσταση και συντήρηση των κόμβων σε περιοχές όπου είναι δύσκολα προσβάσιμες και το χαμηλό κόστος τους σε σχέση με την εύρος ανάπτυξης των εφαρμογών τους. Για παράδειγμα, ο Clint Heyer ερεύνησε την χρησιμότητα των ρομπότ απομακρυσμένου ελέγχου σε περιβάλλοντα όπου είναι πιθανώς θανατηφόρα για τον άνθρωπο.

Επιπλέον τα WSNs έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως το WiFi, Bluetooth, Zigbee & WLAN τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην βιομηχανία. Το κάθε ένα από αυτά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Παίρνοντας ως παράδειγμα το WLAN, διαθέτει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από ότι το Zigbee και το Bluetooth ωστόσο μικρότερη διάρκεια μπαταρίας ζωής σε σχέση με αυτά. Η επιλογή πρωτοκόλλου καθορίζεται από παραμέτρους όπως το μέγεθος των δεδομένων, η ταχύτητα που θέλουμε να μεταφερθούν τα δεδομένα, ο αριθμός των κόμβων κτλ. Πλέον με την ανάπτυξη τους η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων γίνεται εφικτή. [12]

Κεφάλαιο 2^ο –Μέτρηση ροής

2.1.1 Βαθμονόμηση και πιστοποίηση σύγχρονων οργάνων

Σύμφωνα με το μοντέλο της FDA, η πιστοποίηση ενός οργάνου είναι μια συνεχόμενη διαδικασία η οποία έχει σκοπό την βελτίωση του [13]. Η συντήρηση και η βαθμονόμηση του οργάνου, βρίσκονται στο τρίτο στάδιο αυτού του μοντέλου. Η διαχείριση κινδύνου ποιότητας, το λεγόμενο QRM (Quality Risk Management) είναι η διαδικασία ελαχιστοποίησης του κινδύνου παραγωγής ενός ελαττωματικού ή χαμηλής ποιότητας προϊόντος. Η βαθμονόμηση ενός οργάνου και η πιστοποίηση του είναι μέρος του QRM. Οι διαδικασίες αυτές καθορίζονται από το FDA και EMA. Σύμφωνα με το ISO 9001:2008 όλα τα όργανα θα πρέπει να βαθμονομούνται και να πιστοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, θα πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

1. Η πιστοποίηση και η βαθμονόμηση θα πρέπει να βασίζονται στα εθνικά πρότυπα.
2. Η πιστοποίηση και η βαθμονόμηση θα πρέπει να είναι επίσημα καταγεγραμμένες.

Αρχικά, για την πιστοποίηση ενός οργάνου θα πρέπει ληφθεί υπόψη εάν το όργανο λειτουργεί με βάση τις κατασκευαστικές προδιαγραφές του, προτού τεθεί εκτός λειτουργίας για την βαθμονόμηση. Έπειτα, γίνεται σύγκριση μεταξύ του οργάνου και ενός προτύπου το οποίο πληρεί όλες τις προδιαγραφές με βάση τα εθνικά πρότυπα. Τυχόν διαφορές μεταξύ της τιμής μέτρησης και της αναφερόμενης τιμής ενδέχεται να διορθωθούν μετά την βαθμονόμηση του οργάνου, αλλάζοντας τον συντελεστή βαθμονόμησης. Εφόσον ο αισθητήρας του οργάνου καθοριστεί και ρυθμιστεί, πραγματοποιείται εκ νέου μια μέτρηση σε σύγκριση με βάση το πρότυπο. Υπάρχει και η λεγόμενη βαθμονόμηση «όπως βρέθηκε», δηλαδή το όργανο βαθμονομείται επί τόπου προτού γίνουν αλλαγές. Αυτή η μέθοδος όμως προϋποθέτει το όργανο να έχει περάσει όλες τις διαδικασίες ελέγχου πριν την τοποθέτηση του.

Ανάλογα με το πρότυπο βαθμονόμησης που θα επιλέξει ο χρήστης μπορεί να ληφθούν τα ανάλογα έγγραφα πιστοποίησης της βαθμονόμησης. Τα δύο (2) είδη προτύπων είναι τα Standard 1 και Standard 2 πρωτόκολλα. Σύμφωνα με το δεύτερο πρωτόκολλο – standard 2 - λαμβάνεται πιστοποίηση από την NIST αλλά δε παρέχονται πρόσθετα έγγραφα πιστοποίησης. Το πρωτόκολλο 1 – standard 1 - παρέχει την ίδια πιστοποίηση με εξαίρεση την περίπτωση βαθμονόμησης «όπως βρέθηκε». Η βαθμονόμηση ενός οργάνου είναι δαπανηρή για την βιομηχανία ωστόσο ακόμα και σε όργανα τα οποία θεωρητικά μπορούν να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα για μεγάλη χρονική διάρκεια, είναι απαραίτητη. Μάλιστα πολλές βιομηχανίες πραγματοποιούν βαθμονόμηση των οργάνων τους ανά εξάμηνο. Τα σύγχρονα όργανα, διαθέτουν τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να βαθμονομηθούν αυτόματα και χωρίς την εξωτερική βοήθεια του ανθρώπου. Στην συνέχεια θα αναλυθεί μια τέτοια τεχνολογία η οποία αναπτύχθηκε από την εταιρία Endress+Hauser.

Η τεχνολογία Heartbeat έχει δοκιμαστεί και πιστοποιηθεί από τον ευρωπαϊκό οργανισμό TÜV και πληρεί τις προϋποθέσεις που θέτει το ISO 9001:2008. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί και ελέγχει όλα τα σήματα του οργάνου για τυχόν αποκλίσεις μέσα σε μια πολύ στενή ζώνη. Κάθε όργανο έχει ορισμένο όριο αποτυχίας, ανάλογα με την ακρίβεια του. Όταν λοιπόν το όργανο ανιχνεύσει κάποια τιμή η οποία ξεπερνάει το καθορισμένο όριο, ενεργοποιεί κάποιο είδος συναγερμού (alarm). Επομένως, η αυτοματοποίηση αυτή εξαλείφει την ανάγκη αφαίρεσης του οργάνου εφόσον δεν ακουστεί ο συναγερμός ειδοποίησης (alarm). Επιπλέον, κατά την φάση σχεδιασμού των σύγχρονων οργάνων γίνεται χρήση διαγνωστικής ανάλυσης (FMEDA) ή οποία 'ενημερώνει' το όργανο για τα κρίσιμα εξαρτήματα που διαθέτει. Τα πιο κρίσιμα εξαρτήματα είναι αυτά που συμμετέχουν στην διαδικασία και ακολουθούν τα ηλεκτρομηχανικά, η πλακέτα ενισχυτή, τα κύρια ηλεκτρονικά στοιχεία και οι έξοδοι. Αναλυτικά η τεχνική διαγνωστικής ανάλυσης περιέχει:

- Το σκοπό του κάθε εξαρτήματος του οργάνου.
- Τους πιθανούς παράγοντες που μπορούν να αποτύχουν σε κάθε εξάρτημα του οργάνου.
- Τις επιδράσεις που μπορεί να έχει η κάθε αποτυχία εξαρτήματος του οργάνου στο τελικό προϊόν.

- Την δυνατότητα οποιουδήποτε διαγνωστικού συστήματος να ανιχνεύσει την αποτυχία.
- Το λειτουργικό προφίλ κάθε εξαρτήματος (το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί).

Τα σύγχρονα όργανα διαθέτουν αυτοδιαγνωστικές ικανότητες έως και 95% σύμφωνα με το EC 61508.

Μέτρηση ροής

Τα παραδοσιακά ροόμετρα λειτουργούσαν με βάση έναν περιστρεφόμενο ρότορα (προπέλα) ο οποίος περιστρεφόταν με βάση την ροή του υγρού το οποίο πέρναγε από μέσα του (μετρητές στροβίλου) [14]. Ουσιαστικά ήταν κατασκευές με πτερυγία ,τοποθετημένα σε ρουλεμάν μέσα σε ένα μεταλλικό περίβλημα. Η μέτρηση της ροής του ρευστού γινόταν με βάση την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων. Δηλαδή η ροή ήταν ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής. Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του ρότορα, γινόταν χρήση διαφόρων τεχνικών όπως μηχανικοί άξονες και αισθητήρες. Οι συγκεκριμένοι μετρητές μπορούσαν να κατανεμηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα τον σχεδιασμό τους. Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι ήταν αυτοί που κάνανε χρήση έλικα και οι λεγόμενοι ‘μετρητές κουπιών’. Στους δεύτερους, ο άξονας περιστροφής ήταν κάθετος προς την κατεύθυνση της ροής. Οι μετρητές στροβίλου μπορούσαν να μετρήσουν τόσο υγρά όσο και αέρια. Τα κύρια μειονεκτήματα που οδήγησαν στην όλο και λιγότερη χρήση των συγκεκριμένων μετρητών ήταν η ευαισθησία τους σε συγκεκριμένα προφίλ ροής και η ύπαρξη κινούμενων μερών που μπορούσαν να καταστραφούν από ακαθαρσίες . Οι μετρητές στροβίλου τείνουν να εκλείψουν από τις σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και δίνουν την σειρά τους σε νέες , πιο καινοτόμες τεχνολογίες που θα αναλυθούν παρακάτω.



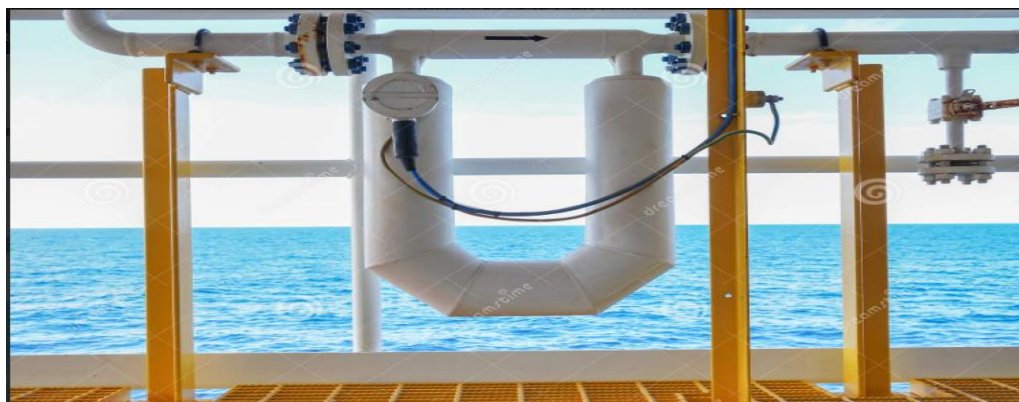
(εικόνα 2.1)..Παραδοσιακός μετρητής ροής με ρότορα [14]

2.1.2 Το ροόμετρο Coriolis

Η μέτρηση της ροής με βάση την τεχνολογία Coriolis έκανε την εμφάνιση της το 1977. Η μέθοδος αυτή έχει τραβήξει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας και τάσσεται ως μια από τις πιο αναπτυσσόμενες μεθόδους μέτρησης ροής με μια πληθώρα εφαρμογών.

Σημαντικότερο πλεονέκτημα των μετρητών που κάνουν χρήση αυτής της τεχνολογίας, είναι η δυνατότητα τους να μετράνε την ροή μάζας τόσο σε υγρά όσο και σε αέρια. Στην βιομηχανία προκειμένου να υπάρχει σταθερότητα στην τιμή των υγρών όσον αφορά τις χρηματοοικονομικές συναλλαγές, χρησιμοποιούνται μονάδες μέτρησης μάζας ή αναφερόμενου όγκου. Αυτές οι μονάδες εναλλακτικά ονομάζονται κανονικές (normal) ή τυπικές (standard) μονάδες. Για παράδειγμα, τα κυβικά πόδια είναι μια από αυτές.

Παρά το γεγονός ότι οι μετρητές Coriolis μπορούν να μετρήσουν καθαρό όγκο, αναφερόμενο όγκο και συγκέντρωση, η μέτρηση μάζας θεωρείται πιο σημαντική. Αυτό συμβαίνει γιατί η μέτρηση του όγκου είναι άμεσα συνδεδεμένη με την θερμοκρασία, την πίεση, την συμπίεση και την σύνθεση. Οι μετρητές αυτοί πραγματοποιούν ταυτόχρονη μέτρηση των παραπάνω παραγόντων σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες ροής οι οποίες απαιτούν ξεχωριστές συσκευές μέτρησης θερμοκρασίας και πίεσης για να δώσουν μέτρηση τυπικού όγκου, αφού αυτός θα πρέπει πρώτα να διορθωθεί από τις μετρήσεις που λήφθηκαν όπως θερμοκρασίας και πίεσης. Πλέον ένα σύγχρονο όργανο Coriolis διαθέτει την δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας, παρόλο που ο αρχικός σχεδιασμός του αφορούσε μονάχα μέτρηση ροής. Τελικά, εφόσον δεν τίθεται θέμα χρήσης πρόσθετων συσκευών μέτρησης, ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος αβεβαιότητας στην μέτρηση αλλά και το επιπλέον κόστος που θα απαιτούνταν για την αγορά, εγκατάσταση και συντήρηση αυτών των συσκευών. Επιπλέον, η ακριβής μέτρηση της πυκνότητας καθιστά εφικτή την μέτρηση και της συγκέντρωσης, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική σε εφαρμογές όπου συμμετέχουν δύο ή και περισσότερα υλικά. [14]



(εικόνα 2.2).. Μετρητής ροής Coriolis ή μετρητής ροής μάζας για τη μέτρηση πετρελαίου και αερίου σε σωλήνα [15]

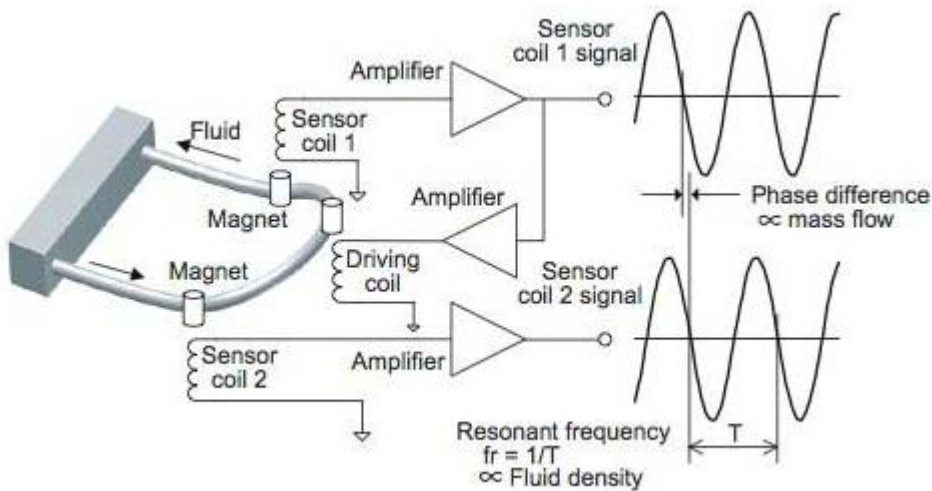
2.1.3 Αρχή λειτουργίας ροόμετρου Coriolis

Το ροόμετρο Coriolis οφείλει το όνομα του στον Γάλλο μηχανικό Gaspard-Gustave de Coriolis [16] και αυτό γιατί κάνει χρήση της δύναμης Coriolis. Ο συγκεκριμένος μηχανικός μελέτησε και ποσοτικοποίησε τις δυνάμεις που υπάρχουν σε ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς, κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στο λόγο για τον οποίο αυτές οι δυνάμεις έχουν επιρροή στις οβίδες, οι οποίες δε βρίσκουν στόχο σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω της περιστροφής της γης. Η δύναμη αυτή έχει ως βάση τους δύο πρώτους νόμους του Νεύτωνα.

Ορισμός 1^{ου} νόμου του Νεύτωνα [17]: Ένα σώμα το οποίο βρίσκεται σε ακινησία είτε κινείται με σταθερή ταχύτητα προς μια κατεύθυνση, θα παραμείνει ακίνητο ή θα συνεχίσει να κινείται με την ίδια ταχύτητα προς την ίδια κατεύθυνση αντίστοιχα, εφόσον δε του ασκηθεί άλλη δύναμη.

Ορισμός 2^{ου} νόμου του Νεύτωνα [18]: Η δύναμη που ασκούμε σε ένα σώμα ισούται με το γινόμενο της μάζας του με την επιτάχυνση που θα αποκτήσει προς την κατεύθυνση που ασκείται η δύναμη.

Οι μετρητές Coriolis όπως έχουμε αναφέρει δύναται να μετρήσουν ροή μάζας, πυκνότητα και θερμοκρασία. Αυτό το επιτυγχάνουν απομονώνοντας ένα τμήμα της διαδρομής της ροής, το οποίο είναι ενισχυμένο στα άκρα του και μειωμένο από την επίδραση δονήσεων του περιβάλλοντος του, επικεντρώνοντας έτσι στις υπόλοιπες δυνάμεις που του ασκούνται.



(εικόνα 2.3)..Αρχή λειτουργίας ροόμετρου Coriolis [19]

Μέτρηση μάζας

Κατά την μέτρηση της μάζας, εφαρμόζεται μια δύναμη η οποία ταλαντώνει το μετρούμενο τμήμα με αποτέλεσμα ο αισθητήρας να δονείται και αυτός στην φυσική του αρμονική

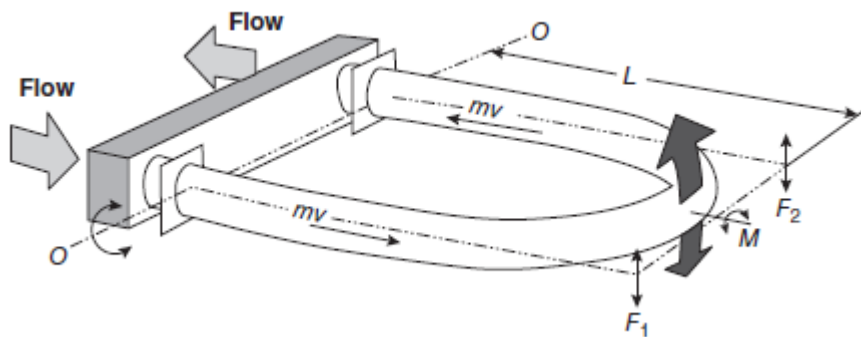
συχνότητα. Στη συνέχεια οι pick off αισθητήρες, οι οποίοι βρίσκονται κατά την διαδρομή όπου μετριέται η κίνηση, λαμβάνουν τις ταλαντώσεις και τις συγκρίνουν μεταξύ τους για να κατανοήσουν σε πιο σημείο βρίσκεται η μάζα που κινείται. Για αισθητήρες τύπου λυγισμένου σωλήνα, το πηνίο μετάδοσης κίνησης ασκεί μια δύναμη (F , Coriolis) η οποία συμβάλει στην ανάπτυξη μιας γωνιακής ταχύτητας ω γύρω από το κέντρο του σωλήνα. Ο τύπος ο οποίος δίνει την δύναμη Coriolis είναι ο εξής:

$$F = 2\omega mV$$

Όπου m η μάζα και V η ορμή.

Όταν δεν υπάρχει κίνηση του υγρού κατά συνέπεια δεν υπάρχει και ταλάντωση και τότε εννοείται ότι το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία.

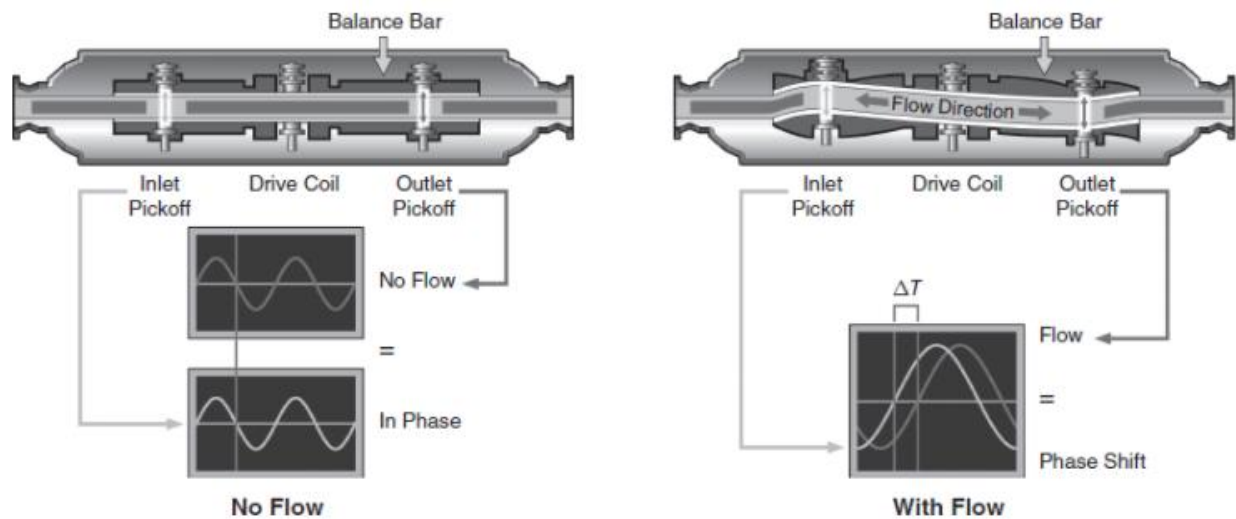
Κατά την έναρξη της κίνησης του υγρού, αναπτύσσεται μια ροπή ταλάντωσης M η οποία παράγει ένα σήμα σαν έξοδο, το οποίο έχει μια ελάχιστη καθυστέρηση οφειλόμενη στη κίνηση "στρέψης" των σωλήνων αισθητήρα. Αυτή είναι αποτέλεσμα της αδρανούς κίνησης του υγρού κατά την απομάκρυνση του από τον μετρητή η οποία στη συνέχεια αλλάζει κατά το στρογγύλεμα του και εν συνεχεία πάλι αντιστέκεται στην καθοδική κίνηση. Αυτή η καθυστέρηση ονομάζεται delta-t και είναι ανάλογη της μάζας που κινείται.



(εικόνα 2.4)..Οι δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αισθητήρες τύπου λυγισμένου σωλήνα [14]

Στους αισθητήρες τύπου ευθύγραμμου σωλήνα εφαρμόζεται η ίδια αρχή λειτουργίας ροής μάζας. Η διαφορά τους με τους αισθητήρες λυγισμένου σωλήνα είναι ότι διαθέτουν δύο (2) περιστρεφόμενα κέντρα του άξονα. Σε αυτούς, επίσης, δημιουργούνται δύο (2) αντίθετες δυνάμεις Coriolis. Εδώ κατά την κίνηση του υγρού, η είσοδος του σωλήνα περιστρέφεται προς μια κατεύθυνση για να επιτρέψει την διέλευση του υγρού δημιουργώντας μια δύναμη που έχει

κατεύθυνση προς τα πάνω. Στη συνέχεια, το υγρό φτάνει στο κέντρο του σωλήνα, το διαπερνάει και κατευθύνεται προς τα κάτω με αντίθετη κατεύθυνση προς την έξοδο του σωλήνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια αδρανειακή δύναμη προς τα πάνω, στην αντίθετη κατεύθυνση, προκαλώντας μετατόπιση φάσης στο σήμα λήψης εξόδου. Οι σύγχρονοι μετρητές ως επί το πλείστον διαθέτουν μία ράβδο ισορροπίας, η οποία είναι τοποθετημένη στο εξωτερικό του κύριου σωλήνα του αισθητήρα. Αυτή κινείται σε ακριβώς αντίθετη φορά με τις κινήσεις του σωλήνα μέτρησης και ρόλος της είναι να παρέχει μια σταθερή αναφορά στην μέτρηση.



(εικόνα 2.5). Αισθητήρας τύπου ευθύγραμμου σωλήνα. [14]

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι μετρητές Coriolis έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν μέτρηση πυκνότητας στα υγρά. Το σύστημα το οποίο μετριέται και αποτελείται από τον σωλήνα που ρέει το υγρό και το υγρό το ίδιο, διαθέτει μια φυσική συχνότητα βάσει της οποίας γίνεται η μέτρηση. Η αρχή είναι η εξής:

1. Όσο πιο παχύρευστο το υγρό που διέρχεται μέσα από το σωλήνα, άρα και μεγαλύτερη μάζα, τόσο μειώνεται η φυσική συχνότητα του συστήματος.
2. Το αντίθετο συμβαίνει όταν διέρχεται ένα λιγότερο παχύρευστο υγρό, άρα λιγότερη μάζα, η φυσική συχνότητα του συστήματος αυξάνεται.

Η μέτρηση της συχνότητας F του συστήματος γίνεται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hz). Τελικά η πυκνότητα του ρευστού υπολογίζεται με βάση την περίοδο T του σωλήνα (microseconds ανά κύκλο) δοσμένη από τον τύπο:

$$T = \frac{1}{f}, sec \text{ και } F = \frac{1}{T}, Hz$$

$$\text{Συχνότητα } P = \frac{1}{f^2}$$

Όπως γίνεται αντιληπτό, η συχνότητα και η περίοδος είναι αντιστρόφως ανάλογες.

2.1.4 Κατηγορίες -Τοποθέτηση

Οι μετρητές Coriolis διατίθενται στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία όσον αφορά το σχήμα τους, το υλικό τους και τον τρόπο διασύνδεσης και επικοινωνίας τους.

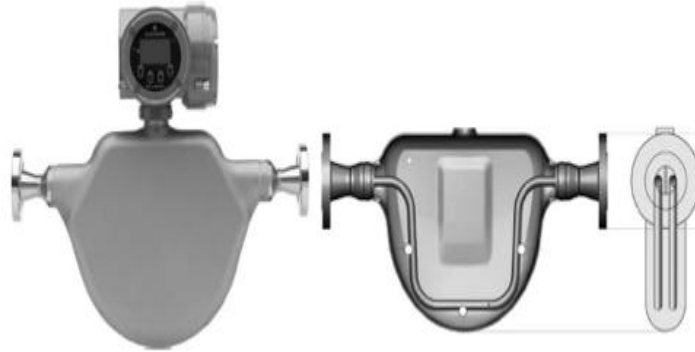
- Μεγέθη από 1/12' (DIN1) έως 14'' (DIN350).
- Υψηλής πίεσης έως και 15,000 psi
- Υψηλής θερμοκρασίας έως και 426 βαθμοί Κελσίου.

Οι δύο πιο διαδεδομένοι μετρητές Coriolis στην αγορά είναι αυτοί του διπλού λυγισμένου σωλήνα (Dual bent-tube design) και του μονού ευθύγραμμου σωλήνα (single straight tube).

Dual bent-tube design

Πρόκειται για τον αισθητήρα με την εκτενέστερη χρήση στη βιομηχανία λόγω της υψηλής ακριβείας του, αφού η αναλογία σήματος προς τον θόρυβο από εξωτερικές επιδράσεις είναι η βέλτιστη.

- ✓ Υψηλή ακρίβεια μέτρησης.
 - ✓ Μεγάλη γκάμα σε μετρήσεις ροής και πυκνότητας.
 - ✓ Υψηλή μηχανική ευστάθεια.
 - ✓ Ανθεκτικότητα σε εξωτερικούς θορύβους (δόνηση).
 - ✓ Ελαχιστοποίηση θερμικών καταπονήσεων.
-
- ☒ Απώλειες πίεσης λόγω του μεγάλου μήκους σωλήνα και της διάσπασης της ροής.
 - ☒ Σε περιπτώσεις όπου ο σωλήνας φράζει, απαιτείται μηχανική παρέμβαση για τον καθαρισμό του [20]

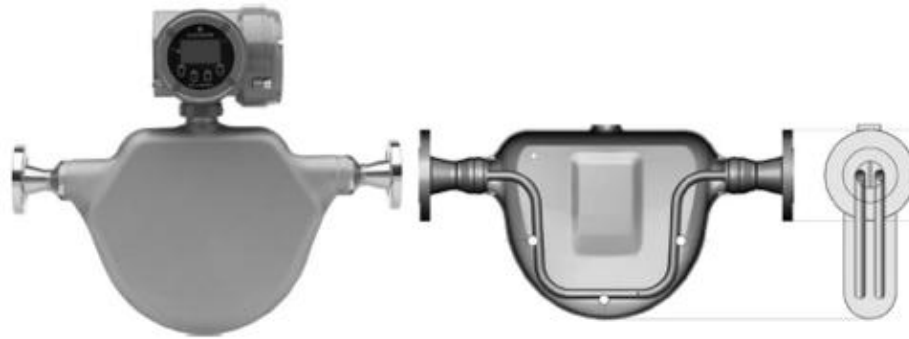


(εικόνα 2.6).. Coriolis διπλού λυγισμένου σωλήνα [14]

Single straight tube

Οι μετρητές Coriolis ευθύγραμμου σωλήνα στην πλειονότητα τους κατασκευάζονται από υλικά αυξημένης ποιότητας όπως το τιτάνιο. Αυτό τους δίνει το πλεονέκτημα τόσο της χαμηλής θερμικής διαστολής (ιδιαίτερα όταν τοποθετούνται σε χώρο με περιορισμένο εμβαδόν) όσο και της μέγιστης ευελιξίας. Εδώ δηλαδή δεν έχουμε κίνηση στο σωλήνα εφόσον είναι φτιαγμένος από σκληρό υλικό. Οι αισθητήρες, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από χαμηλότερης ποιότητας υλικά όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, έχουν υψηλότερη ευαισθησία σε θερμικές καταπονήσεις κάτι που έχει επίδραση στην μέτρηση τους.

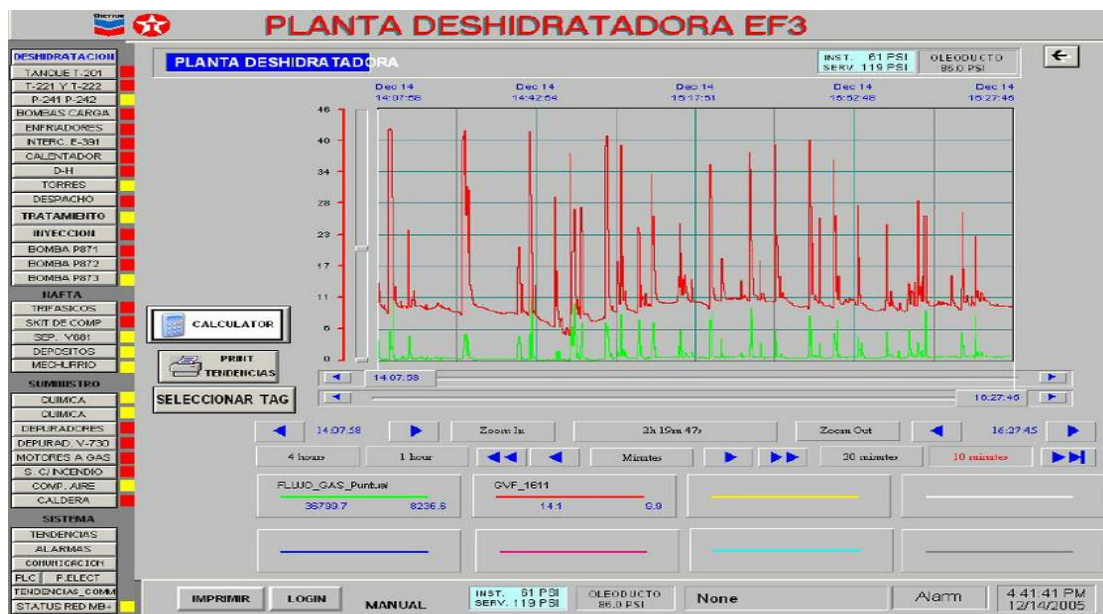
- ✓ Ελάχιστη απώλεια πίεσης.
- ✓ Φιλικό για χρήση σε εφαρμογές που αφορούν βιοεπιστήμες, φαρμακοβιομηχανίες και παραγωγές τροφίμων.
- ✓ Ευκολία στο καθαρισμό και την επιθεώρηση τους.
- ✓ Ιδανική χρήση για διεργασίες που περιέχουν μεγάλα σωματίδια.
- ☒ Αναγκαιότητα κατασκευής τους από ακριβά υλικά υψηλής ποιότητας.
- ☒ Η φυσική τους συχνότητα είναι ιδιαίτερα υψηλή με αποτέλεσμα να περιορίζεται το εύρος μέτρησης τους.
- ☒ Χαμηλή απόδοση σε διεργασίες όπου το υλικό βρίσκεται σε δύο φάσεις (πχ αέριο ,υγρό).



(εικόνα 2.7)..Coriolis ευθύγραμμου σωλήνα [14]

Επικοινωνία

Τα περισσότερα ροόμετρα Coriolis διαθέτουν ρυθμιζόμενες εξόδους συναγερμού. Σε περίπτωση όπου ο μετρητής ελέγχει αυτόματα μια βαλβίδα μπορεί επίσης να είναι εξοπλισμένος με ρελέ. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας με τα οποία διατίθενται οι μετρητές είναι πολλά και χρησιμοποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή. Μερικά από αυτά είναι τα εξής: Profibus, Foundation Fieldbus, HART, Modbus, scaled pulse. Αυτό που χρησιμοποιείται όμως πιο συχνά για την επικοινωνία είναι το 4-20 mA.



(εικόνα 2.8)..Μετρήσεις Coriolis που έχει εγκατασταθεί σε σταθμό ροής. [21]

2.1.5 Εφαρμογές μετρητών Coriolis – απόδοση

Οι εφαρμογές, για τις οποίες οι μετρητές Coriolis είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι, είναι αυτές όπου η ακρίβεια και επαναληψιμότητα χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας για την ορθή παραγωγή μιας βιομηχανίας. Γενικότερα μετρούν ροή αερίων, αγωγίμων και υγρών ακόμα και αιωρούμενων υλικών που βρίσκονται μέσα σε ροή υγρών.

Τα ροόμετρα μάζας Coriolis χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες όπως τα χημικά, το πετρέλαιο, τα πετροχημικά, τα φαρμακευτικά προϊόντα, τα τρόφιμα, τα ποτά και το χαρτί. Επίσης, γίνεται χρήση τους σε έλεγχο διαδικασίας, καταμέτρηση παρτίδων, απογραφή προϊόντων, γέμισμα δοχείων και μεταφορά κιβωτίων.

Για την χρήση αυτών των μετρητών στις προαναφερθείσες εφαρμογές μπορεί να απαιτηθεί η έγκριση τους από third-party οργανισμούς ή κυβερνητικές οργανώσεις όπως το National Type Evaluation Program (NTEP) [21], International Organization of Legal Metrology (OIML), [22] Measuring Instruments Directive (MID) certification),

Food and beverage		Chemical and petrochemical		Petroleum products
Beer, Soda		Adhesives	Hydrogen peroxide	Asphalt
Chocolate		Alcohol	Latex	Bunker C
Fruit juice		Ammonia	Nitric acid	Crude oil
Honey		Catalysts	Phosgene	Diesel fuel
Ice cream		Caustic	Phosphoric acid	Fuel oil
Margarine		Cyclohexane	Polyol	Gasoline
Milk		Ethylene	Propylene	Hydraulic oil
Molasses		Formaldehyde	Resins	Jet fuel
Peanut butter		Freon	Solvents	Kerosene
Pet food		Glycerine	Styrene	Lube oil blending
Tomato paste		Glycol	Sulphuric acid	Oil/water emulsion
Animal, vegetable fat		Hydrochloric acid	Toluene	Tar
Pharmaceutical	Pulp and paper	Other	Gases	
Alcohols	Anti-foaming agents	Dyes	Compressed gases: nitrogen, helium, carbon dioxide, CNG	
IV bag filling	Black liquor	Ink	Hydrogen	
Palm oil	Cellulose slurry	Magnetic tape coating	Oxygen	
Perfume	Paper pulp	Paint	Liquidified gases: Carbon dioxide, LPG, LNG	
Pill Coatings	Red liquor	Photographic emulsion		
Soap	Titanium dioxide	Wax		
Sodium methylate		Filling airbags (Automobile industry)		
Talc powder				
Vitamins				

(εικόνα 2.9)..Πίνακας εφαρμογών των ροόμετρων Coriolis. [20]

Τα ροόμετρα αυτά βαθμονομούνται κατά την αρχική τους τοποθέτηση στο εργοστάσιο και δεν χρειάζονται περαιτέρω βαθμονόμηση κατά τον κύκλο ζωής τους εφόσον δεν υπάρχει διάβρωση και μηχανική κατάποση. Επίσης, δεν αποτελούνται από κινούμενα μέρη κάτι το οποίο μειώνει την ανάγκη για συντήρηση. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε εφαρμογή όπου μπορεί να υπάρξει συσσώρευση βρωμιάς στα τοιχώματα του μετρητή, αφού αυτός δεν εξαρτάται από τη διατομή του προφίλ από όπου εισέρχεται το υγρό. Επιπροσθέτως, μπορούν να

μετρήσουν ρευστά τα οποία έχουν μη γραμμική πυκνότητα και συμπιεστότητα κάνοντας την μέτρηση μάζας την προτεινόμενη μέθοδο έναντι άλλων μετρήσεων όπως η πίεση που δε θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν.

Η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα των μετρητών Coriolis, τους εντάσσει στην κατηγορία των πιο αποδοτικών μετρητών στην αγορά αυτή τη στιγμή κάτι που το μαρτυρά και η τιμή τους. Παρόλο που υπάρχουν και μοντέλα μετρητών χαμηλότερης κατηγορίας, συνήθως γίνεται χρήση των υψηλότερων κατηγοριών με ακρίβεια μέτρησης ροής και πυκνότητας σε υγρά έως και +0,05%. Η ακρίβεια πυκνότητας για υγρά είναι +0,0001 g/cm (0,1 kg/m³) και για υγρά με ειδικό βάρος έως 5 g/cm³ (5.000 kg/m³). Στα αέρια η ακρίβεια μέτρησης ροής μάζας, τυπικού όγκου ανέρχεται στο +0,25%. Να σημειωθεί ότι στα αέρια οι μετρητές Coriolis δε μετρούν πραγματικό όγκο αλλά τυπικό, ο οποίος εξαρτάται από την πυκνότητα του αερίου και την σταθερότητα στη σύνθεση του.

Όπως έχουμε αναφέρει οι μετρητές Coriolis μπορεί να διαθέτουν ταυτόχρονη μέτρηση θερμοκρασίας κάτι που τους επιτρέπει να έχουν μεγάλη ακρίβεια σε μεταβλητές που βασίζονται στη πυκνότητα όπως ο τυπικός όγκος υγρού, όγκος αναφοράς θερμοκρασίας, ο καθαρός όγκος, το ειδικό βάρος (SGU), η ανθεκτικότητα στο αλκοόλ, η περιεκτικότητα σε ζάχαρη ("Brix, "Plato, "Balling, "Baumé) και η ελαφρότητα ή βαρύτητα ακατέργαστων ελαίων. Συμπερασματικά, οι μετρητές Coriolis είναι αποτελεσματικοί στις περισσότερες περιπτώσεις με εξαίρεση ίσως περιπτώσεις όπου δεν έχουμε γεμάτους σωλήνες ή ρευστά σε δύο ή περισσότερες φάσεις και σε χαμηλές πιέσεις.

2.1.6 Ο μετρητής SITRANS FC330

Ο SITRANS FC330 [23] είναι ένα σύστημα μέτρησης ροής Coriolis της εταιρείας Siemens. Το ροόμετρο βασίζεται στις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία επεξεργασίας ψηφιακών σημάτων και είναι σχεδιασμένο για υψηλή απόδοση μέτρησης. Έχοντας εγκριθεί από όλους τους ναυτιλιακούς οργανισμούς πιστοποίησης μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα απόδοσης καυσίμου πλοίων και περιβαλλοντικών μετρήσεων καθώς και σε λύσεις ανεφοδιασμού καυσίμων.

Έχει δυνατότητα εξόδων ρεύματος HART 7.5, Modbus RS 485 RTU, PROFIBUS DP ή PROFIBUS PA ως στάνταρ στο Channel 1 και περαιτέρω λειτουργίες για εφαρμογές όπου απαιτείται αναλογικό σήμα, παλμός, συχνότητα, ρελέ ή δυαδική είσοδος. Η οθόνη του μετρητή είναι πλήρως διαμορφώσιμη από τον χρήστη ενώ για την αποθήκευση των δεδομένων διατίθεται με SensorFlash και μια κάρτα micro SD.

Το σύστημα ροόμετρου SITRANS FC330 αποτελείται από έναν αισθητήρα SITRANS FCS300 και έναν πομπό SITRANS FCT030.



(εικόνα 2.10)..Το σύστημα SITRANS FC330. [23]

Πλεονεκτήματα

- ✓ Ελαφρύς και μικρός σε μέγεθος.
- ✓ Μπορεί να τοποθετηθεί σε μέρη με περιορισμένο χώρο.
- ✓ Εύκολη συντήρηση.
- ✓ Ακρίβεια στην μέτρηση, απομόνωση του θορύβου από τη δόνηση.
- ✓ Παρέχει υψηλή ασφάλεια.
- ✓ Μνήμη που έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει όλα τα δεδομένα εγκατάστασης και λειτουργίας.
- ✓ Ασφαλή ψηφιακή μεταφορά των δεδομένων μέτρησης από τον αισθητήρα.
- ✓ Εύκολη εγκατάσταση και αντικατάσταση στις περισσότερες εγκαταστάσεις.

Τεχνικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 1).

Μεγέθη	DN15(½) DN 25(1") DN 50(2") DN 80(3") DN100(4) DN150(6)
Επαναληψιμότητα	± 0.05 %
Ακρίβεια	± 0.10 % ή 0.20 % για υγρά ±0.40 για αέρια
Εύρος ροής (για υγρά) (νερό σε 1 bar απώλεια πίεσης)	4500kg/ (163.3 lb/min) 20500 kg/h (753.2lb/min) 49000 kg/h (1800 lb/min) 122000 kg/h (4483lb/min) 273000 kg (10031lb/min) 459200 kg/h (16873lb/min)
Αρχιτεκτονική	Συμπαγής ή απομακρυσμένη διαμόρφωση
Οθόνη	Πλήρης γραφική οθόνη, 240 × 160 pixel με επιλογή 6 γλωσσών
Παροχή	20 ... 90 V DC ± 10 %; 100 ... 240 V AC ± 10 %, 47 ... 63 Hz ± 10 %
Υλικό	Εσωτερικά μέρη : 316L από ανοξείδωτο χάλυβα ή κράμα νικελίου C41 Περίβλημα: 304 ανοξείδωτο ατσάλι Πομπός: Αλουμίνιο με ανθεκτική στη διάβρωση επιστροφή κατηγορίας C4
Διαβαθμίσεις πίεσης	316L : 100 bar (1450 psi) Κράμα νικελίου: 100 bar (1450 psi) Περίβλημα αισθητήρα : χωρίς περιορισμό πίεσης
Διαβαθμίσεις θερμοκρασίας	Flanges : EN 1092-1 B1, EN 1092-1 B2, EN 1092-1 D, ANSI/ASME B16.5, JIS B 2220 Pipe threads : ASME B1.20 (NPT) female pipe thread, ISO 228-1 G female pipe thread (BSPP) Hygienic threads :DIN 11851, SMS 1145 Hygienic clamps :DIN 32676 (ISO) Row A
Πιστοποίηση	Επικινδυνότητα: ATEX, IECEx, EAC Ex, CSA, cCSAus, NEPSI, EAC

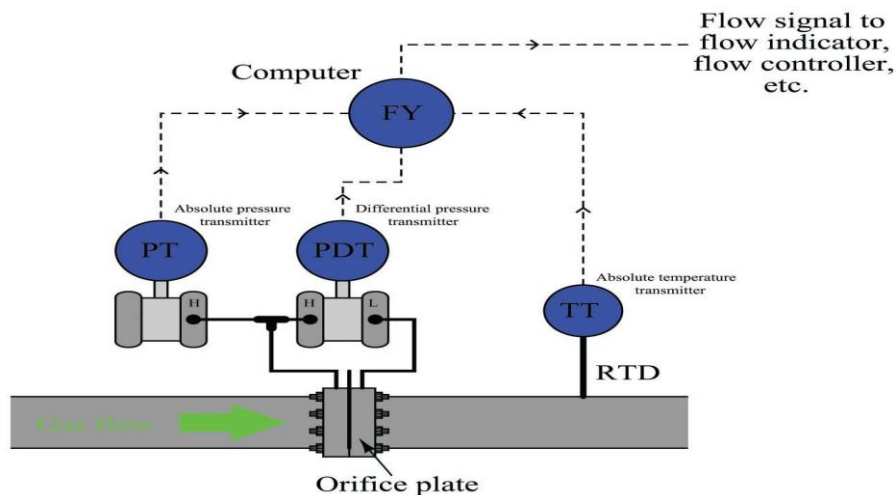
	No dust approval Εξοπλισμός πίεσης : PED, CRN Hygienic : EHEDG (DN 25 ... DN 80) (in preparation) Ναυτιλία : Germanischer Lloyd/det Norske Veritas, Bureau Veritas, Lloyds of London, American Bureau of Shipping, RINA (Italy)
I/O	4 κανάλια (αναλογικά, ρελέ, ψηφιακή έξοδος, δυαδική έξοδος)
Επικοινωνία	HART PROFIBUS PA PROFIBUS DP Modbus RTU (RS 485)
Αγωγιμότητα	EN/IEC 61326-1 (Industry)
Μηχανικό φορτίο	18 ... 400 Hz random

2.2.1 Differential pressure flow

Οι μετρητές ροής διαφορικής πίεσης (DP) είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένοι στη βιομηχανία στον τομέα της μέτρησης και του ελέγχου παραγωγής. Χρησιμοποιούνται αρκετά στις βιομηχανίες φυσικού αερίου αλλά και σε άλλες εφαρμογές. Οι DP μετρητές περιορίζουν την ροή μέσα σε έναν κλειστό σωλήνα δημιουργώντας έτσι πτώση πίεσης κατά την διάρκεια κίνησης του υλικού μέσα στο σωλήνα. Αυτή η πτώση πίεσης λαμβάνεται με βάση την διαφορά πίεσης που υπάρχει στην είσοδο και στην έξοδο του περιορισμού. Η ροή είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της διαφορικής πίεσης.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Μειωμένο κόστος σε εφαρμογές με μεγάλους σωλήνες.
- ✓ Απλή λειτουργία και αντιμετώπιση βλαβών.
- ✓ Εκτεταμένη γνώση πάνω στη λειτουργία τους.
- ✓ Χαμηλό κόστος συντήρησης και αγοράς.
- ✓ Δεν διαθέτει κινούμενα μέρη και κατασκευαστικά είναι σταθερό.



(εικόνα 2.11)..Διάγραμμα λειτουργίας Dp ροόμετρου. [24]

2.2.2 Αρχή λειτουργίας DP ροόμετρου

Τα ροόμετρα DP βασίζονται στην εξίσωση της συνέχειας. Σύμφωνα με αυτή: Κατά μήκος ενός σωλήνα ή μιας φλέβας η παροχή διατηρείται σταθερή. [25]

Ο τύπος της είναι :

$$Qv = A1v1 = A2v2$$

Όπου A το εμβαδόν εισόδου - εξόδου αντίστοιχα και v η ταχύτητα του ρευστού σε κάθε περίπτωση.

Η μέτρηση ροής DP οφείλει την ύπαρξη της στον Ελβετό μαθηματικό Daniel Bernoulli [26] ο οποίος εφάρμοσε την εξίσωση της συνέχειας στην ενέργεια του συστήματος. Θεωρώντας ότι δεν υπάρχει εξωτερική επίδραση ενέργειας, τότε σε ένα σύστημα ή ενέργεια που εισέρχεται είναι η ίδια με την ενέργεια που εξέρχεται. Θεωρώντας ένα οριζόντιο επίπεδο αναφοράς όπου δεν υπάρχει δυναμική ενέργεια λόγω διαφοράς ύψους, η εξίσωση Bernoulli για την κινητική και δυναμική ενέργεια δίνεται από τον τύπο:

$$KE1 + PE1 = KE2 + PE2$$

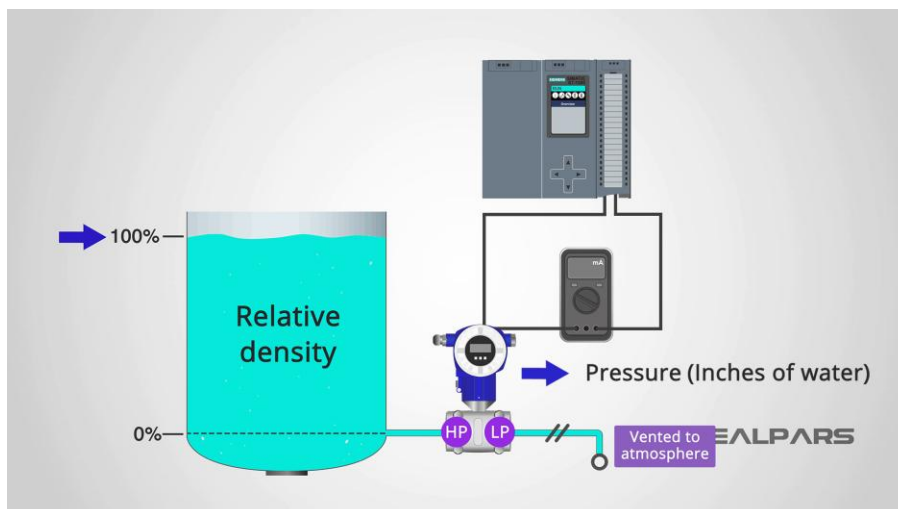
Όπου KE κινητική ενέργεια σε κάθε σημείο αντίστοιχα και PE η δυναμική ενέργεια. Στα ρευστά συγκεκριμένα η κινητική ενέργεια αφορά την ταχύτητα και η δυναμική την πίεση.

Η εξίσωση της συνέχειας περιγράφει ότι σε περίπτωση που έχουμε σμίκρυνση της διατομής στο σημείο εξόδου θα πρέπει η ταχύτητα να ανέβει για να περάσει η ίδια ποσότητα μάζας με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η κινητική ενέργεια. Το ίδιο ισχύει και για την πίεση.

2.2.3 Τα μέρη του μετρητή-τοποθέτηση

Ένας μετρητής ροής τεχνολογίας διαφορικής πίεσης αποτελείται από τα τρία (3) επιμέρους μέρη:

1. Το κύριο μέρος είναι υπεύθυνο για την δημιουργία της διαφορικής πίεσης, περιορίζοντας την ροή. Η ροή μετά τον περιορισμό περνάει μέσω ενός μικρού ανοίγματος στο σωλήνα με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας και την μείωση της πίεσης. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η χρήση του θεωρήματος Bernoulli.
2. Το δευτερεύον μέρος πρόκειται για τον πομπό (transmitter) ο οποίος λαμβάνει την μέτρηση της διαφορικής πίεσης, την μετατρέπει σε ηλεκτρικό ή ψηφιακό σήμα και τελικά την προωθεί σαν είσοδο σε έναν υπολογιστή ροής. Τα σύγχρονα μοντέλα πομπών, σε αντίθεση με τα παλαιά, προσφέρουν την δυνατότητα διόρθωσης από παράγοντες θερμοκρασίας και πίεσης αυξάνοντας την ακρίβεια και την σταθερότητα στην μέτρηση για έως και 15 χρόνια. Επιπλέον, μπορούν να μετρήσουν μέχρι και τρεις (3) παράγοντες σε μια συσκευή όπως θερμοκρασία, πίεση και διαφορική πίεση. Τα παραπάνω αποτελούν σημαντικό στοιχείο στη λειτουργία τους καθώς ελαττώνουν την ανάγκη για τοποθέτηση περιττών οργάνων.
3. Το τελευταίο μέρος είναι υπεύθυνο αρχικά για τον υπολογισμό της ορθής ροής σύμφωνα με τις μετρήσεις που λαμβάνονται. Στην συνέχεια προβάλλει το αποτέλεσμα στο χρήστη και τελικά αποθηκεύει τις τιμές μέτρησης. Αυτό μπορεί να είναι μια μονάδα υπολογιστή ροής που βρίσκεται μέσα σε κάποιο PLC, DCS ή να βρίσκεται ενσωματωμένο στον πομπό.



(εικόνα 2.12)..Σύνδεση D_p ροομέτρου. [27]

Οι μέθοδοι που μπορούν να τοποθετηθούν οι DP μετρητές είναι δύο (2). Η πρώτη είναι η εγκατάσταση στομίου και η δεύτερη η ολοκληρωμένη εγκατάσταση.

Εγκατάσταση στομίου (Orifice Installation)

Στις συμβατικές εγκαταστάσεις DP μετρητών, το κύριο μέρος του μετρητή βρίσκεται ξεχωριστά από τον πομπό. Σε αυτές η σύνδεση της πίεσης μεταξύ του κύριου μέρους και του πομπού γίνεται μέσω παλμικών γραμμών. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα της θερμικής μόνωσης σε εφαρμογές όπου υπάρχει ατμός. Οι γραμμές αυτές, επίσης, διαθέτουν βαλβίδες ή πολλαπλές βαλβίδες που βοηθούν στην απομόνωση των πομπών σε περίπτωση ανάγκης αντικατάστασης λόγω βλάβης. Ωστόσο αυτές οι γραμμές παρουσιάζουν κάποια μειονέκτημα. Πρώτον, το επιπλέον κόστους συντήρησης και εγκατάστασης. Δεύτερον, τον κίνδυνο ανεπιθύμητων διαρροών και τρίτον, τη συσσώρευση στερεών υπολειμμάτων, φυσαλίδων και υγρών. Στην μέθοδο εγκατάστασης στομίου γίνεται χρήση των πλακών στομίου. Το χαμηλό κόστος αντικατάστασης, η ευκολία στη χρήση τους και η ευρεία γνώση που έχουμε πάνω στην λειτουργία τους, τις καθιστά ως τις πιο διαδεδομένες στη μέτρηση ροής DP. Υπολογίζεται ότι το 77% των εγκαταστάσεων DP μέτρησης χρησιμοποιεί αυτές τις πλάκες. Το σχήμα στο οποίο κατασκευάζονται είναι λεπτό και ομόκεντρο ενώ θα πρέπει να πληρούν τα πρότυπα που θέτει το American Gas Association Report No. 3 [28], American Petroleum Institute 14.3, and ISO 5167 Part 2. [29] Τελικώς, οι εφαρμογές που κάνουν χρήση αυτής της μεθόδου εγκατάστασης είναι αυτές της μεταφοράς και αποθήκευσης ατμού, υγρού και αερίου.



(εικόνα 2.13).. *Orifice plate installation.* [30]

Ολοκληρωμένη εγκατάσταση (Integrated Installation)

Πρόκειται για εγκατάσταση όπου ο πομπός και το κύριο μέρος του μετρητή βρίσκονται στο ίδιο σημείο. Αυτό ελαχιστοποιεί τα μειονεκτήματα των γραμμών που αναφέραμε αλλά απαιτεί την τοποθέτηση του πομπού πάνω στον αγωγό. Σημαντικό είναι ότι μειώνουν το κόστος εγκατάστασης.

2.2.4 SITRANS FP230/FPS200

Ο SITRANS FP230/FPS200 [31] είναι ένας μετρητής διαφορικής πίεσης ροής που βρίσκει πεδίο εφαρμογών σε μέτρηση ροής υγρών, ξηρών ή υγροποιημένων αερίων και ατμού. Πιο συγκεκριμένα συναντάται στη χημική βιομηχανία, βιομηχανία πετρελαίου και αερίων, και στην βιομηχανία ενέργειας.

Χημική βιομηχανία

- Ποικιλία υλικών και δυνητικά επικίνδυνων.
- Namur NE107, αυτοδιάγνωση.
- Namur NE21.

Βιομηχανία πετρελαίου και αερίων

- Κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα.

- Μέτρηση αερίων πλούσιων σε υδρογονάνθρακες.






Βιομηχανία ενέργειας

- Εγκεκριμένο Qa11 για εφαρμογές συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών σύμφωνα με EN 15267.

Ο μετρητής αυτός αποτελείται από τα επιμέρους τμήματα που παρουσιάζονται στην εικόνα 2.12.

Πλεονεκτήματα.

- ✓ Μεγάλο εύρος εφαρμογών.
- ✓ Διατίθεται και σαν ολοκληρωμένο σύστημα και τμηματικά.
- ✓ Δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων μετρήσεις σε Web – based βάση.
- ✓ Ευκολία στην εύρεση των δεδομένων και την επικοινωνία του.

	Product name	Fluid	Design	Pressure tapping	Nominal size	Article No.
	<p>Orifice plate with pressure tapplings</p> <p>Compact orifice plate with integrated pressure tapplings in carbon or stainless steel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gas • Steam • Liquid 	<ul style="list-style-type: none"> • Remote • Compact 	Corner tapping	DN 50 ... 500 (2 ...20 inch)	7ME171.-.....
	<p>Orifice plate with annular chamber</p> <p>Orifice plate with annular chamber pressure tapping in carbon or stainless steel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gas • Steam • Liquid 	<ul style="list-style-type: none"> • Remote • Compact 	Annular chamber	DN 50 ... 600 (2 ...24 inch)	7ME172.-.....
	<p>Orifice meter run</p> <p>Orifice meter run with flanges ends in carbon or stainless steel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gas • Steam • Liquid 	<ul style="list-style-type: none"> • Remote • Compact 	Annular chamber	DN 10 ... 50 (3/8 ...2 inch)	7ME173.-.....
	<p>Orifice plate</p> <p>Orifice plate for installation between flanges in stainless steel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gas • Steam • Liquid 	<ul style="list-style-type: none"> • Remote 	Not included	DN 50 ... 600 (2 ...24 inch)	7ME174.-.....
	<p>Orifice plate with orifice flange</p> <p>Orifice flange pair according to ASME B36.16 with orifice plate in carbon steel (flanges) or stainless steel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gas • Liquid 	<ul style="list-style-type: none"> • Remote 	In the flange	DN 50 ... 600 (2 ...24 inch)	7ME175.-.....

(εικόνα 2.14).. Τα μέρη του μετρητή SITRANS FP230/FPS200 [31]

2.3.1 Μαγνητικά ροόμετρα-magnetic flowmeter

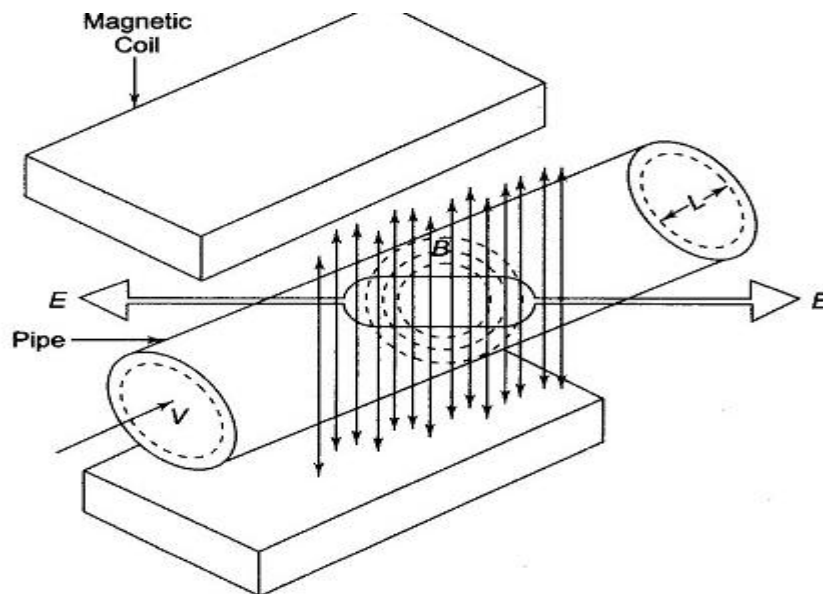
Τα μαγνητικά ροόμετρα [14], που αλλιώς ονομάζονται και ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα, βρίσκουν την δεύτερη μεγαλύτερη απήχηση στο χώρο της βιομηχανίας μετά από τα ροόμετρα διαφορικής πίεσης ροής. Μάλιστα αναμένεται στο μέλλον να βρεθούν στην κορυφή. Αποτελούν την κορυφαία επιλογή στην μέτρηση ροής αγωγίμων υγρών αφού διαθέτουν μέγιστη απόδοση μέτρησης σε μια πληθώρα από εφαρμογές. Μερικά από τα παραδείγματα εφαρμογών για τα οποία χρησιμοποιούνται είναι η παστερίωση γαλακτοκομικών προϊόντων, η εμφιάλωση πόσιμου νερού, η εναπόθεση λυμάτων και διεργασίες που υπάρχουν υγρά με υψηλά ποσοστά στερεών.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλή ακρίβεια ακόμα και σε μη στρωτές ροές.
- ✓ Δεν αποτελούνται από κινούμενα μέρη.
- ✓ Δεν επηρεάζονται από ρίπους (άμμο, ιζήματα).
- ✓ Δυνατότητα μέτρησης διαφόρων ταχυτήτων.
- ✓ Μέτρηση στιγμιαίας ροής αλλά και συνολικού όγκου ροής.
- ✓ Ελάχιστη αναγκαιότητα για συντήρηση.

2.3.2 Αρχή λειτουργίας μαγνητικού ροόμετρου

Η αρχή λειτουργίας [32] του μαγνητικού ροόμετρου βασίζεται στο νόμου του Faraday [33] για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Αντικείμενο της μελέτης του Faraday ήταν οι επιπτώσεις των μαγνητικών πεδίων πάνω σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Η αρχή λειτουργίας είναι αρκετά απλή στη σύλληψη της. Ένα αγωγίμο υλικό, στην περίπτωση μας υγρό, που κινείται μέσα από ένα μαγνητικό πεδίο, θα παράγει μια ηλεκτρομαγνητική δύναμη, την γνωστή τάση. Η τάση που παράγεται είναι ανάλογη της ταχύτητας του αγωγού, του μήκους του και της ισχύς του μαγνητικού του πεδίου. Τοποθετώντας λοιπόν ένα κύκλωμα γύρω από το μαγνητικό πεδίο, μπορούμε να συλλέξουμε αυτή την τάση η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας του ρευστού.



(εικόνα 2.15).. Αρχή λειτουργίας μαγνητικού ροόμετρου. [34]

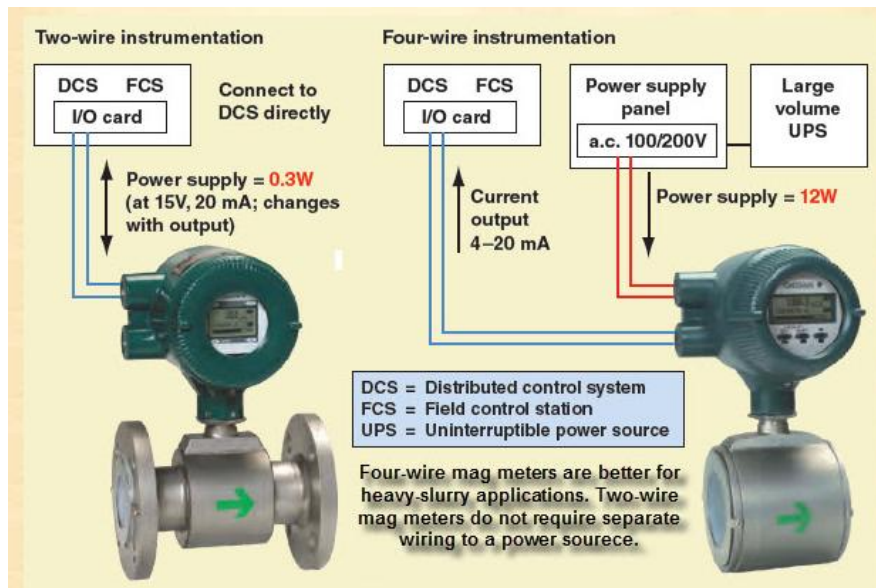
2.3.3 Κατηγορίες-τοποθέτηση.

Τα μαγνητικά ροόμετρα μπορούν να πωλούνται στο εμπόριο σε διάφορα μεγέθη, υλικά κατασκευής και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά εμπεριέχονται στις εξής κατηγορίες:

- Μεγέθη από 0.15" (DN4) και 80" (DN2000) ή και μεγαλύτερα.
- Ροόμετρα υψηλής πίεσης κατηγορίας ANSI Class 2500.
- Ροόμετρα με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίας έως 176°C ή υψηλότερα.

Μαγνητικός μετρητής ροής δύο ή τεσσάρων καλωδίων.

Οι μαγνητικοί μετρητές ροής μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με δύο καλώδια είτε με τέσσερα καλώδια τροφοδοσίας βρόγχου ή με τέσσερα καλώδια με χωριστή τροφοδοσία. Οι διαφορές των μετρητών δύο καλωδίων με των μετρητών τεσσάρων είναι ότι οι πρώτοι δεν χρειάζονται ξεχωριστή καλωδίωση σε μια πηγή ρεύματος λόγω του ότι λαμβάνουν 4-20mA από τροφοδοτικό κλειστού βρόγχου. Διαφορά τους επίσης είναι ότι οι μαγνητικοί μετρητές τεσσάρων καλωδίων δημιουργούν ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο. Οι μετρητές δύο καλωδίων χρησιμοποιούνται συνήθως για πιο απλές εφαρμογές. Οι σύγχρονοι μαγνητικοί μετρητές δύο καλωδίων κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου Hart.



(εικόνα 2.16)..Επιλογή ανάμεσα σε μαγνητικό μετρητή ροής δύο ή τεσσάρων καλωδίων. [35]

AC ή παλμικά-DC πηνία οδήγησης κυκλώματος.

Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη κατηγορία ροόμετρων. Σε αυτά γίνεται χρήση κυκλωμάτων κίνησης πηνίου παλμικού συνεχούς ρεύματος για την δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Οι συγκεκριμένοι μετρητές αρχικά στέλνουν ένα σταθερό συνεχές ρεύμα στα πηνία, έπειτα αναμένουν να σταθεροποιηθεί το μαγνητικό πεδίο και στη συνέχεια αντιστρέφουν την πολικότητα μέχρι να σταθεροποιηθεί εκ νέου το πεδίο. Αυτή η διαδικασία συμβαίνει επανειλημμένα με συχνότητα περίπου 5 με 6 Hertz. Με την σύγκριση των σταθεροποιημένων θετικών και αρνητικών σημάτων γίνεται ανίχνευση των ρευμάτων που δεν αντιστοιχούν στη ροή του υγρού, παρέχοντας έτσι ένα ρεύμα αναφοράς σε μηδενική ροή.

Τα πηνία μπορούν επίσης να τροφοδοτηθούν με εναλλασσόμενο ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα που τους παρέχεται είναι ημιτονοειδές και ισχυρότερο από το συνεχές. Σε αυτούς τους μετρητές δεν απαιτείται βαθμονόμηση εφόσον το ρεύμα είναι συνεχώς μεταβαλλόμενο.

Η σταθερότητα που παρέχουν οι μετρητές παλμικού συνεχούς ρεύματος συχνά υπερπηδά τα προνόμια που παρέχει το ισχυρό μαγνητικό πεδίο που παράγουν οι AC μετρητές. Η χρήση των AC μετρητών γίνεται συνήθως σε εφαρμογές όπου υπάρχει η ανάγκη υψηλότερου μαγνητικού πεδίου για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων θορύβου από το περιβάλλον.

Flanged and Wafer Styles

Οι μετρητές αυτοί είναι σχεδιασμένοι με φλάντζα έτσι ώστε να τοποθετούνται στο κέντρο του σωλήνα όπου υπάρχει η ροή και έχουν επιπλέον μήκος στην περίμετρο τους για να διευκολύνουν την ροή του υγρού. Από την άλλη, οι wafer style μετρητές ή μετρητές χωρίς φλάντζα (flangeless) όπως υποδηλώνει και το όνομα τους, δεν κατασκευάζονται με φλάντζα. Αυτοί συνήθως βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές χαμηλότερης πίεσης και θερμοκρασίας καθώς το κόστος τους είναι λιγότερο. Μπορεί το κύριο πλεονέκτημα τους να είναι το χαμηλό κόστος τους ωστόσο απαιτούν τοποθέτηση επιπλέον δαχτυλιδιών ευθυγράμμισης, καρφιά ή αποστάτες για την ορθή ευθυγράμμιση τους με το κέντρο του σωλήνα. Τέλος, δε θα πρέπει σε καμία περίπτωση να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η πίεση του συστήματος ξεπερνάει τα 750 psi (ANSI CL300) καθώς υπάρχει πιθανότητα διαρροής.

Sanitary-hygienic style

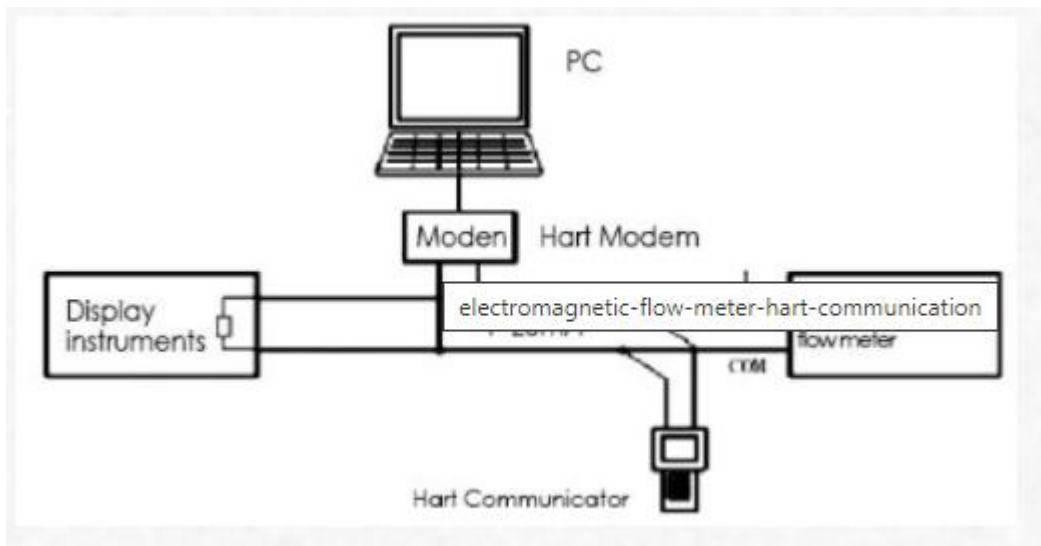
Αυτού του τύπου μετρητές χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες τροφίμων. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το περίβλημα τους από ανοξείδωτο ατσάλι, η λεία εσωτερική τους επιφάνεια και η πλήρως αποστραγγισμένη ροή τους. Συνήθως τοποθετούνται κάθετα για καλύτερη ροή. Επιπλέον, είναι πλήρως εναρμονισμένοι με τα υγειονομικά πρότυπα ροής 3-A και European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG). Περαιτέρω πιστοποιήσεις που έχουν λάβει είναι από τους οργανισμούς Dairy Federation (IDF), ISO 2852 ή ASME-BPE και DIN 11850.

Επικοινωνία

Τα σύγχρονα μαγνητικά ροόμετρα διαθέτουν ασύρματη επικοινωνία και υποστηρίζονται από το πρωτόκολλο Ethernet. [38] Με την βοήθεια του βιομηχανικού Ethernet και των IP διευθύνσεων, τα ροόμετρα μπορούν πλέον να συνδεθούν με συστήματα SCADA σε άμεσο χρόνο αλλά και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.

Το σήμα το οποίο λαμβάνουν οι μαγνητικοί μετρητές ροής είναι αναλογικής τάσης την οποία μετατρέπουν σε ψηφιακό σήμα έτσι ώστε να μπορεί να αναλυθεί. Οι σύγχρονοι μετρητές διαθέτουν ψηφιακά φίλτρα τα οποία αναλύουν το σήμα και το απαλλάσσουν από τυχόν αναλογικούς θορύβους. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουν την μέγιστη απόκριση σήματος προς τον θόρυβο, αυξάνοντας την ακρίβεια της μέτρησης. Τα πρωτόκολλα και οι τύποι εξόδου επικοινωνίας με τα οποία λειτουργούν αυτοί οι μετρητές είναι τα εξής:

- 4-20 mA έξοδοι.
- Έξοδοι παλμού ή συχνότητας.
- HART.
- Foundation Fieldbus.
- Modbus.



(εικόνα 2.17)..Σύνδεση μαγνητικού ροόμετρου με χρήση πρωτόκολλου HART. [36]

Κατά την σύνδεση ενός μαγνητικού ροόμετρου με πρωτόκολλο Hart θα πρέπει το Hart Communicator και το Hart Modem να είναι παράλληλα με την έξοδο του μετρητή ηλεκτρομαγνητικής ροής, χωρίς πολικότητες στα άκρα φορτίου. Επιπλέον η αντίσταση που εφαρμόζεται πρέπει είναι ανάμεσα στα 200Ω με 500Ω.

2.3.4 Εφαρμογές

Η αναγκαιότητα [37] των μαγνητικών ροόμετρων συναντάται σε εφαρμογές που περιέχουν υγρά με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά και πολτούς. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν μια πλήρη διαδρομή ροής χωρίς εμπόδια όπου θα μπορούσε να κατακαθίσει κάποιο στερεό και να αποτελέσει εμπόδιο. Αδιαμφισβήτητη γίνεται χρήση τους σε ροές όπου υπάρχει μεγάλος όγκος ρευστού όπως ταμειυτήρες νερού, συστήματα διανομής άρδευσης, επεξεργασία λυμάτων, παστερίωση γαλακτοκομικών προϊόντων, μεγάλης κλίμακας συστήματα θερμικής HVAC και συστήματα όπου υπάρχουν διαβρωτικά υλικά. Εάν επιπλέον συνδυαστούν με μέτρηση πυκνότητας και θερμοκρασίας τότε δίνουν την δυνατότητα καθορισμού παραγόντων όπως ο τυπικός όγκος υγρού, ο όγκος αναφοράς θερμοκρασίας, ο καθαρός όγκος και η ροή μάζας.

2.3.5 Ο μαγνητικός μετρητής ροής 9500A IMT30A

Το 9500A IMT30A [38] πρόκειται για ένα σύστημα μαγνητικής μέτρησης ροής της εταιρείας Schneider Electric αποτελούμενο από τον αισθητήρα 9500A και τον πομπό IMT30A. Διαθέτει λειτουργία αυτόματης ή χειροκίνητης ανίχνευσης κενών στους σωλήνες-εισόδους επαφής για απομακρυσμένη λειτουργία και ρελέ για τοποθέτηση alarm. Επιπλέον, διαθέτει την δυνατότητα αυτοδιάγνωσης σε περιπτώσεις τυχόν διάβρωσης ή αλλαγής στην ροή. Αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον πίνακα 2.



(εικόνα 2.18)..9700Α μαγνητικός αισθητήρας ροής. [38]



(εικόνα 2.19)..ΙΜΤ30Α πομπός. [38]

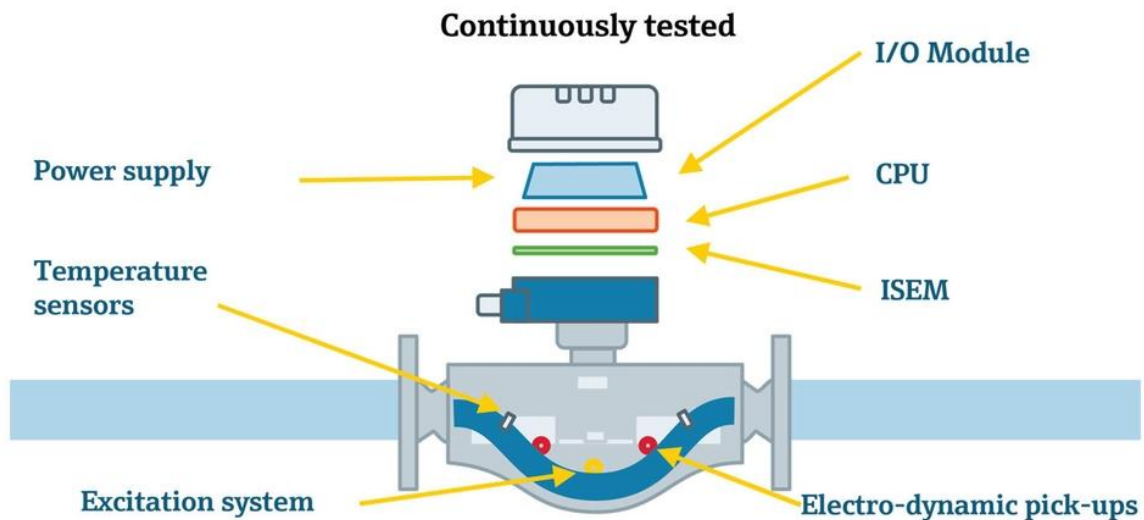
Τεχνικά χαρακτηριστικά (πίνακας 2.)

Μέγεθος	1" έως 80", DN25 έως DN2000.
Εφαρμογές	Νερό και λύματα.
Ακρίβεια	0.5% ±1 mm/s IMT30A 3% ±1 mm/s IMT31A 0.2% ±1 mm/s IMT33A
Υλικό σωλήνα	Σκληρό καουτσούκ
Υλικό ηλεκτροδίου	Hastelloy C, από ανοξείδωτο χάλυβα, τιτάνιο
Εξαρτήματα	EN 1092-1, JIS, ASME B16.5, AWWA
Εύρος θερμοκρασιών	-5 °C έως +80 °C
Ελάχιστη αγωγιμότητα	5 μS/cm
Πρωτόκολλα επικοινωνίας	4-20 mA, HART, FF1 , Modbus
Πιστοποιήσεις	ATEX, IECEx, FM, CSA, NEPSI KTW, ACS, NSF 61 Drinking Water Approvals
Πρόσθετα χαρακτηριστικά	Virtual Grounding option Συνεχής αυτοδιάγνωση
Προδιαγραφές	9500A PSS 1-6H4 A IMT30A PSS 1-6H3 A IMT31A PSS 1-6H2 A IMT33A PSS 1-6H1 A

2.4 Επαλήθευση σωστής λειτουργίας σύγχρονων ροόμετρων

Τα σύγχρονα ροόμετρα, τα οποία λειτουργούν με τις τεχνολογίες που έχουμε αναφέρει, δε διαθέτουν κινούμενα μέρη στα οποία μπορούν να υπάρξουν φθορές. Έχουν δοκιμαστεί σε μια πληθώρα από εφαρμογές και η αποδοτικότητα τους σε μετρήσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι αδιαμφισβήτητη. Λόγω της μη ύπαρξης κινούμενων εξαρτημάτων στον αισθητήρα, η μακροπρόθεσμη σωστή λειτουργία τους οφείλεται μόνο στην σωστή επιλογή μεγέθους και τοποθέτησης τους. Η επαλήθευση της σωστής λειτουργίας των οργάνων αυτών δεν απαιτεί την διέλευση του ρευστού από το όργανο. Αυτή γίνεται μέσω του ελέγχου των εσωτερικών εξαρτημάτων (δευτερευόντων μεταβλητές) οι οποίες συσχετίζονται στενά με την μέτρηση της ροής. Κατά την επαλήθευση του οργάνου, οι τιμές των δευτερευόντων μεταβλητών συγκρίνονται με τις τιμές αναφοράς τους και καθορίζεται η κατάσταση του οργάνου. Για να εξασφαλιστεί ότι το αποτέλεσμα της επαλήθευσης είναι το σωστό, γίνεται χρήση μιας ανιχνεύσιμης αναφοράς η οποία βρίσκεται στο σύστημα επαλήθευσης του οργάνου. Για παράδειγμα, σε έναν μετρητή Coriolis το σύστημα αναφοράς είναι ένας ταλαντωτής ο οποίος ταλαντώνεται στην συχνότητα αναφοράς. Η συχνότητα ταλάντωσης του αισθητήρα μετριέται με την βοήθεια ρολογιών χαλαζία.

Τα ροόμετρα χρησιμοποιούνται για αρκετά χρόνια στο χώρο της βιομηχανίας. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των σύγχρονων ροόμετρων έχει οδηγήσει στην σχεδόν αδύνατη απόκλιση τους από σταθερά αποτελέσματα μέτρησης λόγω εξωτερικών παραγόντων και γήρανσης. Ωστόσο εάν αυτό συμβεί, η συνεχής παρακολούθηση της λειτουργίας τους μέσω των ενσωματωμένων αυτοδιαγνωστικών συστημάτων που διαθέτουν, παρέχει την σιγουριά της γρήγορης αντιμετώπισης τους.



(εικόνα 2.20)..Επαλήθευση οργάνου ροής και στάθμης στα φαρμακευτικά προϊόντα [13]

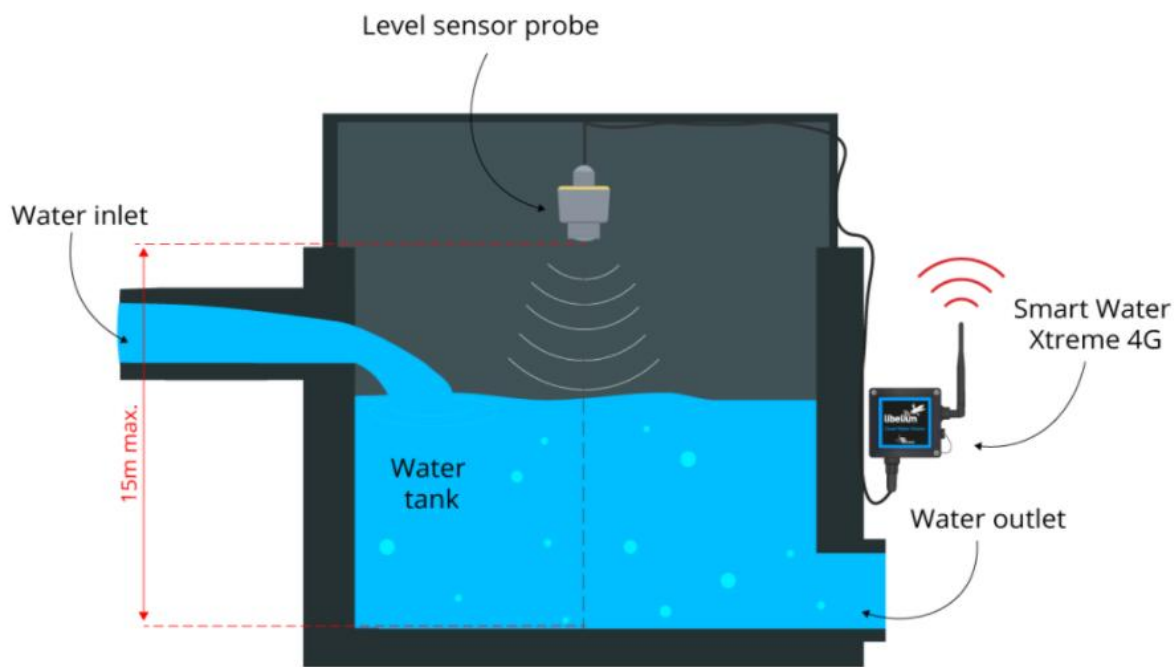
Κεφάλαιο 3^ο Μέτρηση στάθμης-πίεσης και χρωματογράφοι

Μέτρηση στάθμης

3.1.1 Radar

Η μέθοδος μέτρησης στάθμης με όργανα τεχνολογίας ραντάρ έχει εξέχουσα θέση στο χώρο της βιομηχανίας λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που διαθέτει. Αρχικά, η εγκατάσταση των radars γίνεται στο πάνω μέρος της δεξαμενής όπου θα γίνει η μέτρηση και έτσι πλέον δεν χρειάζεται το άδειασμα της. Επιπλέον, ο τρόπος λειτουργίας τους (μέτρηση απόστασης από επιφάνεια) καθιστά τη μέτρηση άμεση. Επιπροσθέτως, η ευαισθησία και η ακρίβεια των οργάνων αυτών ενισχύει την ανάγκη χρήσης τους σε εφαρμογές όπου υπάρχει αλλαγή στο απόθεμα. Ακόμα, πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται από άλλες μεταβλητές του υλικού που μπορεί να αλλάξουν, όπως η πυκνότητα, η διηλεκτρικότητα, η αγωγιμότητα, η πίεση, η θερμοκρασία και η ύπαρξη ατμού. Τέλος, οι μετρητές ραντάρ δεν αποτελούνται από κινούμενα μέρη με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται σχεδόν καθόλου συντήρηση.

Για την σωστή λειτουργία των ραντάρ απαιτείται τόσο η σωστή τους τοποθέτηση όσο και η σωστή διαμόρφωση τους. Σε διεργασίες όπου το υλικό δεν βρίσκεται σε ηρεμία αλλά υπάρχει μια διαταραχή θα πρέπει η εγκατάσταση των ραντάρ πρέπει να γίνεται με περισσότερη προσοχή. Εφαρμογές που περιέχουν μέτρηση αφρού, ιδιαίτερα παχύ και πυκνού, ενδεχομένως να μη μπορούν να καλυφθούν από μετρητές radar. [39]



(εικόνα 3.1)..Διάγραμμα τοποθέτησης μετρητή Radar σε δεξαμενή νερού. [40]

3.1.2 Αρχή λειτουργίας μεθόδου μέτρησης με radar

Οι μετρητές ραντάρ για να πραγματοποιήσουν την μέτρηση στέλνουν ένα κύμα προς την επιφάνεια την οποία μετρούν. Στη συνέχεια, μέρος του κύματος προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του υλικού και αντανακλάται πίσω. Η ανελαστικότητα του υλικού δίνεται από τον τύπο:

$$R = \frac{(\sqrt{\varepsilon} - 1)^2}{(\sqrt{\varepsilon} + 1)^2}$$

Όπου **R** η ανελαστικότητα και ε η διηλεκτρική σταθερά.

Σε υλικά με χαμηλή διαπερατότητα περίπου στο 4 έχουμε 11% αντανάκλαση του σήματος και 10 dB απώλεια ισχύος. Σε υλικά με διαπερατότητα υψηλή ως και 30, έχουμε 50% αντανάκλαση και -3 dB απώλεια ισχύος. Όπως γίνεται αντιληπτό, για να έχουμε μια καλή μέτρηση, τα μετρούμενα μέσα θα πρέπει να έχουν επαρκή αντανάκλαστικότητα. Από τον παραπάνω τύπο επίσης συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρικότητα του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντανάκλαστικότητά του. Άλλη μεταβλητή που επηρεάζει την μέτρηση του κύματος είναι η απόσταση του αντικειμένου από το ραντάρ. Όσο μακρύτερα είναι το αντικείμενο, τόσο πιο δυνατή θα πρέπει να είναι η αντανάκλαση του για να φτάσει επαρκές

σήμα στον μετρητή. Άλλος παράγοντας επηρεασμού της μέτρησης είναι η ανάδευση. Η ανάδευση μπορεί να προκαλέσει μετατόπιση ενός τμήματος του σήματος και αυτό να φτάσει μειωμένο στον μετρητή. Το χειρότερο σενάριο είναι να έχουμε την ύπαρξη υλικού χαμηλής διηλεκτρικότητας σε δοχείο με υψηλή αντανάκλαση. Σε αυτή την περίπτωση, ο μετρητής ενδέχεται να μπερδέψει τα σήματα που δέχεται καθώς το σήμα του δοχείου είναι ισχυρότερο.

3.1.3 Κατηγορίες radar

Radar καθοδηγούμενου κύματος-Guided Wave Radar (GWR)

Αυτού του είδους τα ραντάρ εγκαθίστανται στο επάνω μέρος της δεξαμενής ή του θαλάμου μέτρησης με έναν καθετήρα μέτρησης να είναι βυθισμένος μέχρι τον πυθμένα. Κατά μήκος του καθετήρα εκπέμπεται ένας παλμός χαμηλής ενέργειας που ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός. Εκεί όπου η στάθμη του υγρού φτάνει στην επιφάνεια ή στον αέρα έχουμε την αντανάκλαση του κύματος το οποίο φτάνει πίσω στον καθετήρα και στη συνέχεια στον πομπό. Τελικά, ο πομπός μετράει την χρονική καθυστέρηση μεταξύ του σήματος που στάλθηκε και αυτού που λήφθηκε, με τον μικροεπεξεργαστή του μετρητή να υπολογίζει την απόσταση από την επιφάνεια του υγρού. Για να γίνει αυτός ο υπολογισμός από τον μικροεπεξεργαστή, ο πομπός προγραμματίζεται με μια στάθμη αναφοράς (συνήθως τον πυθμένα της δεξαμενής ή την επιφάνεια της). Ο τύπος που δίνει την απόσταση είναι ο εξής:

$$\text{Απόσταση} = \frac{(\text{ταχύτητα του φωτός} * \text{καθυστερήση})}{2} \quad (1)$$

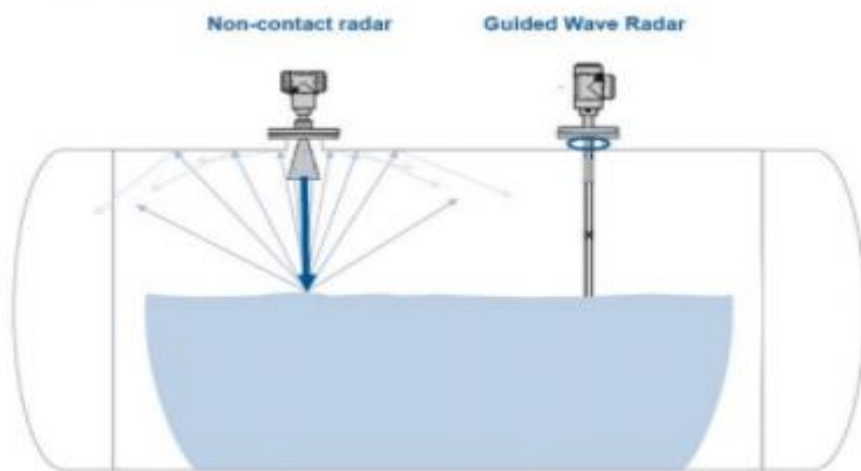
Τα ραντάρ καθοδηγούμενου κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δεξαμενές ή θαλάμους όλων των μεγεθών. Επιπλέον, λόγω του ότι δεν μετρούν μόνο επίπεδες επιφάνειες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υλικά όπως σκόνες, κόκκους και υγρά που μεταβάλλεται το σχήμα τους λόγω δινών.

Radar χωρίς επαφή - Noncontacting Radar (NCR)

Υπάρχουν δύο (2) κατηγορίες τεχνικών με τις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν τα ραντάρ χωρίς επαφή. Η μία είναι τα ραντάρ παλμού και η άλλη τα ραντάρ συνεχούς κύματος διαμορφωμένο στη συχνότητα (frequency modulated continuous wave – FMCW). Τα ραντάρ χωρίς επαφή που κάνουν χρήση παλμού, λειτουργούν όπως και τα ραντάρ καθοδηγούμενου κύματος χωρίς την ύπαρξη ακίδας. Κάνουν χρήση δηλαδή της εξίσωσης 1.

Οι FMCW [41]μετρητές στέλνουν και αυτοί μικροκύματα στην επιφάνεια του υλικού που μετρείται, με την διαφορά ότι το κύμα που στέλνουν έχει συνεχώς μεταβαλλόμενη συχνότητα. Εδώ έχουμε μια συνεχόμενη αμφίδρομη εκπομπή και λήψη σήματος καθώς το σήμα που φτάνει στον πυθμένα και επιστρέφει στον πομπό, αναμιγνύεται με το σήμα διαφορετικής συχνότητας

που στέλνει ο πομπός την ίδια στιγμή. Η διαφορά συχνότητας του μετρούμενο σήματος με αυτή του απεσταλμένου, δίνει την απόσταση του ρευστού. Σημαντικό πλεονέκτημα των ραντάρ αυτών είναι η ανθεκτικότητά τους στη σκουριά. Από την στιγμή που δεν έχουμε επαφή τους με το υλικό μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση παχύρευστων, κολλωδών και λειαντικών υλικών. Στην αγορά πωλούνται σε όρια μέτρησης από 1 μέτρο έως 40.



(εικόνα 3.2) Gwr και Ncr radar. [42]

3.1.4 Εφαρμογές-επιλογή κατάλληλου τύπου ραντάρ

Η επιλογή ραντάρ σε οποιαδήποτε εφαρμογή μπορεί να γίνει δύσκολο εγχείρημα καθώς τόσο τα ραντάρ καθοδηγούμενου κύματος όσο και τα ραντάρ μη επαφής δουλεύουν το ίδιο αποδοτικά σε ορισμένες καταστάσεις. Τα μεν ραντάρ καθοδηγούμενου σήματος μπορεί να φανούν χρήσιμα σε εφαρμογές όπου η ύπαρξη διαταραχής στην επιφάνεια είναι εμφανής. Τα δε ραντάρ μη επαφής σε εφαρμογές όπου δεν μπορεί να γίνει εμβάθυνση της ακίδας στο υλικό. Στο παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.1) γίνεται αναλυτική μελέτη στον τύπο ραντάρ που ενδείκνυται σε κάθε περίπτωση.

Εφαρμογή	Χαρακτηριστικά	Τύπος μετρητή
Δεξαμενές λαδιών-λιπαντικών.	<ul style="list-style-type: none"> • Ανάμιξη υδρογονανθράκων με νερό • Υπολείμματα κολλώδεις υλικών . • Οι πυκνότητες μεταξύ των ρευστών διαφέρουν. 	NCR ή GWR μονού καθετήρα.
Πλαστικές δεξαμενές και δεξαμενές υαλοβάμβακα	Είναι γεμάτες συνήθως από διαβρωτικά υλικά και κλεισμένες στο πάνω μέρος	NCR Το ραντάρ και η κεραία του τοποθετούνται πάνω από την δεξαμενή .
Άνυδρη Αμμωνία	<ul style="list-style-type: none"> • Εκπέμπει ατμούς οι οποίοι μπορούν να είναι διαβρωτικοί • Η πυκνότητα της αμμωνίας αλλάζει ανάλογα με την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται 	GWR
Κρυογενής εφαρμογές	Πρόκειται για δεξαμενές που περιέχουν ρευστά με χαμηλή ταχύτητα και διηλεκτρικότητα όπως το LNG,LPG,αιθυλένιο, προπυλένιο και ψυκτικά υγρά όπως το R22 ,αργό, ξένο.	NCR Με την προϋπόθεση ότι το υλικό που μετρείται διαθέτει υψηλή διηλεκτρικότητα . GWR
LPG	Το LPG πρόκειται για συμπιεσμένο αέριο πετρελαίου που αποτελείται από 95% προπάνιο.	GWR Για μικρά οριζόντια δοχεία. NCR
Αποστακτήρια	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλές θερμοκρασίες έως 400 βαθμούς κελσίου. • Τα ρευστά στα χαμηλότερα στρώματα τους ενδέχεται να περιέχουν υπολείμματα. 	NCR

Επιλογή κατάλληλου ραντάρ (πίνακας 3.1).

3.1.5 Η σειρά μετρητών LWT300

Η LWT300 πρόκειται για μια σειρά μετρητών GWR της εταιρείας ABB. [43] Αυτή αποτελείται από τον μετρητή LWT310 για μέτρηση ρευστών και από τον μετρητή LWT320 για μέτρηση στερεών. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των σύγχρονων αισθητήρων είναι ο εξοπλισμός τους με το αλγόριθμο LevelExpert™. Αυτός υπολογίζει ταχύτητα την πραγματική στάθμη σε σχέση με ψευδή σήματα που ενδεχομένως να λαμβάνει. Ο αλγόριθμος αυτός ουσιαστικά αφαιρεί την πρόσθετη εργασία από τον χειριστή καθώς πλέον το μόνο που απαιτείται είναι οι ρυθμίσεις της αρχικής εγκατάστασης και οι συνθήκες της διεργασίας. Επιπλέον, η σειρά LWT300 διαθέτει την δυνατότητα μετρήσεων σε θερμοκρασίες έως και 204°C και διεργασίες όπου η πίεση τους φτάνει τα 207 bar. Η LWT300, επίσης, διαθέτει αυτοδιαγνωστικό σύστημα για παρακολούθηση βλαβών, μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και μέτρηση απόδοσης. Για να πετύχει τα παραπάνω προβάλλει ενδείξεις όπως ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία των ηλεκτρονικών, τάση εισόδου, απώλεια ή θραύση αισθητήρα και ανίχνευση διαρροής. Τα μοντέλα επικοινωνίας τα οποία χρησιμοποιεί είναι Hart 7 και Modbus. Τέλος, έχει λάβει το πιστοποιητικό SIL2 περί ασφαλούς λειτουργίας και δυνητικά εκρηκτικών ατμοσφαιρών, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές που αφορούν το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, χημικές ουσίες, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τα λύματα. Αναλυτικότερα κάποια από τα τεχνικά της χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 3.2.

Ακρίβεια	2 mm (5/64 in) ή 0.03 %
Ευκρίνεια	1 mm (3/64 in)
Μετατόπιση θερμοκρασίας	0.001 %/°C
Εύρος μέτρησης	Έως 60 μέτρα.
Ρυθμός ανανέωσης	5 hz
Θερμοκρασίες	Περιβάλλοντος : -40°C έως +80°C Διεργασίας : -50 °C έως +204°C Τύπος στεγανοποίησης έναντι εύρους θερμοκρασίας : Viton -26 °C έως 204 °C Kalrez -20 °C έως 204 °C EPDM -55 °C έως 120 °C Markez -10°C έως 204 °C
Πίεση	207 bar για θερμοκρασία 38°C 83 bar για θερμοκρασίας 204 °C
Διηλεκτρική σταθερά	1.4 (ελάχιστη)
Ταχύτητα	Για ομοαξονικό καθετήρα δυνατότητα μέτρησης στα 500cp. Για μονό καθετήρα 10.000 cp.
Παροχή	15.5 έως 42 V DC
Κατανάλωση	56 mW στα 15.5 V , 3.6 mA 325 mW στα 15.5 V , 21mA
Υλικό περιβλήματος	Αλουμίνιο ή 316 ανοξείδωτο ατσάλι
Υλικό βυθισμένου τμήματος	Duplex 2005 ή duplex 2507 ή c-276 ή 304L ανοξείδωτο ατσάλι ή 316 ανοξείδωτο ατσάλι
Προστατευτικό γυαλί	IP68/NEMA 6P
Προβολή	Ενσωματωμένη οθόνη 128 X 64 LCD

Τεχνικά χαρακτηριστικά σειράς LWT300 (πίνακας 3.2)

3.2.1 3-D ACCOUSTIC

Λόγω της ανομοιομερούς επιφάνειας των στερεών, η μέτρηση της στάθμης τους αλλά και του όγκου που καταλαμβάνουν σε ένα δοχείο γίνεται αρκετά περίπλοκη. Οι επιφάνειες αυτές τις περισσότερες φορές είναι γεμάτες με κορυφές και κοιλάδες οι οποίες μετατοπίζονται συνεχώς κατά την πλήρωση ή άδειασμα του δοχείου. Εδώ λοιπόν έρχεται να βρει εφαρμογή η τεχνολογία κεραιάς ακουστικής φάσης, η οποία μένει ανεπηρέαστη από τέτοιου είδους ανομοιομορφίες στην επιφάνεια. Το πλεονέκτημα της αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διαθέτει μεγάλη γωνία όπου μπορεί να συλλέξει δεδομένα, μετρώντας έτσι επιφάνειες με μεγάλη έκταση.

Οι μετρητές που κάνουν χρήση αυτής της τεχνολογίας μπορούν εκτός από την ανίχνευση της απόστασης από την επιφάνεια, να πετύχουν και ακριβή μέτρηση όγκου. Αυτό το πετυχαίνουν μέσω της μέτρησης της ηχούς η οποία αντανακλάται από τα διάφορα σημεία του υλικού. Είναι λοιπόν οι πλέον κατάλληλοι για την μέτρηση του επιπέδου και του όγκου σε σκόνες χύδην με απρόβλεπτες επιφάνειες.

Οι μετρητές αυτοί δεν επηρεάζονται από την διηλεκτρικότητα του υλικού αλλά ενδέχεται να επηρεαστούν από την πυκνότητα του. Για παράδειγμα, η μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμα και σε υλικά με ελάχιστη πυκνότητα περίπου 200kg/m. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει χρήση σε εφαρμογές όπου υπάρχει αποθήκευση ενός υλικού σε μεγάλες ποσότητες μέσα σε δεξαμενές ,όπου δεν υπάρχει αισθητή κίνηση του. Αυτό γιατί στις συγκεκριμένες εφαρμογές, όπου η πλήρωση πραγματοποιείται με βραδείς ρυθμούς, δεν μπορεί να γίνει μετακίνηση ολόκληρου το όγκου το υλικού μέσα από την διαδικασία ώστε να μετρηθεί.

Η 3-d acoustic [14]τεχνολογία λειτουργεί βάσει μικρότερων συχνοτήτων σε σχέση με αυτή των υπερήχων με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από παράγοντες όπως η σκόνη και η υγρασία.

3.2.2 Αρχή λειτουργίας 3d acoustic τεχνολογίας

Στην συγκεκριμένη τεχνολογία γίνεται η χρήση μίας διάταξης τριών (3) κεραιών οι οποίες εκπέμπουν κύματα χαμηλής συχνότητας τα οποία χτυπούν πάνω στο υλικό και παράγουν μια ηχώ. Στη συνέχεια, οι κεραιές αυτές συλλέγουν τις διαφορετικές αυτές ηχούς. Οι κεραιές εκπέμπουν σε συχνότητες 2.3kHz ,4.5kHz και 7kHz. Η συσκευή μέσω της τριγωνοποίησης του σήματος, μπορεί όχι μόνο να μετρήσει την απόσταση και το χρόνο της κάθε ηχούς αλλά και την κατεύθυνση της. Συγκρίνοντας λοιπόν τις μετρήσεις από την ποικιλία των ήχων που δέχεται, καταλήγει στον υπολογισμό της στάθμης και του όγκου του υλικού μέσα στο δοχείο. Τέλος, μπορεί να παρουσιάσει την όψη του υλικού μέσω 3d απεικόνισης που του παρέχει το λογισμικό του.

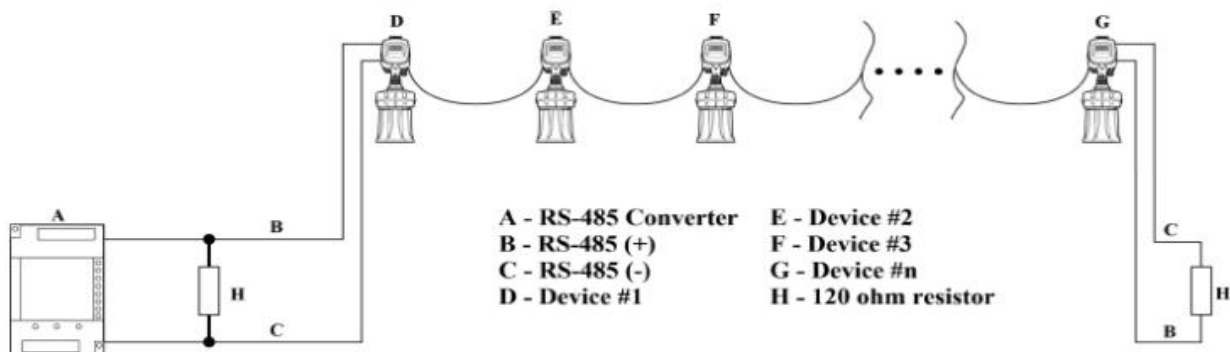
3.2.3 Κατηγορίες-τοποθέτηση 3d acoustic μετρητών

Οι μετρητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη τεχνολογία, μπορούν να διακριθούν ανάλογα με την χρήση τους σε δύο (2) κατηγορίες. Αρχικά, είναι οι μετρητές που μπορούν να τοποθετηθούν ως αυτόνομες συσκευές σε μια μικρής έκτασης δεξαμενή και δεύτερον αυτοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ως μετρητές στάθμης σε μεγαλύτερες δεξαμενές. Από την άλλη όσον αφορά τα μοντέλα τα οποία διανέμονται στο εμπόριο, ανέρχονται σε τρία (3). Η πρώτη κατηγορία μοντέλων αφορά συσκευές οι οποίες μετρούν αποκλειστικά την στάθμη. Στην δεύτερη συμπεριλαμβάνονται συσκευές οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα για την μέτρηση του όγκου. Στην τρίτη και τελευταία κατηγορία ανήκουν αυτές που για να υπολογίσουν τον όγκο πρέπει να τοποθετηθούν σε μια συστοιχία από όμοιες συσκευές. Για την ομαλή λειτουργία της συστοιχίας αυτών των συσκευών γίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης ενός συστήματος το οποίο θα ελέγχει και θα συγχρονίζει την λειτουργία τους.

Πολύ σημαντικό κριτήριο για την ορθή λειτουργία των μετρητών είναι η σωστή τοποθέτηση τους. Αυτή θα πρέπει να γίνει στην κατάλληλη τοποθεσία βάσει της κατασκευαστικής πρόβλεψης αλλιώς ελλοχεύει ο κίνδυνος λανθασμένης μέτρησης. Τα βασικά κριτήρια επιλογής θέσης τοποθέτησης είναι τα εξής:

- Το ύψος, το μήκος και το πλάτος της δεξαμενής - δοχείου που περιέχεται το υλικό.
- Η ύπαρξη ή μη υποδοχών όπου μπορεί να στηριχθεί ο μετρητής.
- Η ύπαρξη ανομοιομορφων δομών στο εσωτερικό της δεξαμενής.
- Παρεμβολές από άλλα μηχανήματα τα οποία παράγουν ηχητικά κύματα στην ίδια συχνότητα με την οποία λειτουργούν οι μετρητές (2.3 kHz, 4.5kHz, 7 kHz.).

Στην περίπτωση όπου έχουμε μετρητές τοποθετημένους σε συστοιχία, θα πρέπει να συνδεθούν όλοι σε μια γραμμή τροφοδοσίας και με σύνδεση RS-485 με το σύστημα του ελεγκτή. Για την επικοινωνίας τους με συστήματα PLC, SCADA και DSC απαιτείται η σύνδεση μόνο του ενός από όλους τους μετρητές με 4-20mA. Ενδεικτικά η συνδεσμολογία ενός τέτοιου συστήματος μετρητών παρουσιάζεται στην εικόνα 3.2.



(εικόνα 3.3)..Συνδεσμολογία συστοιχίας μετρητών [14]

Μέτρηση πίεσης

3.3.1 Γενικά

Στο χώρο του βιομηχανικού αυτοματισμού η μέτρηση της πίεσης κατέχει πρωταρχική θέση ανάμεσα σε άλλες μετρήσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί μέσω αυτής όχι μόνο ελέγχεται η διεργασία παραγωγής αλλά μεγιστοποιείται και η απόδοση της. Επιπλέον, έχει συμβάλει στην αύξηση της ασφάλειας του εργασιακού χώρου, ακόμη και στη προστασία του περιβάλλοντος. Λόγου χάριν, μέσω της σωστής μέτρησης της πίεσης μια φαρμακευτική βιομηχανία μπορεί να πετύχει υψηλά ποσοστά ποιότητας ενός φαρμάκου το οποίο θα διατεθεί στην κοινωνία. Άλλο παράδειγμα αποτελεί η μέτρηση πίεσης σε μια διεργασία η οποία περιλαμβάνει αντλίες, συμπιεστές ή ακόμα και στήλες απόσταξης.

Η μέτρηση της πίεσης είναι η μεταβλητή η οποία συμμετέχει πιο δυναμικά σε διεργασίες. Λόγω της πρωταρχικής θέσης που κατέχει σε σχέση με τις άλλες μεταβλητές, τυχόν λανθασμένη μέτρηση της δύναται να επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα. Γενικότερα η πίεση μπορεί να μετρηθεί σε διάφορες μορφές. Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουμε αναλύσει την μεθοδολογία μέτρησης διαφορικής πίεσης για τον υπολογισμό της ροής. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι μέτρησης πίεσης όπως η στατική πίεση. Μέσω του συνδυασμού οργάνων λαμβάνουμε μετρήσεις διαφορικής πίεσης, στατικής πίεσης και θερμοκρασίας για τον προσδιορισμό παράγωγων μεταβλητών όπως η ροή μάζας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια συνεχόμενη ανάπτυξη στις τεχνολογίες μέτρησης πίεσης σε επίπεδο βιομηχανικού αυτοματισμού. Αυτό όμως δεν συνεπάγεται την απουσία παραδοσιακών οργάνων μέτρησης τα οποία μπορούν ακόμη να παρέχουν σωστό αποτέλεσμα με το λιγότερο δυνατό κόστος. Μειονέκτημα αυτών των απλών συσκευών είναι ότι παρέχουν έλεγχο σε διακριτές καταστάσεις αλλά καμία πληροφορία για άλλα στάδια της διεργασίας. Ανάπτυξη παρατηρείται και στο κομμάτι της κατασκευής των πομπών, οι οποίοι δεν αποτελούνται πλέον από απλές αναλογικές συσκευές, είναι περισσότερο ακριβείς πλέον και διαθέτουν λειτουργίες αυτοδιάγνωσης. Τέλος, είναι εξοπλισμένοι με ασύρματη επικοινωνία και έχουν την δυνατότητα μέτρησης αντισταθμισμένης ροής μάζας και επιπέδου.

3.3.2 Αργή λειτουργίας μέτρησης πίεσης

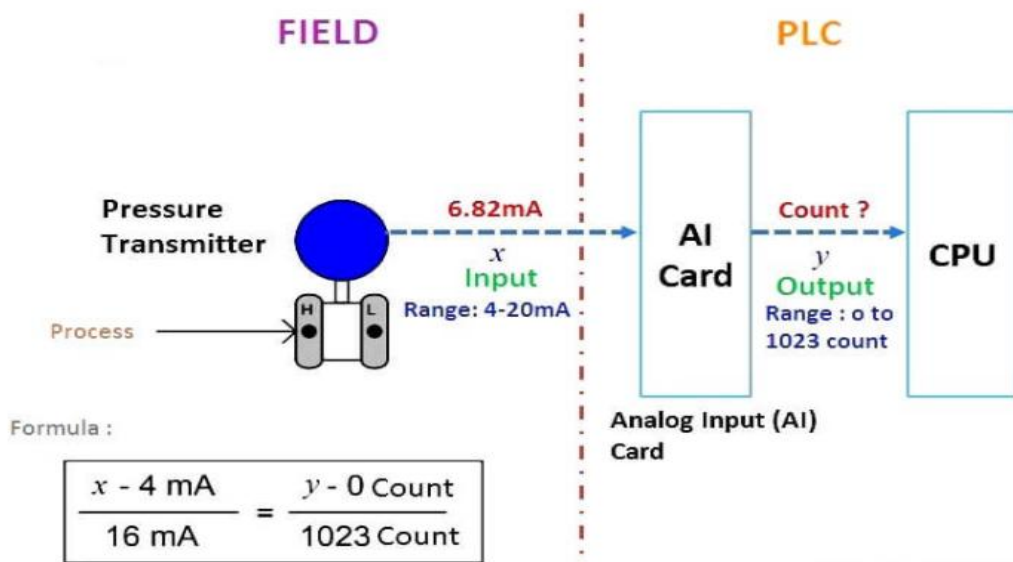
Εξ ορισμού [44] πίεση ονομάζουμε το πηλίκο της δύναμης που ασκείται κάθετα σε μια επιφάνεια προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Στον τομέα του βιομηχανικού αυτοματισμού, η πίεση μετριέται από το αισθητήριο. Στην συνέχεια ο πομπός την μετατρέπει σε ψηφιακό ή ηλεκτρικό σήμα για να την προβάλλει σε μια οθόνη ελέγχου.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει υπάρχουν διαφορετικοί τύποι πίεσεως. Αυτές είναι η στιγμιαία πίεση μετρητή, η απόλυτη και η διαφορική πίεση. Το είδος της πίεσης εξαρτάται από την διαβάθμιση

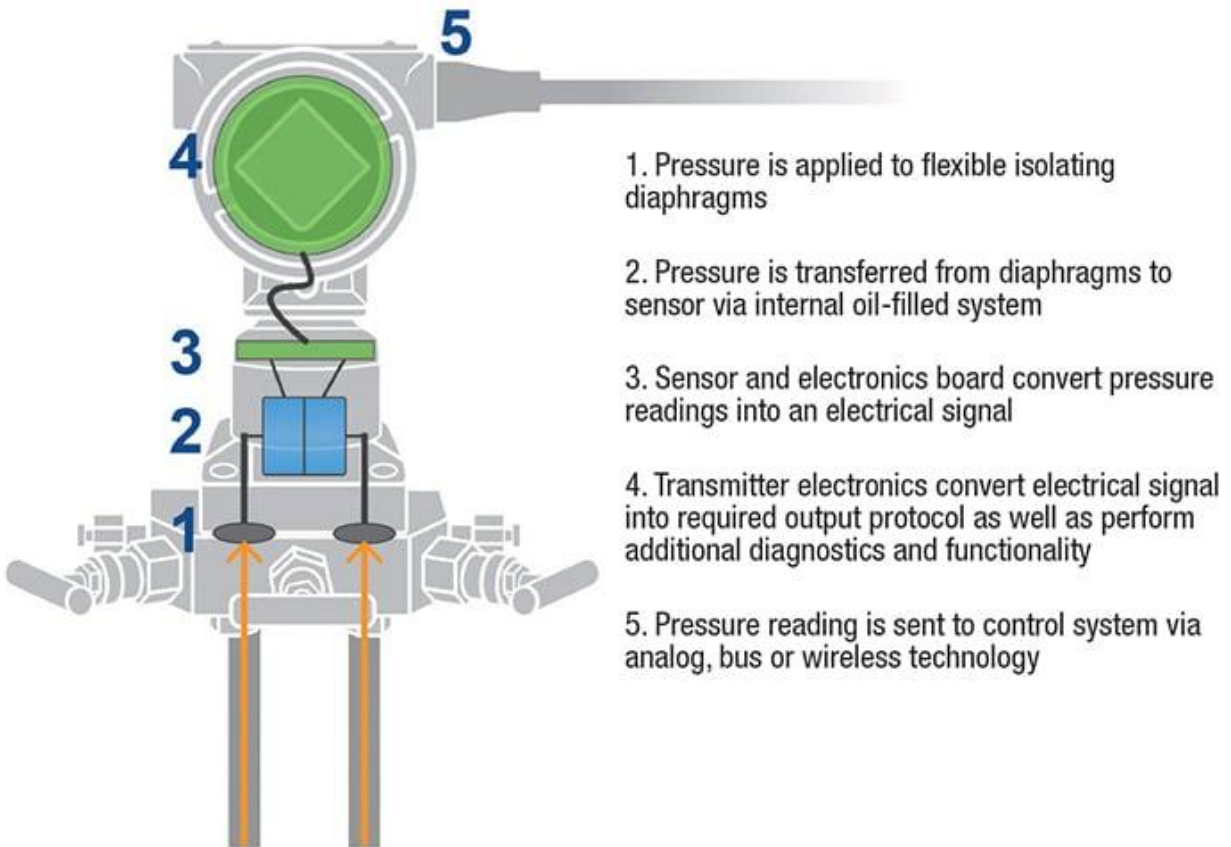
του πομπού. Πιο συγκεκριμένα, στην διαφορική πίεση ο πομπός συγκρίνει την μετρούμενη πίεση σε σχέση με την ελάχιστη πίεση που έχει βαθμονομηθεί ενώ στην μέτρηση της απόλυτης πίεσης γίνεται σύγκριση της μετρούμενης με την πίεση του απόλυτου κενού. Ο πομπός περιέχει το λεγόμενο διάγραμμα απομόνωσης το οποίο πρόκειται για έναν λεπτό δίσκο κατασκευασμένο από μεταλλικό ή κεραμικό υλικό. Αυτός ο δίσκος ουσιαστικά έρχεται σε επαφή με το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται η πίεση και αρχίζει να παραμορφώνεται. Τελικά, η πίεση που ασκείται στον δίσκο μετριέται από τον αισθητήρα του πομπού. Σε ορισμένους μετρητές, ενδέχεται πίσω από το πομπό να υπάρχει ένα λεπτό στρώμα λαδιού το οποίο σπρώχνεται προς τον αισθητήρα κατά την ώρα της εφαρμογής της πίεσης στον δίσκο.

Στους μετρητές οι οποίοι διαθέτουν πομπούς με ηλεκτρονικό αισθητήρα, η πίεση που δέχονται σαν εισαγόμενο σήμα, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σε μορφή χωρητικότητας πυκνωτή, τάσης, επαγωγής και αντίστασης. Μερικοί τέτοιοι αισθητήρες είναι οι μεταβλητής χωρητικότητας, μεταβλητής επαγωγής, πιεζοηλεκτρικοί, πιεζοαντιστάσεις και δονούμενο καλωδίου. Μόλις το σήμα μετατραπεί στα προαναφερθέντα, μεταφέρεται στο σύστημα ελέγχου με ψηφιακό ή αναλογικό τρόπο ή ακόμα και ασύρματα. Οι μετρητές ηλεκτρονικού αισθητήρα διαθέτουν την μερίδα του λέοντος στην αγορά.

Ο πομπός πίεσης συνδέεται με την αναλογική κάρτα εισόδου του συστήματος PLC. Η κάρτα AI έχει ενσωματωμένο μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό (ADC). Αρχικά ο ADC μετατρέπει την τιμή εισόδου 4-20 mA που προέρχεται από τον πομπό πίεσης σε ισοδύναμες ακατέργαστες καταμετρήσεις. Στη συνέχεια, η κάρτα AI στέλνει τελικά αυτές τις τιμές στην κάρτα CPU. Η CPU έχει τις προκαθορισμένες τιμές του πομπού πίεσης, όπως το εύρος της ,τις μονάδες κ.λπ. Τέλος, η CPU υπολογίζει τη μεταβλητή Process (τιμή πίεσης από τον πομπό πίεσης) χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές από την κάρτα AI και εμφανίζει την τιμή της πίεσης σε HMI.



(εικόνα 3.4)..Υπολογισμός πίεσης από το πεδίο στο PLC. [45]



(εικόνα 3.5)..Αρχή λειτουργίας μετρητή πίεσης

3.3.3 Κατηγορίες μετρητών

Οι μετρητές πίεσης μπορούν να κατανεμηθούν σε δύο (2) κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο πομπού που διαθέτουν. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται εκείνοι οι οποίοι αποτελούνται από πομπό μονού διαγράμματος απομόνωσης (single isolating diagram) και στην δεύτερη αυτοί που αποτελούνται από πομπό διπλού διαγράμματος απομόνωσης. Οι πρώτοι μπορούν να αναφερθούν και σαν πομποί πίεσης σε γραμμή (in-line pressure transmitters) και μπορούν να μετρήσουν πίεση σε σχέση με την ατμοσφαιρική ή απόλυτη πίεση. Αυτοί συνήθως έρχονται με το μικρότερο μέγεθος και είναι ελαφρύτεροι.



(εικόνα 3.6)..In-line pressure transmitter της εταιρίας Honeywell

Οι πομποί διπλού διαγράμματος χωρίζονται σε δύο (2) υποκατηγορίες. Είναι οι ομοεπίπεδοι (coplanar) και οι διεπίπεδοι (biplanar). Οι διεπίπεδοι πομποί όπως αναφέρει και το όνομα τους, είναι κατασκευασμένοι έχοντας δύο (2) παράλληλα επίπεδα ανάμεσα στα οποία βρίσκεται το διάγραμμα. Αυτοί έχουν το μειονέκτημα της ύπαρξης περισσότερων σημείων όπου μπορεί να υπάρξει διαρροή. Από την άλλη, οι ομοεπίπεδοι πομποί έχουν το διάγραμμα απομόνωσης σε ένα επίπεδο. Οι πομποί διπλού διαγράμματος μπορούν πραγματοποιήσουν μέτρηση διαφορικής πίεσης και απόλυτης πίεσης.

Στους μετρητές πίεσης μπορεί να προστεθεί ένα πλήθος από εξωτερικά εξαρτήματα έτσι ώστε να αποκτήσουν την δυνατότητα μέτρησης άλλων μεταβλητών όπως η ροή και η στάθμη. Επίσης, η ύπαρξη πολλαπλών (manifolds) παρέχει ευκολία στην συντήρηση και την βαθμονόμηση τους. Σε περιπτώσεις όπου οι μετρητές πρέπει να τοποθετηθούν στο εσωτερικό μιας δεξαμενής ή υπάρχει ανάγκη αύξησης των ορίων θερμοκρασίας λειτουργίας, εφαρμόζεται περαιτέρω μόνωση τους.



3 Valve Manifolds



2 Valve Manifolds



5 Valve Manifolds

(εικόνα 3.7)..Διαφορετικές επιλογές πολλαπλών (manifolds)

3.3.4 Εφαρμογές μετρητών πίεσης

Η σημαντικότητα της μέτρησης πίεσης την καθιστά αναπόσπαστο κομμάτι σε κάθε είδους βιομηχανία. Σε βιομηχανίες όπως αυτές του πετρελαίου και του αερίου υπάρχουν πάντα δύο (2) μετρητές πίεσης σε κάθε δεξαμενή. Η μέτρηση τόσο της πίεσης που αναπτύσσεται στους σωλήνες όσο και στο εσωτερικό της δεξαμενής, αποτελεί κλειδί για την προστασία του εξοπλισμού. Σε διεργασίες των φαρμακευτικών βιομηχανιών η παρακολούθηση της πίεσης βοηθάει στην αποτροπή μόλυνσης από μικροοργανισμούς. Η μέτρηση της πίεσης δεν αναφέρεται μονάχα σε συγκεκριμένους κλάδους της βιομηχανίας ενώ η στατική πίεση έχει διάφορες χρήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για τον έλεγχο ή την παρακολούθηση της πίεσης ενός σωλήνα ή ακόμη και για την μέτρηση της ροής ενός προϊόντος σε μια γραμμή παραγωγής. Η πίεση η οποία υφίσταται σε έναν αγωγό μετριέται στις περισσότερες βιομηχανίες κυρίως για τον προσδιορισμό της ροής του αέρα μέσα σε αυτόν. Τέλος, στην βιομηχανία των χημικών υπάρχουν επίσης οι στήλες απόσταξης στις οποίες πραγματοποιείται μέτρηση διαφορικής πίεσης.

3.3.5 Οι αισθητήρες πίεσης XMLR

Οι XMLR είναι μια σειρά ηλεκτρονικών αισθητήρων πίεσης της εταιρείας telemecanique [46]. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές ελέγχου πίεσης υδραυλικών υγρών, πόσιμου νερού, αέρα και ψυκτικών υγρών σε πιέσεις μεταξύ -1 και 600 bar. Ανάλογα το μοντέλο, μπορούν να διατεθούν με διαφορετικά σήματα εξόδου και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Μερικά από αυτά είναι :

- Αναλογικό σήμα εξόδου 4-20mA ή 0-10V, το οποίο εξαρτάται από το επιθυμητό εύρος μέτρησης.
- Αναλογικό σήμα και σήμα διακόπτη τύπου PNP και NPN.
- Δύο σήματα διακόπτη τύπου PNP και NPN.
- Αναλογικό σήμα 4-20mA και δύο σήματα διακόπτη τύπου PNP και NPN.

Οι αισθητήρες XMLR είναι κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο ατσάλι 316L και πολυακρυλαμίδιο εμποτισμένο με υαλοβάμβακα κάτι που τους παρέχει εξαιρετικές μηχανικές αντοχές, ανοχή σε σκουριά και βαθμό προστασίας P65/IP67. Τα μεγέθη στα οποία μπορούν να διατεθούν είναι από 88mm έως 100mm και λειτουργούν με 24V τάση. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα περιστροφής του μετρητή έως 300° έτσι ώστε η μπροστινή όψη, η οποία αποτελείται από την οθόνη, να τοποθετηθεί όσο το δυνατότερο εμφανέστερα στο χρήστη. Οι XMLR αισθητήρες είναι συμβατοί με πρέσες χύτευσης και θερμοδιαμόρφωσης, μηχανές έγχυσης, πνευματικά συστήματα και μηχανήματα συναρμολόγησης, υδραυλικά συστήματα ανύψωσης και αντλίες νερού. Πιο εκτεταμένα παρακάτω αριθμούνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους:

1. M12 αρσενικό βύσμα, 4 ή 5 ακίδων ανάλογα με το μοντέλο.
2. Οθόνη led, η οποία προβάλλει την πίεση και την κατάσταση εξόδου. Η πίεση προβάλλεται σε μονάδες bar, psi, kPa ή MP.
3. Κουμπιά για πλοήγηση στο menu.
4. Για την εισαγωγή του υγρού βύσματος: G 1/4 θηλυκό, 1/4"-18 NPT θηλυκό ή SAE 7/16-20UNF θηλυκό, ανάλογα με το μοντέλο.
5. NO και NC επαφές.
6. Αυτοδιαγνωστική λειτουργία για το έλεγχο της ορθής λειτουργίας του αισθητήρα.
7. Αποθήκευση της ελάχιστης και μέγιστης μετρούμενης πίεσης.

-1 to 0 bar (-14.5 to 0 psi)			
Maximum permissible accidental pressure: 3 bar, destruction pressure: 3 bar			
Analogue output type	Solid-state output type	Reference	Weight kg
G 1/4 DIN 3852-Y (female) fluid connection			
4...20 mA	–	XMLRM01G0T25	0.190
0...10 V	–	XMLRM01G0T75	0.190
4...20 mA	1 x PNP	XMLRM01G1P25	0.190
4...20 mA	1 x NPN	XMLRM01G1N25	0.190
0...10 V	1 x PNP	XMLRM01G1P75	0.190
0...10 V	1 x NPN	XMLRM01G1N75	0.190
–	2 x PNP	XMLRM01G2P05	0.190
–	2 x NPN	XMLRM01G2N05	0.190
4...20 mA	2 x PNP	XMLRM01G2P25	0.190
4...20 mA	2 x NPN	XMLRM01G2N25	0.190
1/4"- 18 NPT (female) fluid connection			
4...20 mA	–	XMLRM01G0T26	0.212
4...20 mA	1 x PNP	XMLRM01G1P26	0.212
4...20 mA	1 x NPN	XMLRM01G1N26	0.212
–	2 x PNP	XMLRM01G2P06	0.212
–	2 x NPN	XMLRM01G2N06	0.212
4...20 mA	2 x PNP	XMLRM01G2P26	0.212
4...20 mA	2 x NPN	XMLRM01G2N26	0.212

(εικόνα 3.8)..Πίνακας χαρακτηριστικών μετρητή της σειράς XMLR . [46]

3.4.1 Χρωματογράφοι

Οι χρωματογράφοι χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία για την μέτρηση πολλαπλών συστατικών τα οποία θα απαιτούσαν παραπάνω μεθόδους και όργανα για να μετρηθούν. Για παράδειγμα, οι χρωματογράφοι μπορούν να μετρήσουν μείγματα που εμπεριέχουν δώδεκα (12) ή περισσότερα συστατικά. Χαρακτηριστικό στοιχείο ενός χρωματογράφου είναι ότι διαχωρίζει το πλήθος των μετρήσεων από τα συστατικά του μείγματος που μετράει σε μεμονωμένες μετρήσεις. Κάθε μέτρηση έχει τελικά το δικό της στοιχείο το οποίο μετριέται από συγκεκριμένο ανιχνευτή. Αυτός ο διαχωρισμός τους δίνει το πλεονέκτημα της μείωσης των παρεμβολών από άλλα εξαρτήματα αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια στην μέτρηση. Από την άλλη, ο διαχωρισμός κάθε στοιχείου ξεχωριστά τους στοιχίζει σε χρόνο ανάλυσης των δεδομένων μέχρι να παράξουν το σωστό αποτέλεσμα. Υπάρχουν χρωματογράφοι οι οποίοι μετρούν υγρά και χρωματογράφοι οι οποίοι μετρούν αέρια, ωστόσο οι δεύτεροι χρησιμοποιούνται περισσότερο σε εργαστηριακές εφαρμογές. Τα πεδία χρήσης των χρωματογράφων μπορούν να διαχωριστούν σε δύο (2). Το πρώτο αφορά σε παρακολούθηση της διεργασίας και το δεύτερο στο προσδιορισμό της ποιότητας.

Για την παρακολούθηση της διεργασίας γίνεται χρήση των χρωματογράφων σε συγκεκριμένα στάδια της, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η σύνθεση της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση χρωματογράφων σε στύλους απόσταξης για να προσδιοριστούν τα συστατικά που έχουν διαχωριστεί από τον στύλο και να μελετηθεί εάν επετεύχθη αποτελεσματικότητα ο διαχωρισμός από τα βαρύτερα συστατικά. Κατά την παρακολούθηση της διεργασίας είναι πολύ σημαντικό να

υπάρχει μείωση του χρόνου ανάλυσης των μετρούμενων τιμών για τον γρήγορο έλεγχο της. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να μετρούνται μόνο παράγοντες που δίνουν άμεση ανατροφοδότηση.

Ο προσδιορισμός της ποιότητας, από την άλλη καθορίζει την ποιότητα ενός προϊόντος. Για να γίνει αυτός ο προσδιορισμός, λαμβάνονται υπόψη όλα τα συστατικά που συμμετέχουν στην σύνθεση του προϊόντος και τα οποία έχουν καθοριστεί κατά την σχεδίαση του. Λόγω του ότι η ακρίβεια στην μέτρηση της ποιότητας είναι παράγοντας κλειδί στον προσδιορισμό της, ο χρόνος ανάλυσης αυξάνεται έτσι ώστε να διασφαλιστεί ο σωστός διαχωρισμός όλων των συστατικών που συμμετέχουν στην σύσταση του προϊόντος. Η ποιότητα άλλωστε είναι αυτή που τελικά θα κρίνει την χρηματική αξία που έχει το προϊόν. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση χρωματογράφων για τον προσδιορισμό της ποιότητας του υγρού φυσικού αερίου (LNG) κατά την παραγωγή του. Στο φυσικό αέριο μετριούνται όλα τα ποσοστά από υδρογονάνθρακες όπως αιθάνιο, μεθάνιο, προπάνιο και διοξείδιο του άνθρακα για να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά που του προσδίδουν την χρηματική αξία του. Αυτά είναι το ενεργειακό αποτύπωμα, η σχετική πυκνότητα και συμπιεστότητα.

3.4.2 Αρχή λειτουργίας χρωματογράφων.

Η αρχή λειτουργίας των χρωματογράφων βασίζεται στους χρωματογραφικούς στύλους που διαθέτουν. Εκεί διαχωρίζονται τα συστατικά του μείγματος και στη συνέχεια κάθε ένα από αυτά μετρείται από έναν ανιχνευτή. Ένας χρωματογράφος αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

Sample Conditioning System

Αυτό το σύστημα αποτελείται από φίλτρα, ρυθμιστές και βαλβίδες ελέγχοντας για τυχόν υπολείμματα από στερεά και υγρά στο αέριο δείγμα, αλλά και την ροή και την πίεση του δείγματος ανάμεσα στις στήλες. Κατά την μέτρηση πολλαπλών ροών μέσα στις στήλες, το σύστημα αυτό καθορίζει πιο συστατικό θα μεταβεί στον κλίβανο του μετρητή.

Chromatograph Oven

Τα χαρακτηριστικά του δείγματος που περιέχεται μέσα στον χρωματογράφο εξαρτώνται από την θερμοκρασία. Για αυτό το λόγο, τα κρίσιμα για την μέτρηση χαρακτηριστικά, μένουν φυλαγμένα σε έναν κλίβανο και θερμαίνονται συνεχώς υπό μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η θέρμανση αυτή παρέχεται είτε μέσω μιας μεγάλης μάζας μετάλλου που θερμαίνεται ηλεκτρικά είτε μέσω θερμού αέρα που εισέρχεται στον κλίβανο.

Carrier Gas

Πρόκειται για το αέριο το οποίο ρέει συνεχόμενα ανάμεσα στις στήλες μεταφέροντας έτσι τα συστατικά στο σύστημα. Αυτό το αέριο έχει ποσοστό καθαρότητας 99.999% και συνηθέστερα είναι το ήλιο. Άλλα αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το υδρογόνο, το αργό και το άζωτο. Η επιλογή αερίου εξαρτάται από το δείγμα που μετριέται καθώς το αέριο μεταφοράς δε θα πρέπει να αντιδρά μαζί του.

Sample Injection Valve

Είναι η βαλβίδα η οποία εισάγει το δείγμα στο μετρητή. Η επαναληψιμότητα της μέτρησης εξαρτάται από την συνεχή εισαγωγή δείγματος στον χρωματογράφο.

Chromatograph Column

Οι στήλες των χρωματογράφων περιέχουν το ενεργό μείγμα και λειτουργία τους είναι να διαχωρίζουν την ροή μεμονωμένων συστατικών του δείγματος με βάση φυσικές ιδιότητες. Οι λεγόμενες «στήλες σημείου βρασμού» χρησιμοποιούν το σημείο βρασμού του κάθε συστατικού για να το ξεχωρίσουν τα επιμέρους συστατικά. Οι στήλες «μοριακού κόσκινου» από την άλλη ξεχωρίζουν τα συστατικά με βάση το μοριακό τους βάρος. Υπάρχουν δύο (2) τύποι στηλών. Οι συσκευασμένες στήλες με διάμετρο 1/8 ή 1/16 και υπόστρωμα καλυμμένο με διαλύτη και οι τριχοειδής στήλες 1/16 ή μικρότερες με τα εσωτερικά τοιχώματα επικαλυμμένα με ενεργό υγρό.

Analysis Valves

Λειτουργία αυτών των βαλβίδων είναι η αλλαγή διαδρομής της ροής προκειμένου να διαχωριστούν τα συστατικά στην κατάλληλη στήλη. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται προηγμένες βαλβίδες με πολλαπλές θύρες.

Detector

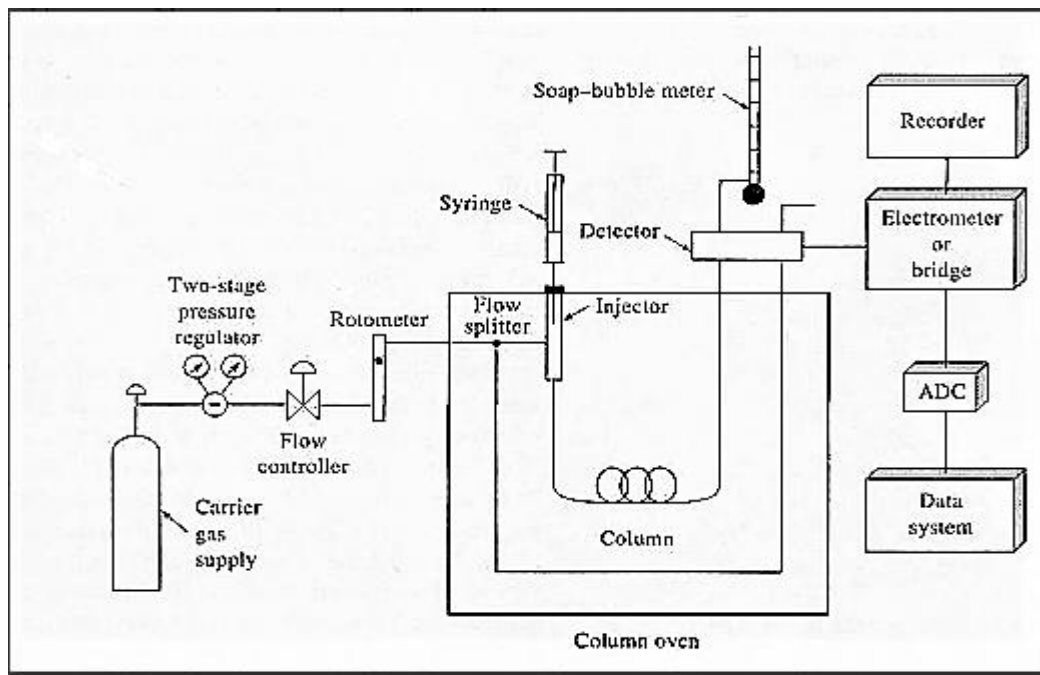
Υπάρχουν διάφορα είδη ανιχνευτών, τα τρία (3) κύρια είναι τα εξής:

- I. Ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Detector-TCD). Οι συγκεκριμένοι ανιχνευτές αποτελούνται από δύο thermistors σε διάταξη γέφυρας Wheatstone. Ο πρώτο thermistors βρίσκεται στην διαδρομή ροής του αερίου μεταφοράς στον κλίβανο και το δεύτερο στην διαδρομή του αερίου μεταφοράς μέσα στις στήλες όπου διαχωρίζονται τα συστατικά του δείγματος. Το αέριο μεταφοράς επιλέγεται πάντα ώστε να έχει μεγάλη διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με το δείγμα. Καθώς το μετρούμενο δείγμα περνάει πάνω από το thermistor, αποβάλλεται θερμότητα από αυτό. Αυτή η αποβολή θερμότητας από το thermistor οδηγεί και στην αλλαγή της αντίστασης του. Η διαφορά στην αντίσταση του thermistors πριν το πέρας του δείγματος με αυτή μετά το πέρας του οδηγεί σε μία δημιουργία τάσης της τάξης κάποιον milivolt, η οποία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του δείγματος που μετριέται.

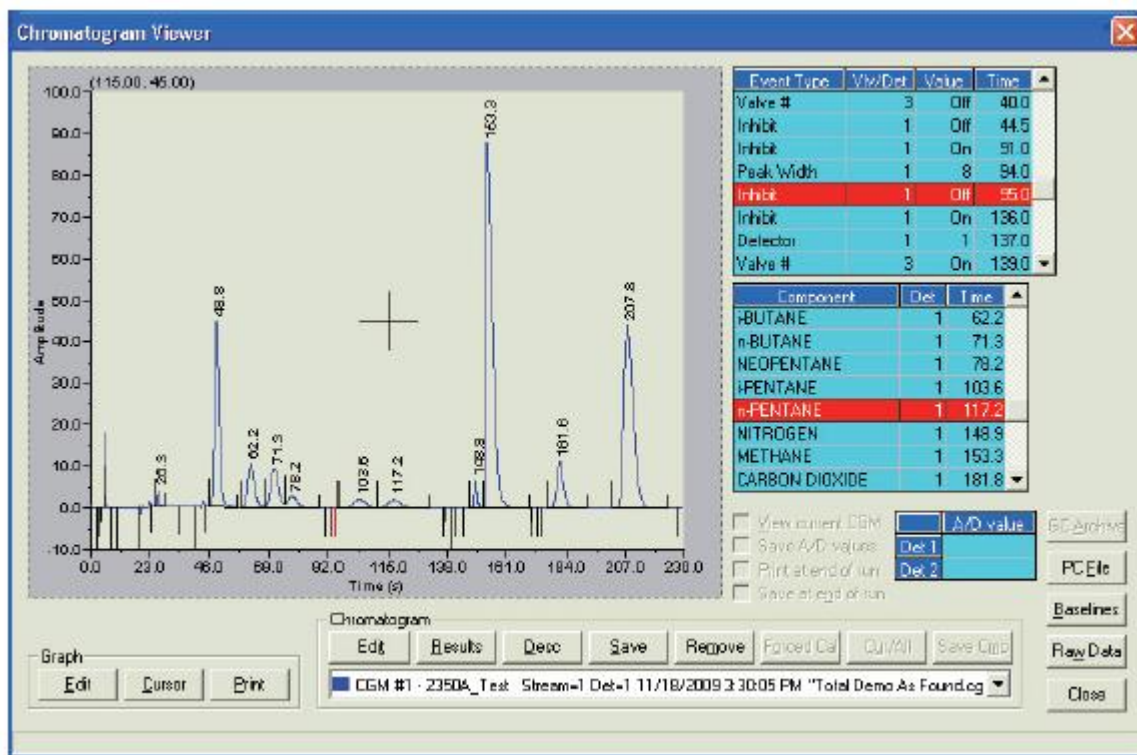
- II. Flame Ionization Detector- FID. Οι ανιχνευτές αυτοί μετρούν το ποσοστό του δείγματος σε υδρογονάνθρακες σε μέρη ανά δισεκατομμύριο. Αυτό το πετυχαίνουν ανιχνεύοντας ιοντισμένα σωματίδια που υπάρχουν στον αέρα κατά την καύση ενός υδρογονάνθρακα. Το μετρούμενο δείγμα αλλά και το αέριο μεταφοράς αναφλέγονται ανάμεσα σε δύο (2) μεταλλικές πλάκες οι οποίες είναι συνδεδεμένες με μια ηλεκτρική πηγή. Κατά την καύση των υδρογονανθράκων, έχουμε διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του ιοντισμένου αέρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του δείγματος σε υδρογονάνθρακες, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ιοντισμός του αέρα και τόσο περισσότερο ρεύμα μπορεί να περάσει μέσα από αυτόν.
- III. Flame Photometric Detector (FPD). Έχουν την ίδια λειτουργία με τους ανιχνευτές ιοντισμού ωστόσο αυτοί ανιχνεύουν ποσότητες φωσφόρου και θείου. Αντίθετα με τους υδρογονάνθρακες, κατά την καύση θείου και φωσφόρου εκπέμπεται ένα φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος. Το κύμα διέρχεται μέσω ενός φίλτρου σε έναν σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστή όπου παράγει ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της συγκέντρωσης του δείγματος.

Controller

Ο ελεγκτής υπολογίζει τελικώς την συγκέντρωση του δείγματος, διαμορφώνει το αποτέλεσμα σε χρωματογράφημα και το παρουσιάζει στον χρήστη. Διαθέτει, επίσης, την δυνατότητα υπολογισμού κάποιων άλλων χαρακτηριστικών του δείγματος όπως η πυκνότητα και το ενεργειακό του αποτύπωμα. Οι ελεγκτές μπορεί να βρίσκονται είτε σε απόσταση από τον κλίβανο είτε ενσωματωμένοι σε αυτόν.



(εικόνα 3.9.) ..Τα μέρη ενός χρωματογράφου. [47]



(εικόνα 3.10.) Αποτελέσματα μέτρησης σε χρωματογράφο.

3.4.3 Επιλογή και τοποθέτηση χρωματογράφου.

Η επιλογή του κατάλληλου χρωματογράφου αλλά και της σωστής μεθόδου τοποθέτησης εξαρτάται από την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθεί. Σχεδιαστικά οι χρωματογράφοι μπορούν να τοποθετηθούν σε τρεις (3) κατηγορίες.

- I. Αρθρωτός σχεδιασμός. Όλα τα μέρη του χρωματογράφου βρίσκονται συγκεντρωμένα σε ένα μικρό περίβλημα το οποίο είναι σχεδιασμένο να ανταπεξέλθει σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Συνήθως γίνεται χρήση των συγκεκριμένων σε εφαρμογές μεταφοράς φυσικού αερίου και σε εξωτερικές εγκαταστάσεις λόγω της αυξημένης αντοχής τους στην υψηλή θερμοκρασία. Σχεδιαστικά όλοι οι αρθρωτοί χρωματογράφοι διαθέτουν ισοθερμικού τύπου κλίβανους και ανιχνευτές θερμικής αγωγιμότητας.
- II. Υψηλής ανθεκτικότητας. Όπως και οι αρθρωτοί έτσι και αυτοί, είναι σχεδιασμένοι για να ανταπεξέρχονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε βασικές διεργασίες είτε σε πιο εξειδικευμένες. Διαθέτουν ισοθερμικού τύπου κλίβανο και ανιχνευτές θερμικής αγωγιμότητας, ιοντισμού ή φωτομέτρησης.

- III. Purged. Πρόκειται για τους μεγαλύτερους σε μέγεθος χρωματογράφους αναλογικά με τους δύο (2) προαναφερθέντες. Μπορεί να είναι εξοπλισμένοι με πολλαπλούς ισοθερμικούς κλιβάνους έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές όπου το μείγμα είναι αρκετά περίπλοκο. Τέλος, μπορούν να διατεθούν με όλους τους τύπους στηλών και συνήθως είναι ενσωματωμένοι σε προστατευμένα περιβάλλοντα.

Κεφάλαιο 4^ο – Laser scanners και εφαρμογές μέτρησης βασισμένες σε αναλυτές laser

Ένας σαρωτής laser είναι μια συσκευή η οποία αναλύει ένα αντικείμενο ή περιβάλλον για να συλλέξει δεδομένα για το σχήμα του ή την εμφάνιση του. Αυτά τα δεδομένα στην συνέχεια μπορούν να αναπαραστήσουν το αντικείμενο σε ένα μοντέλο 3D CAD. Η εφαρμογή των σαρωτών αναπτύχθηκε στα μέσα του 20^{ου} αιώνα λόγω της αυξημένης ανάγκης για ακριβή αναδημιουργία αντικειμένων και εξαρτημάτων. Οι πρώτοι σαρωτές λειτουργούσαν με φακούς, κάμερες και προτζέκτορες και λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας αυτών των εξαρτημάτων, η μέτρηση ήταν αρκετά χρονοβόρα και δύσκολη. Η χρήση 3D σαρωτών στην βιομηχανία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε πεδία που θα αναλυθούν παρακάτω.

4.1.1 Αρχή λειτουργίας

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι σαρωτές laser [48] είναι η απεικόνιση πολλών σημείων της επιφάνειας του αντικειμένου που μετρούν με σκοπό την δημιουργία ενός νέφους σημείων. Με συνδυασμό τελικά των πολλαπλών αυτών σημείων, μπορεί να δημιουργηθεί μια λεπτομερής εικόνα του αντικειμένου. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως όσα περισσότερα σημεία συλλέξει ο σαρωτής, τόσο πιο ακριβής είναι η αναπαράσταση του αντικειμένου. Επιπλέον, οι σαρωτές laser διαθέτουν την δυνατότητα συλλογής χρωματικών σημείων του αντικειμένου για τον προσδιορισμό του χρώματος του.

Οι σαρωτές laser θα μπορούσαμε να πούμε ότι εφαρμόζουν την ίδια τεχνική με τις φωτογραφικές μηχανές. Έχουμε δηλαδή μια κωνοειδή αποτύπωση πεδίου με κορυφή του κέντρο του φακού. Λόγω του ότι οι σαρωτές laser εκπέμπουν ακτινοβολία laser για να απεικονίσουν το αντικείμενο, καθίστανται δυνατή μόνο η ανίχνευση αντικειμένου το οποίο είναι ορατό και μη διαφανή από το σημείο αποτύπωσης. Οι σαρωτές λειτουργούν μετρώντας την απόσταση του αντικειμένου. Έτσι το νέφος των σημείων που δημιουργείται έχει πληροφορίες σχετικά με την απόσταση των σημείων του αντικειμένου από τον σαρωτή αλλά και κατανομή τους στο χώρο. Επιπρόσθετα, υπολογίζεται ένα διάνυσμα από την αρχή του αισθητήρα και μπροστά από το οπτικό του πεδίο το οποίο έχει συντεταγμένες $\phi=0$ και $\theta=0$. Αυτές οι συντεταγμένες σε

συνδυασμό με την απόσταση r του κάθε σημείου μεταξύ του προσδιορίζει πλήρως την θέση του αντικειμένου.

Προκειμένου να έχουμε μια ακριβή εικόνα του αντικειμένου, απαιτείται παραπάνω από μια σάρωση. Επιπλέον, οι διαφορετικές σαρώσεις θα πρέπει να γίνονται από διαφορετικές οπτικές γωνίες του αντικειμένου. Ειδικότερα, μεγάλης κλίμακας αντικείμενα ενδέχεται να χρειάζονται σάρωση παραπάνω από εκατό φορές. Τελικά, για να παρθεί ένα σωστό αποτέλεσμα από όλες τις σαρώσεις, θα πρέπει να γίνει χρήση ενός ειδικού λογισμικού προγράμματος το οποίο θα συνθέσει το τελικό μοντέλο.

4.1.2 Κατηγορίες σαρωτών

Οι σαρωτές laser μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο (2) μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τους λεγόμενους σαρωτές επαφής και η δεύτερη τους σαρωτές αποστάσεως. Η κατηγοριοποίηση αυτή αποτελεί μια γενικότερη εικόνα καθώς δεν μπορεί να υπάρξει σαφής διαχωρισμός των τύπων των σαρωτών. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε εταιρεία παραγωγής σαρωτών χρησιμοποιεί διαφορετική ονοματολογία ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιεί για την σάρωση. Οι σαρωτές, οι οποίοι βρίσκονται στην δεύτερη κατηγορία, μπορούν να καταταχθούν σε μια υποκατηγορία ενεργών και παθητικών σαρωτών. Σε διαδικασίες αποτύπωσης οι ενεργοί σαρωτές βρίσκουν ιδιαίτερα εκτεταμένη χρήση. Οι κατηγορίες των ενεργών σαρωτών είναι οι εξής:

- Σαρωτές τεχνολογίας time-of flight.
- Σαρωτές τριγωνισμού.
- Σαρωτές χειρός.
- Σαρωτές δομημένης ακτίνας.
- Σαρωτές κωνοσκοπικής ολογραφίας.
- Σαρωτές προσαρμοσμένου φωτός.

Οι σαρωτές επαφής όπως υποδηλώνει και το όνομα τους, μελετούν το αντικείμενο μέσω της επαφής μαζί του. Οι συντεταγμένες του αντικειμένου που σαρώνουν, μεταφέρονται σε ένα καταγραφικό σύστημα. Αυτό το καταγραφικό σύστημα τις περισσότερες φορές αποτελείται από τις λεγόμενες μηχανές μέτρησης συντεταγμένων-CMM coordinate measuring machines. [49] Οι συγκεκριμένες χρησιμοποιούνται κατά κόρων στο χώρο της βιομηχανίας λόγω της αυξημένης ακρίβειας μέτρησης που διαθέτουν. Ωστόσο, η μέθοδος λειτουργίας τους (επαφή με το αντικείμενο) μπορεί να επιφέρει μεταβολή ή ακόμη και καταστροφή του αντικειμένου. Σημαντικό μειονέκτημα υπάρχει σε εφαρμογές όπου προϋποθέτουν σάρωση ευαίσθητων εξαρτημάτων. Επιπλέον, δεν μπορεί να αγνοηθεί το γεγονός ότι απαιτείται σημαντικά μεγαλύτερος χρόνος μέτρησης συγκριτικά με άλλες μεθόδους λόγω της αργής κίνησης του βραχίονα. Βέβαια, η αργοπορημένη σάρωση των σημείων του αντικειμένου της προσδίδει το

χαρακτηριστικό του απόλυτου ελέγχου από τον χειριστή. Οι σαρωτές επαφής χωρίζονται σε φορητούς και σαρωτές γέφυρας.



(εικόνα 4.1)...Σαρωτής τύπου γέφυρας.. [48]

Οι σαρωτές απόστασης κάνουν χρήση ακτινοβολίας για τον προσδιορισμό των σημείων του προς μέτρηση αντικειμένου. Η λειτουργία τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο (2) διαφορετικούς τρόπους. Στους ενεργούς σαρωτές, η ακτινοβολία εκπέμπεται από τον σαρωτή και συλλέγεται από έναν ενσωματωμένο δέκτη. Η ακτινοβολία που διαχέεται από τον σαρωτή, ανακλάται πάνω στο αντικείμενο και επιστρέφει στον δέκτη υπολογίζοντας έτσι την απόσταση του αντικειμένου. Στους παθητικούς σαρωτές, και πάλι η ακτινοβολία εκπέμπεται από τον σαρωτή αλλά συλλέγεται από έναν δέκτη που εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα ακτινοβολία του αντικειμένου. Οι ενεργοί σαρωτές εκπέμπουν τριών (3) ειδών ακτινοβολίες. Την οπτική, την υπερηχητική και τις ακτίνες X. Από την άλλη, οι παθητικοί σαρωτές ανιχνεύουν την ενέργεια που εκπέμπουν τα αντικείμενα σε μορφή φωτονίων.

4.1.3 Εφαρμογές στην Βιομηχανία

Οι σαρωτές laser βρίσκονται στην βιομηχανία κυρίως σε εφαρμογές [50] σχεδιασμού αντικειμένου, αντίστροφου σχεδιασμού-reverse engineering και εντοπισμό αστοχιών εξαρτημάτων. Μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση της διατομής μεγάλων σωληνώσεων, μηχανημάτων ακόμη και ολόκληρων εγκαταστάσεων. Όλες οι βιομηχανικές εφαρμογές έχουν την απαίτηση της γρήγορης αλλά και έγκυρης σάρωσης. Πολλές φορές υπάρχει ανάγκη για μέτρηση εξαρτημάτων ή ακόμη και εγκαταστάσεων, οι οποίες είναι αρκετά επικίνδυνες αλλά και μη προσβάσιμες από τον άνθρωπο. Η χρήση λοιπόν σαρωτών απόστασης μειώνει την δυσκολία αυτή. Γενικότερα γίνεται χρήση όλων των τύπων σαρωτών καθώς οι

ποικιλομορφία των εξαρτημάτων και των μηχανημάτων δεν προδιαθέτει έναν συγκεκριμένο τύπο σαρωτή. Συμπερασματικά, η σάρωση με laser παρέχει έναν αυτοματοποιημένο τρόπο απόκτησης ψηφιακών δεδομένων για την δημιουργία ενός CAD μοντέλου της γεωμετρίας του εξαρτήματος για αντίστροφη μηχανική.

4.1.4 Το σύστημα AutoScan-K 3D

Το AutoScan-k είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα 3D ελέγχου αντικειμένων που έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Scantech [51]. Το συγκεκριμένο σύστημα πραγματοποιεί σάρωση του αντικειμένου χωρίς να έρχεται σε επαφή με αυτό, χρησιμοποιώντας μεθόδους μηχανικής όρασης. Αυτό καθιστά την μέτρηση μη καταστροφική για τον αντικείμενο. Το σύστημα AutoScan-k διαθέτει την δυνατότητα να λειτουργεί για είκοσι τέσσερις ώρες (24 hours) συνεχόμενα, κάτι που μειώνει το χρόνο αλλά και το κόστος παραγωγής σε μια επιχείρηση. Επιπλέον, μπορεί να διατεθεί με διαφορετικού τύπου εξαρτήματα σάρωσης βρίσκοντας έτσι χρήση σε μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών εφαρμογών. Για παράδειγμα, τα ευφυή βιομηχανικά τραπέζια που διαθέτει βοηθούν στην επιθεώρηση αντικειμένου χωρίς να υπάρχει τυφλή γωνία. Όντας πλήρως αυτοματοποιημένο, μπορεί να σαρώσει ένα πλήθος από αντικείμενα και να συγκρίνει τα μεταξύ τους δεδομένα δημιουργώντας τελικά μια αναφορά για το κάθε αντικείμενο. Επιπρόσθετα, το σύστημα AutoScan-k μπορεί να σαρώσει αντικείμενα διαφορετικού μεγέθους, βάρους και υλικού. Προκειμένου να πετύχει υψηλή ακρίβεια, μπορεί να παράγει έως και 45 γραμμές σάρωσης με ταχύτητα έως και 1.650,000 το δευτερόλεπτο. Ακόμα και σε δύσκολο βιομηχανικό περιβάλλον μπορεί να πραγματοποιήσει σάρωση με ανάλυση έως 0,010 mm. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος AutoScan-k με χρήση σαρωτή AutoScan-KM II.

Τύπος σάρωσης :	Εξαιρετικά γρήγορη σάρωση	13 blue laser crosses
	Υπέρλεπτη σάρωση	7 blue parallel laser
	Σάρωση μεγάλης περιοχής	11 parallel infrared laser lines
	Σάρωση βαθιάς οπής	1 extra blue laser line
Συνολικές γραμμές Laser		45
Ακρίβεια		0.020 mm
Ρυθμός σάρωσης		1.650.000 μετρήσεις το δευτερόλεπτο
Περιοχή σάρωσης		1440 mm x 860 mm
Σύστημα φωτογραμμετρίας	Τυπική διαμόρφωση	Ενσωματωμένη
	Περιοχή σάρωσης	3760 mm x 3150 mm
	Βάθος πεδίου	2500 mm
Τύπος σαρωτή		Class 2(eye-safe)
Ανάλυση		0.010 mm
Ογκομετρική ακρίβεια	Αυτόνομη λειτουργία	0.015 mm + 0.030 mm/m
	Λειτουργία με MSCAN-L15	0.015 mm + 0.015 mm/m
Βάθος πεδίου		925 mm
Format δεδομένων εξόδου		.stl, .ply, .obj, .igs, .stp, .wrl, .xyz, .dae, .fbx, .ma, .asc
Θερμοκρασία λειτουργίας		-10°C – 40°C
Λειτουργία διασύνδεσης		USB 3.0
Ευρεσιτεχνία		CN204329903U, CN104501740B, CN104165600B, CN204988183U, CN204854633U, CN204944431U, CN204902788U, CN105068384B, CN105049664B, CN204902784U, CN204963812U, CN204902785U, CN204902790U, CN106403845B, CN209197685U, CN209263911U, CN106500627B, CN106500628B, CN206132003U, CN206905709U, CN107202554B, CN209310754U, CN209485295U,

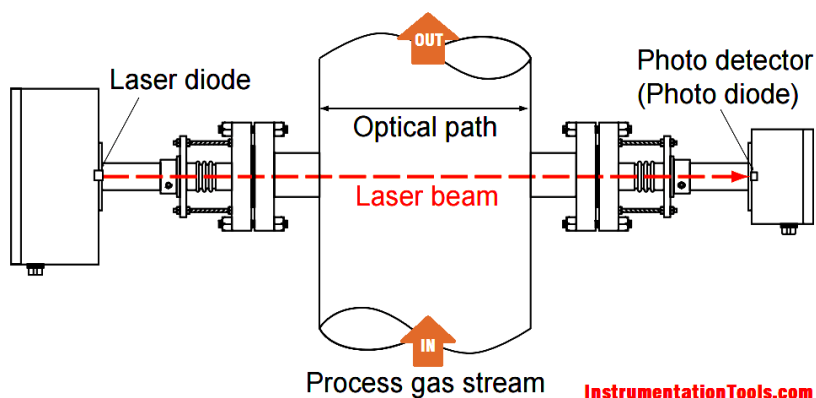
CN209485271U, CN305446920S, CN209991946U, US10309770B2, KR102096806B1, KR102209255B1, US10914576B2, EP3392831A4
--

Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος AutoScan-K με σαρωτή AutoScan-KM II. (Πίνακας 4.1)

4.2.1 Αναλυτές βασισμένοι στην τεχνολογία Laser

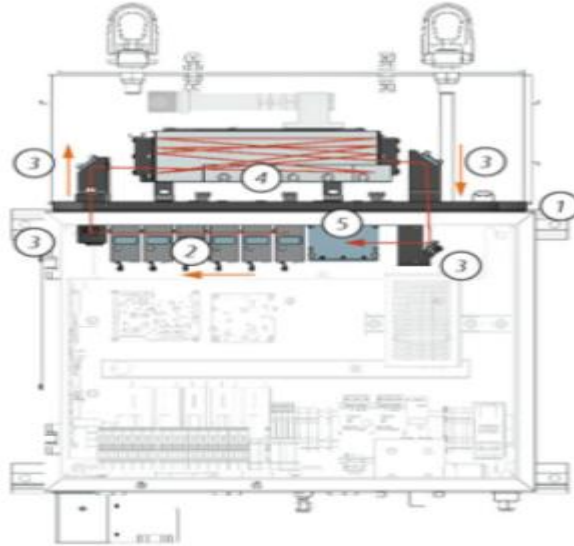
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ιδιαίτερη αύξηση στην ανάπτυξη των τεχνολογιών ανάλυσης, με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στους αναλυτές laser φασματοσκοπίας. Οι τεχνολογίες που αφορούν την φασματοσκοπία δεν αποτελούν κάτι καινούργιο στο χώρο των μετρήσεων καθώς γίνεται χρήση τους αρκετά χρόνια. Παραδοσιακά ως πηγή χρησιμοποιούνταν υπέρυθρο, ορατό ή υπεριώδες φως και κάποια φίλτρα για την απομόνωση του προς μέτρηση μήκους κύματος. Οι σύγχρονοι αναλυτές φασματοσκοπίας, προκειμένου να αυξήσουν την αποδοτικότητα τους στην μέτρηση, βασίζονται πλέον στην μέθοδο με laser. Δηλαδή διαθέτουν ως πηγή φωτός ένα laser με μικρό bandwidth. Οι αναλυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο (2) κατηγορίες :

- Tunable Diode Laser (TDL). Στους συγκεκριμένους αναλυτές μπορεί να υπάρξει ηλεκτρονική ρύθμιση του μήκους κύματος του laser που εκπέμπεται στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (800 με 2500nm), έτσι ώστε να ταιριάζει με τα μήκη κύματος που θέλουμε να μετρήσουμε. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται το φάσμα απορρόφησης.



(εικόνα 4.2)..Λειτουργίας ενός TDL αναλυτή.

- Quantum Cascade Laser (QCL). Γίνεται χρήση τους στην περιοχή του μεσαίου προς μακρινού υπέρυθρου (2500 έως 12.000nm). Η διαφορά με τους TDL αναλυτές είναι στην εκπομπή πολλαπλών φωτονίων κατά την διέλευση του ηλεκτρονίου από τον αναλυτή, με αποτέλεσμα την αυξημένη αποδοτικότητα τους λόγω της υψηλότερης εκπομπής φωτός.



(εικόνα 4.3)..Ένας QCL αναλυτής

Προκειμένου να γίνει σωστή επιλογή της κατηγορίας του αναλυτή που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να ληφθούν υπόψη τα συστατικά που εμπεριέχονται στο δείγμα. Αυτά μπορεί να διαφέρουν σε ποσότητα και σύσταση. Δείγματα τα οποία περιέχουν συστατικά με μεγάλα ποσοστά απορρόφησης κοντά στο υπέρυθρο φάσμα απαιτούν TDL αναλυτές. Αντιθέτως, δείγματα με συστατικά που απορροφούν μήκη κύματος κοντά στο μεσαίο υπέρυθρο απαιτούν QCL αναλυτές. Η τοποθέτηση των αναλυτών laser μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο (2) τρόπους, είτε το δείγμα να εξαχθεί, να φιλτραρισθεί και να μετρηθεί από ένα κύτταρο μέτρησης με συγκεκριμένο μήκος είτε (extractive) είτε το laser να περάσει κατευθείαν μέσα από το δείγμα και στον ανιχνευτή (in situ).

Μερικά παραδείγματα στα οποία βρίσκουν εφαρμογή οι αναλυτές laser είναι τα ακόλουθα:

- α) Εντοπισμός ποσότητας νερού σε παρτίδες φυσικού αερίου. Συνηθέστερη κατηγορία που χρησιμοποιείται είναι οι TDL αναλυτές.
- β) Στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού γίνεται πρόσθεση αμμωνίας στα καυσαέρια για να μειωθούν τα ποσοστά σε οξείδια του αζώτου. Η αμμωνία στη συνέχεια απορροφάται από κάποιους καταλύτες. Οι TDL αναλυτές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της αμμωνίας η οποία δεν έχει απορροφηθεί από τους καταλύτες.
- γ) Σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες που περιέχουν καύση συχνά εκπέμπονται στο περιβάλλον επικίνδυνοι ρίποι (διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου και μονοξείδιο του αζώτου). Το πλεονέκτημα των

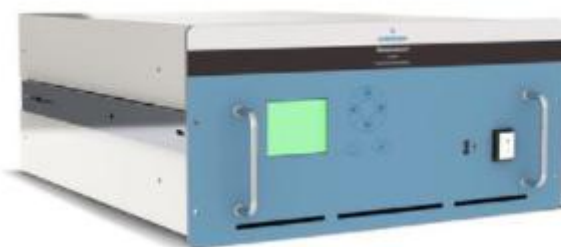
QCL αναλυτών έγκειται στο να ανιχνεύουν διαφορετικά συστατικά τους και τους καθιστά τους πλέον κατάλληλους για τον έλεγχο αυτών των βλαβερών ουσιών.

- d) Η μέτρηση του ποσοστού σε οξυγόνο και διοξείδιο των καυσαερίων ενός συστήματος καυστήρα χρησιμοποιείται σαν ανατροφοδότηση για την βελτιστοποίηση της απόδοσης της φλόγας του καυστήρα (αναλογία αέρα-καυσίμου.)

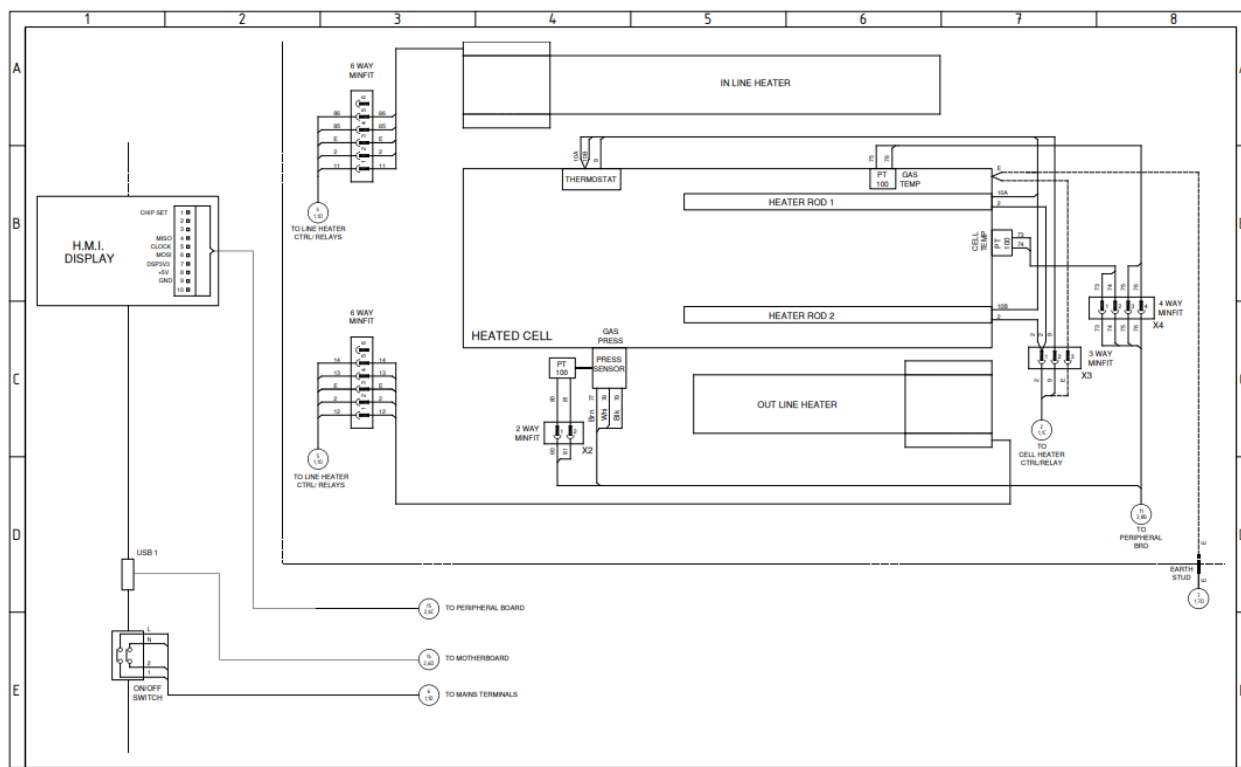
Στην εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η σειρά optima και easy line αναλυτών αερίου της εταιρίας ABB. [52] Η σειρά αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πλήθος από βιομηχανικές εφαρμογές και μερικά από τα μοντέλα τους είναι Uras (NDIR), Limas (NDUV), Magnos (Paramagnetic), Caldos (TCD), Fidas (FID) και ZO23 (Zirconia)..



(εικόνα 4.2)..Η σειρά optima και easy line της εταιρία ABB. [52]



(Εικόνα 4.3)..Ο Rosemount™ CT5400 αναλυτής αερίων της εταιρίας Emerson. [56]



(εικόνα 4.5)..Σχηματικό διάγραμμα Rosemount CT5400 3 από 3 .

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που υποστηρίζουν οι περισσότεροι σύγχρονοι αναλυτές είναι τα: Ethernet TCP/IP, OPC server, PROFIBUS ,Modbus, RTU ,10/100 Base T Ethernet, Fiber ενώ μπορούν να δώσουν στην έξοδο τόσο αναλογικό σήμα 4-20mA όσο και ψηφιακό.

4.2.2 Αρχή λειτουργίας αναλυτών που βασίζονται σε τεχνολογία laser

Η λειτουργία των αναλυτών φασματοσκοπίας βασίζεται στο γεγονός ότι τα μόρια του δείγματος που αναλύει θα απορροφήσουν συγκεκριμένο μήκος κύματος από το φως που προσπίπτει πάνω τους ανάλογα με το μέγεθος, την δομή και τις φυσικές τους ιδιότητες. Το ποσοστό αυτό της απορρόφησης θα είναι ανάλογο της συγκέντρωσης των συστατικών του δείγματος και του μήκους του φωτός. Αυτό περιγράφεται από το νόμο Lambert-Beer:

$$A = \epsilon bC$$

Όπου C η συγκέντρωση της ουσίας σε mol/l , b το μήκος οπτικής διαδρομής σε cm και ϵ ο συντελεστής απορροφητικότητας.

Τα φασματοσκόπια, τα οποία δεν κάνουν χρήση laser, διαθέτουν κάποια πηγή φωτός, δείγμα κυττάρου, κύτταρο αναφοράς, φίλτρο και ανιχνευτή. Η πηγή εκπέμπει φως σε διαφορετικά μήκη κύματος και το φίλτρο επιλέγει να αφήσει μονάχα τα μήκη κύματος που μας ενδιαφέρουν για την μέτρηση. Αντιθέτως, τα φασματοσκόπια τα οποία λειτουργούν με laser, εκπέμπουν μια

δέσμη φωτός σε συγκεκριμένο μήκος κύματος, απαλείφοντας έτσι την ανάγκη για ύπαρξη φίλτρου. Επιπλέον, παράγουν μεγαλύτερη ενέργεια φωτός για την μέτρηση του δείγματος. Μια ακόμη διαφορά των φασματοσκοπιών Laser από τα κλασικά είναι ότι διαθέτουν καθρέφτες, οι οποίοι ανακατευθύνουν το φως περισσότερες από μία φορές στο δείγμα, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό απορρόφησης.

Στους TDL αναλυτές, το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτός μπορεί να διαμορφωθεί αλλάζοντας την ροή του ρεύματος που περνάει από την δίοδο και την θερμοκρασία. Προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ανάλυση του δείγματος και να μειωθεί ο θόρυβος της μέτρησης, γίνεται χρήση της λεγόμενης τεχνικής WMS (wavelength modulation spectroscopy). Σύμφωνα με αυτή, ένα ημιτονοειδές σήμα προστίθεται στο ήδη υπάρχον γραμμικό του ρεύματος παρέχοντας έτσι ένα σήμα περιοδικής απορρόφησης που μπορεί μεγιστοποιηθεί για πιο εύκολη ανάλυση.

Οι QCL αναλυτές διαθέτουν τα λεγόμενα «κβαντικά φρεάτια» μέσω των οποίων ρέουν τα ηλεκτρόνια. Μέσω αυτής της συνεχόμενης ροής ηλεκτρονίων, παράγονται 20 με 100 φωτόνια ανά ηλεκτρόνιο. Η ποσότητα αυτή είναι αρκετά υψηλότερη απ' ό τι στους TDL αναλυτές. Επιπλέον, η ροή των ηλεκτρονίων σηματοδοτεί την θέρμανση του ημιαγωγού και ως επακόλουθο αυξάνεται και το μήκος κύματος παράγοντας μια σάρωση στα μήκη κύματος απορρόφησης ενδιαφέροντος. Η σάρωση πραγματοποιείται με ταχύτατους ρυθμούς, δίνοντας έτσι το πλεονέκτημα στους QCL αναλυτές να μετρούν πλήθος συστατικών ενός δείγματος έναντι των TDL οι οποίοι έχουν δυνατότητα μέτρησης μόνο ενός συστατικού.

Κεφάλαιο 5^ο- IOT και βιομηχανικός αυτοματισμός, το μέλλον

5.1 Ο όρος industrial IOT (IIOT)

Ως γενικότερος όρος το «*διαδίκτυο των πραγμάτων*» εισήχθη το 1999 από τον Kevin Ashton. Ο όρος αυτός αναφέρεται στην διασύνδεση αντικειμένων (things) όπως συσκευές, αυτοκίνητα, σπίτια κτλ. Το διαδίκτυο των πραγμάτων αποτελείται από επί μέρους συσκευές όπως αισθητήρες, actuators (ενεργοποιητές), λογισμικά και υλικολογισμικά τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων. Υπολογίζεται ότι το 2020 τα αντικείμενα τα οποία αποτελούσαν μέρος του IOT ανέρχονταν κοντά στα τριάντα (30) δισεκατομμύρια με το μερίδιό τους στην αγορά να φτάνει τα 7.1 τρισεκατομμύρια δολάρια.

Ο όρος [53] «*βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (IIOT)*», ορίστηκε από την General Electric το 2012. Αφορά την ενσωμάτωση πραγμάτων όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλα

παρόμοια όργανα σε μηχανές για την δημιουργία ενός κόσμου έξυπνων μηχανών. Ουσιαστικά πρόκειται για μια πλατφόρμα στην οποία υπάρχουν όλα τα βιομηχανικά συστήματα που κάνουν χρήση συσκευών, οι οποίες είναι χαμηλές σε κόστος και κατανάλωση ισχύς, τα οποία παράγουν τα λεγόμενα μεγάλα δεδομένα (big data). Στην πλατφόρμα αυτή υπάρχει επικοινωνία μεταξύ μηχανής με μηχανή, ανθρώπου με μηχανή και μηχανής με άνθρωπο. Το IIOT έχει επιτύχει την ένωση του βιομηχανικού κόσμου με τον ψηφιακό, έτσι ώστε να αυτοματοποιηθεί πλήρως η παγκόσμια βιομηχανία. Αυτό σημαίνει ότι τα παραδοσιακά δεδομένα που παράγει μια βιομηχανία, μπορούν πλέον να ελεγχθούν και να επεξεργαστούν από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Επιπλέον, δίνει την δυνατότητα διαχείρισης ευαίσθητων και κρίσιμων δεδομένων για την λειτουργικότητα της βιομηχανίας καθώς και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των μηχανών της. Η αύξηση της αποδοτικότητας των μηχανών της βιομηχανίας μέσω του συνεχής αυτού ελέγχου, οδηγεί και στην βελτίωση της απόδοσης των συνδεδεμένων εργοστασίων και εγκαταστάσεων. Τελικά, ακόμα και τα δεδομένα που παράγονται μπορεί να είναι ευφυή από μόνα τους αν επιλέξουν τον κατάλληλο χρήστη για να διοχετευθούν έτσι ώστε να παρθεί η βέλτιστη απόφαση σε άμεσο χρόνο.

5.2 Η αρχιτεκτονική του IIOT στον βιομηχανικό αυτοματισμό

Η αρχιτεκτονική του διαδικτύου των πραγμάτων στον βιομηχανικό αυτοματισμό μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αφορά την αντίληψη ή την αίσθηση, το δεύτερο την επικοινωνία ή δικτύωση και το τρίτο την εφαρμογή και επεξεργασία. Το πρώτο επίπεδο ουσιαστικά πρόκειται για το κομμάτι όπου συλλέγονται οι πληροφορίες και τα δεδομένα μέσω των οργάνων, το δεύτερο την μετάδοση αυτών των πληροφοριών μεταξύ των συσκευών-μηχανών και το τρίτο την επεξεργασία των πληροφοριών. Οι τεχνολογίες IIOT συμβάλλουν στην αποδοτικότερη παροχή τεχνικής υποστήριξης σε θέματα βαθμονόμησης και σωστής χρήσης των οργάνων μέτρησης και αυτοματοποίησης της συντήρησής τους. Στο επίπεδο της αντίληψης συγκαταλέγονται οι έξυπνοι αισθητήρες όπως ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID), απομακρυσμένες εισοδοί και έξοδοι, έξυπνες κάμερες, και δείκτες ή διακόπτες οι οποίοι είναι απευθείας συνδεδεμένοι με τις παραμέτρους της διεργασίας.

Οι πληροφορίες από το επίπεδο της αντίληψης θα πρέπει να μεταφερθούν στο επίπεδο της επεξεργασίας και εφαρμογής. Αυτό γίνεται μεταξύ πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως το Zig-Bee, Bluetooth ή άλλων τεχνολογιών επικοινωνίας όπως οι οπτικές ίνες, το Wi-Fi, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G/3G και οι δορυφόροι. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου από τις προαναφερθέντες γίνεται με βάση παράγοντες όπως η διασφάλιση της πληροφορίας. Για την μεταφορά των δεδομένων από τη συσκευή σε server γίνεται χρήση πρωτοκόλλων όπως το Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), HTTP και Advanced Message Queuing Protocol (AMQP). Το κάθε ένα από αυτά έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ωστόσο αυτό το οποίο χρησιμοποιείται περισσότερο είναι το MQTT καθώς μπορεί να λειτουργήσει σε δίκτυα με υψηλή καθυστέρηση, κάνοντας χρήση της αρχιτεκτονικής δημοσίευσης-εγγραφής.

Το μέρος στο οποίο ελέγχονται οι διεργασίες της βιομηχανίας και λαμβάνονται οι αποφάσεις αποτελεί το τρίτο επίπεδο της αρχιτεκτονικής. Σε αυτό, λαμβάνονται όλοι οι παράγοντες της παραγωγής και γίνεται η διαχείριση τους μέσω προηγμένων υπολογιστών αναγνώρισης προτύπων και άλλων τεχνολογιών. Οθόνες στις οποίες προβάλλονται τιμές μέτρησης ,στοιχεία ελέγχου όπως διακόπτες κυκλώματος , προγραμματισμός αποθεμάτων ακόμη και η μέτρηση της ασφάλειας του προσωπικού περιέχονται σε αυτό το επίπεδο.

5.3 Narrow band internet of things (NB-Iot)

Το NB-Iot [54]έχει σχεδιαστεί με σκοπό να συνδέει χωρίς καμία διακοπή, ένα μεγάλο πλήθος συσκευών με εύρος ζώνης 180kHz. Μπορεί να υποστηρίξει τεράστιες ποσότητες από συσκευές σε μια περιοχή αρκετά μικρή και με μεγάλη διάρκεια μπαταρίας, μειωμένη πολυπλοκότητα και χαμηλό κόστος. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ταχύτητα αναπτυσσόμενη αγορά που αφορά την συνδεσιμότητα μεγάλων περιοχών με συσκευές χαμηλής κατανάλωσης, η 3rd Generation Partnership Project (3GPP) [55] ανέπτυξε την τεχνολογία ράδιο πρόσβασης που βασίζεται σε κυψέλες. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την μαζική επικοινωνία μηχανών (mMTC) (3GPP TS 36.300,2017). Η συνεχόμενη ανάγκη για βελτίωση της τεχνολογίας ήταν ο λόγος για αναπτυχθεί η έκδοση 14 το 2017 και εν συνέχεια η 15 το 2018. (3GPP RP-161901, 2016; 3GPP RP-170852, 2017).

Το NB-Iot είχε ως βάση για τον σχεδιασμό του την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία 3GPP Long Term Evolution (LTE) και μάλιστα οι προδιαγραφές του αποτελούν μέρος αυτής. Επιπλέον, λόγω της συσχέτισης αυτής μεταξύ των δύο, το NB-Iot μπορεί να εξελίσσεται ως αναβάθμιση λογισμικού σε ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Σαν αποτέλεσμα θα διατεθεί γρηγορότερα στην αγορά εφόσον υπάρχει ήδη η υποδομή πάνω στην οποία θα βασιστεί. Επιπρόσθετα, η σχεδίαση του καλύπτει το δίκτυο GPRS το οποίο παρέχει διάδοση δεδομένων σε εσωτερικές και υπόγειες τοποθεσίες. Ωστόσο παρά την ταύτιση των δύο αυτών τεχνολογιών, μερικά χαρακτηριστικά του LTE έχουν αφαιρεθεί από το Nb-Iot.

Ο αυτοματισμός έχουμε αναφέρει ότι βρίσκεται σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας όπως η επεξεργασία πετρελαίου και φυσικού αερίου, η εξόρυξη, η διύλιση, τα χημικά εργοστάσια, τα φαρμακευτικά και η διαχείριση νερού κτλ. Αυτό το πολυδιάστατο πρόσωπο του αυτοματισμού απαιτεί ευρεία επικοινωνιακή κάλυψη. Για να γίνει αντιληπτό αυτό, θα λάβουμε ως παράδειγμα τις βιομηχανίες εξόρυξης μεταλλευμάτων. Σε αυτές γίνεται χρήση φορτηγών, τροχοφόρων φορτωτών, τρυπανιών και ρομπότ για την επίτευξη της εξόρυξης και επεξεργασίας των μεταλλευμάτων. Σε ένα τόσο επικίνδυνο περιβάλλον που βρίθεται από κινδύνους, η ευκολία μετακίνησης των μηχανημάτων και των οχημάτων από το ένα μέρος στο άλλο αποτελεί μεγάλο εγχείρημα για την βιομηχανία. Για να μειωθεί λοιπόν ο χρόνος μετακίνησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομο όχημα. Ακόμα ένα πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της Ericson, η οποία χρησιμοποίησε Nb-Iot για την βαθμονόμηση ενός κατασβιδιού υψηλής ακρίβειας.

3GPP release	Features
Release 13	180 kHz system bandwidth, control channel design modifications, support for half-duplex frequency division duplex (HD-FDD), deployment flexibility (i.e. in-band, standalone, guard band), single-tone and multi-tone transmission support in uplink, radio resource control (RRC) connection suspend/resume, control plane optimization for small data transmission, extension in discontinuous reception (eDRX) mechanism, mobility support in idle-mode.
Release 14	Mobility support, multi-cast group communication support, enhanced data rate, support for paging and random access in non-anchor carrier, introduction of new power class (14 dBm).
Release 15	Latency reduction, improved measurement accuracy, enhancement in random access procedure, support for time division duplex (TDD) mode.

(εικόνα 5.1).. *Nb-Iot τα βασικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού.* [54]

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του Nb-Iot.

Χαμηλή πολυπλοκότητα και κόστος

Η τεχνολογία Nb-Iot οφείλει τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της κυρίως λόγω της επεξεργασίας ζώνης βάσης της, την αποθήκευση μνήμης και τις ραδιοσυχρότητες. Οι συσκευές χρησιμοποιούν χαμηλό ποσοστό δειγματοληψίας (250 kHz) και ιδιότητες συγχρονισμού για την μείωση της πολυπλοκότητας. Επίσης, η κωδικοποίηση των καναλιών γίνεται με κώδικες συνέλιξης TBCC. Επιπλέον, για την επίτευξη χαμηλότερης πολυπλοκότητας, το μέγεθος μπλοκ μεταφοράς TBS μειώνεται σε 680 bits στην ανερχόμενη ζεύξη και 1000bit στην κατερχόμενη.

Για την μείωση του κόστους οι συσκευές χρησιμοποιούν RF κεραίες που υποστηρίζουν τεχνολογία ενιαίας πρόσβασης με μια εκπομπή και λήψη σήματος. Ακόμη, λειτουργούν μόνο σε αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας ημιαμφίδρομης λειτουργίας (HD-FDD) στις εκδόσεις 13 και 14.

Λόγω του ότι είναι τεχνολογία HD-FDD, δεν απαιτείται TDD συσκευή που επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μέσω ενός μόνο καναλιού. Στην έκδοση 15 μπορεί να απαιτηθεί TDD συσκευή ωστόσο είναι ακόμη σε φάση ανάπτυξης. Τέλος, οι συσκευές Nb-Iot μεταδίδουν με μέγιστη ισχύ τα 20 ή 23 dBm κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κατασκευής αφού απαιτείται μόνο ένα chip για την ενίσχυση ρεύματος.

Συμπεράσματα

Αδιαμφισβήτητα η τεχνολογική ανάπτυξη στο χώρο της βιομηχανίας έχει επιφέρει αλλαγές στα όργανα μέτρησης, που χρησιμοποιούνται σε αυτή. Πλέον, τα όργανα μέτρησης έχουν πάψει να

αποτελούν απλές συσκευές. Είναι σίγουρο πως στο μέλλον, όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις των βιομηχανικών εφαρμογών αλλά και η πρόοδος στην τεχνολογία, θα υπάρξουν νέες τεχνικές αλλά και όργανα που θα καθιστούν τα ήδη υπάρχοντα παλαιωμένα. Κατά την γνώμη μου, η ανάπτυξη των σύγχρονων οργάνων μέτρησης έχει στραφεί περισσότερο προς τον τομέα της επικοινωνίας οργάνου-ανθρώπου και οργάνου-οργάνου. Πλέον, γίνεται στροφή σε τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας έτσι ώστε να εξαλειφθούν τα εμπόδια των αποστάσεων. Οι εποχές όπου ο χειριστής έπρεπε να βρίσκεται στο χώρο της διεργασίας και να καταγράφει τις μετρήσεις, έχουν ξεπεραστεί. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό παρατηρώντας τεχνολογίες όπως το ΠΟΤ, και το που αυτό έχει φτάσει με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, είναι ξεκάθαρο πως τα σύγχρονα όργανα είναι σχεδιασμένα να λαμβάνουν τιμές μέτρησης που αφορούν διαφορετικές παραμέτρους, σε αντίθεση με το παρελθόν όπου κάθε όργανο ήταν σχεδιασμένο για μέτρηση μιας συγκεκριμένης παραμέτρου πχ το ροόμετρο μετρούσε μόνο ροή μάζας. Ακόμη, θεωρώ ότι υπάρχει σημαντική αύξηση στην ποσότητα των δεδομένων που λαμβάνονται από τις μετρήσεις, καθιστώντας πλέον πρόκληση την αποθήκευση αυτού του τεράστιου όγκου πληροφοριών καθώς και την μεταφορά του. Μελλοντικά, βλέπω ένα μέλλον στο οποίο όλες οι τιμές της διεργασίας θα αποθηκεύονται σε ένα τεράστιο υπολογιστικό νέφος με το οποίο θα είναι συνδεδεμένοι όλοι οι συμμετέχοντες σε μια βιομηχανία (εργάτες, χειριστές, υπεύθυνοι παραγωγής κτλ) και μέσα από αυτό θα ρυθμίζουν τις παραμέτρους της διεργασίας χωρίς να βρίσκονται μέσα στο χώρο όπου λαμβάνει μέρος αυτή. Η πρόκληση λοιπόν, δε βρίσκεται στο πεδίο της εφαρμογής της μέτρησης, καθώς η τεχνογνωσία σε αυτό το κομμάτι υπάρχει ήδη. Αλλά στην μεταφορά και χειρισμό των τιμών αυτής. Τέλος, εισέρχονται παράγοντες που τα προηγούμενα χρόνια δεν αποτελούσαν σοβαρό μέλημα για την βιομηχανία. Αυτοί αφορούν λειτουργίες όπως η αυτό-διάγνωση ενός οργάνου, καθώς παραδοσιακά απαιτούνταν ύπαρξη ενός χειριστή για την συνεχή παρακολούθηση και συντήρηση του, αλλά και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις-διαδικασίες πιστοποίησης αυτού. Η ασφάλεια της βιομηχανίας και ειδικότερα του εργαζομένου όπως και η ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον, οδηγούν σε όλο και αυστηρότερα πρωτόκολλα πιστοποίησης, που παλιά δεν λαμβάνονταν υπόψη.

Βιβλιογραφία

- [1] K. Hitomi, "Automation — its concept and a short history," *Technovation*, pp. 121-128, March 1994.
- C. W. Gelderman, "Britannica," [Online]. Available:
- [2] <https://www.britannica.com/biography/Henry-Ford/Later-years>.
- [3] "Inductive automation," 24 february 2020. [Online]. Available: <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-a-PLC>.
- Πετράκης, "ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ 4ΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ," in *ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ 4ΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ*, 2019.
- [4]
- [5] S. Panikkar, "Safety Instrumented System," 2011.
- [6] I. standard, "Webstore international electrotechnical commission," 30 4 2010. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5515>.
- W. P. E. a. J. H. Smith, "Micromachined pressure sensors: review and," *Smart Materials and Structures*, 1997.
- [7]
- [8] "Endress+Hauser," [Online]. Available: <https://www.endress.com/en>.
- [9] "Honeywell," [Online]. Available: https://aerospace.honeywell.com/?s_kwcid=AL!7892!3!396131713416!!!g!!http://example.com/landing-page?myParam=foo&_bt=396131713416&_bk=&_bm=&_bn=g&_bg=77178734299&gclid=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpf6_E9LnI5sYSBZPv2Ue8F1EvWN0zx1-5CHFHBskjf_ID5NQXNyg68aAihIEAL.
- [10] P. Hauptmann, "Application of ultrasonic sensors in the process," *Measurement Science and Technology*, 2002.
- [11] T. M. C. Harsh Kupwade Patil, "Wireless Sensor Network Security," in *Computer and Information Security Handbook (Third Edition)*, 2017.
- [12] R. R. R. R. R. a. N. K. P. R. Varun Arvind, "Industrial Automation using Wireless," *Indian Journal of Science and Technology*, March 2016.
- [13] R. Shankar, "Flow and Level Instrument Verification in the Pharmaceutical Industry," 2017.
- [14] G. K. McMillan, *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook*, 6th Edition, McGraw-Hill

- [15] Education, 2019.
- [16] "dreamstime," [Online]. Available: <https://www.dreamstime.com/coriolis-flow-meter-mass-flow-meter-measuring-oil-gas-fluids-pipe-line-coriolis-flow-meter-mass-flow-meter-image132062996>.
- "wikipedia," [Online]. Available:
- [17] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BA%CE%B1%CF%83%CF%80%CE%AC%CF%81-%CE%93%CE%BA%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AC%CE%B2_%CE%BD%CF%84%CE%B5_%CE%9A%CE%BF%CF%81%CE%B9%CF%8C%CE%BB%CE%B9%CF%82.
- [18] Π. Δημήτριος, "electronic circuits," [Online]. Available: <http://www.porlidas.gr/ScienFAll/NewtLawsGr.htm>.
- J. Lucas, "Live science," 27 september 2017. [Online]. Available:
- [19] <https://www.livescience.com/46560-newton-second-law.html>.
- [20] S. Urabe, "Yokogawa," 2010. [Online]. Available: <https://www.yokogawa.com/library/resources/yokogawa-technical-reports/rota-mass-3-series-coriolis-mass-flow-and-density-meter/>.
- [21] W. D. R. Martin Anklima, "Coriolis mass flowmeters: Overview of the current state of the art and latest research," *Coriolis Flowmetering Technology: Theory and Practice*, pp. 317-323, 2006.
- "Nist," 1 July 2015. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/programs-projects/national-type-evaluation-program-ntep>.
- [22]
- [23] "Oiml," [Online]. Available: <https://www.oiml.org/en>.
- [24] Siemens, "Sitrans FC330 flowmeter system".
- [25] "Control automation," [Online]. Available: <https://control.com/textbook/continuous-fluid-flow-measurement/pressure-based-flowmeters/>.
- Γ. Ν. Π. , Σ. Ρ. ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ, "ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΥΛΗΣ ΚΑΙ Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ," in *Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης* .
- [26]
- [27] "Britannica," [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Daniel-Bernoulli>.
- [28] [Online]. Available: <https://realpars.com/dp-level-measurement/>.
- Aga, "Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids," 2016.
- [29]
- "Online Browsing Platform (OBP)," [Online]. Available:
- [30] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5167:-2:ed-1:v1:en>.

- [31] 5 June 2019. [Online]. Available: <https://www.drurylandetheatre.com/si-lg-orifice-flow-meter/>.
- [32] Siemens, "SITRANS FP (differential pressure flow measurement)".
- [33] S. L. J. E. Dr. Stuart Styles, "Magnetic Flow Meter Testing," *Irrigation Training and Research Center*, 2020.
- [34] "britannica," [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>.
- [35] [Online]. Available: <https://www.eeeguide.com/magnetic-flow-meter-construction/>.
- [36] [Online]. Available: <http://avibert.blogspot.com/2012/04/magnetic-flowmeters.html>.
- [37] "Silver automation instruments," [Online]. Available: <https://www.silverinstruments.com/blog/electromagnetic-flow-meter-hart-communication.html>.
- [38] S. ranges, "Magnetic flowmeters".
- S. electric, "flow meters," [Online]. Available: <https://www.se.com/us/en/product-range/63507-flow/15329550976-magnetic/?parent-subcategory-id=86486&N=1042783289&filter=business-1-industrial-automation-and-control>.
- [39] P. Devine, Radar level measurement-the users guide, VEGA controls, 2000.
- [40] [Online]. Available: <https://www.libelium.com/libeliumworld/new-radar-sensor-to-control-liquid-tanks-and-grain-silos-levels/>.
- [41] Y. L. X. W. H Chen, "Digital signal processing for a level measurement system based on FMCW radar," 2000.
- [42] [Online]. Available: <https://fluidhandlingpro.com/level-measurement-with-time-domain-reflectometry-guided-radar/>.
- [43] ABB, "ABB," 21 6 2019. [Online]. Available: <https://new.abb.com/news/detail/25834/abb-launches-new-series-of-smart-guided-wave-radars>.
- [44] Π. Δ. Κ. Π. Π. Νικόλαος Αντωνίου, ΦΥΣΙΚΗ.
- [45] [Online]. Available: <https://instrumentationtools.com/plc-raw-count-calculation-for-pressure-transmitter/>.
- [46] Telemecanique, "Telemecanique sensors," [Online]. Available: <https://tesensors.com/global/en/product/reference/XMLP001GC11F>.
- [47] [Online]. Available: <https://forumautomation.com/t/what-is-gas-chromatography-how-gas-chromatography-is-done/2657>.
- [48]

- [49] Π. Συμεωνίδης, Σαρωτές laser. Τεχνολογία ,τεχνικές και εφαρμογές., Σέρρες: Τμήμα γεωπληροφορικής και τοπογραφίας, 2007.
- [50] Creaform, "Creaform," [Online]. Available: <https://www.creaform3d.com/blog/what-is-cmm-and-their-types/>.
- [51] M. M. T. Milan Edl, "3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS," *International Scientific Journal about Simulation*, pp. 1-5, 2018.
- [52] Scantech, "3d-Scantech," [Online]. Available: <https://www.3d-scantech.com/product/autoscan-k-3d-system/>.
- [53] ABB, "Advance optima and Easyline Series," [Online]. Available: <https://new.abb.com/products/measurement-products/analytical/continuous-gas-analyzers/advance-optima-and-easyline-series>.
- [54] K. C. Samyak Jain, *Industrial Automation Using Internet of Things*, India, 2022.
- [55] M. M. A. K. L. M. P. Hassan Malik, "Narrowband Internet of Things (NB-IoT) for Industrial Automation," in *Wireless Automation as an Enabler for the Next Industrial Revolution*, 2019.
- [56] [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/>.
- [57] A. Ι. -. Γ. Ν. Γ. Π. -. Σ. ΡΑΠΤΗΣ.
- [57] P. Devine, Radar level measurement.