



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών & Αυτομάτου Ελέγχου
Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών

► Τεχνικές συντήρησης
βιομηχανικών υδραυλικών συστημάτων
και αναβάθμιση υδραυλικής μηχανής *Herion*.

Διπλωματική Εργασία:
Καλογεροπούλου Παναγιώτα

Επιβλέπων Καθηγητής: **Θ. Ν. Κωστόπουλος, D.Sc.**

Αθήνα 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Θ. Κωστόπουλο, για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Θα ήθελα, επιπλέον να ευχαριστήσω τον κ. Π. Μαρμαρά για την άψογη συνεργασία μας και τον υποψήφιο διδάκτορα Π. Αθανασάτο για τις συμβουλές και την βοήθεια του όλη αυτή την περίοδο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Χ. Χατζηδημητρίου που καθόλη τη διάρκεια των διαδικασιών στο μηχανουργείο αλλά και στη συνέχεια είχε την διάθεση και την υπομονή να μοιραστεί τις γνώσεις του μαζί μου και να με βοηθήσει να κατανοήσω το αντικείμενο των υδραυλικών συστημάτων στην πράξη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους τολμηρούς που μπόρεσαν να συναναστραφούν μαζί μου τον τελευταίο καιρό, τους Blackroc για την έμπνευση που είχαν και κυρίως εκείνους που όπως πάντα με το καλλιτεχνικό και το φιλολογικό ταλέντο τους με βοήθησαν στην τελική μορφοποίηση της εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους «γνωστούς-άγνωστους» που στέκονται πάντα εκεί για μένα και με στηρίζουν με τον πιο όμορφο τρόπο.

Πόλη Καλογεροπούλου

Αθήνα 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	1
Abstract.....	2
Λίστα Εικόνων	3
Λίστα Πινάκων.....	5
Λίστα Διαγραμμάτων.....	6
Εισαγωγή.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων.....	8
1.3 Βασικές φυσικές αρχές.....	10
1.4 Δομικά στοιχεία υδραυλικών κυκλωμάτων	12
1.4.1 Υδραυλικό υγρό.....	13
1.4.2 Υδραυλικές δεξαμενές	18
1.4.3 Συνδετικά εξαρτήματα υδραυλικών συστημάτων.....	19
1.4.4 Υδραυλικές αντλίες	22
1.4.5 Υδραυλικές βαλβίδες	25
1.4.6 Υδραυλικοί επενεργητές	28
1.4.6.1 Υδραυλικοί κύλινδροι.....	28
1.4.6.2 Υδραυλικοί κινητήρες.....	30
1.4.7 Βιομηχανικά φίλτρα	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	36
2.1 Εισαγωγή	36
2.2 Διαχείριση της συντήρησης	37
2.2.1 Δραστηριότητες του τμήματος συντήρησης	38
2.2.2 Οργάνωση της συντήρησης	38
2.3 Τεχνικές συντήρησης	39
2.3.1 Επισκευαστική συντήρηση.....	39
2.3.2 Προληπτική συντήρηση	40
2.3.3 Προβλεπτική συντήρηση	42

2.3.4 Συντήρηση ακριβείας	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ	46
3.1 Εισαγωγή.....	46
3.2 Αστοχίες στα υδραυλικά συστήματα	46
3.3 Χάραξη στρατηγικής συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου	49
3.4 Διαθέσιμες επιλογές τεχνικών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συνθηκών λειτουργίας	50
3.4.1 Οπτικές επιθεωρήσεις.....	51
3.4.2 Τεχνικές παρακολούθησης της καθαρότητας του υδραυλικού ρευστού	51
3.4.2.1 Μέθοδοι ποσοτικής μέτρησης σωματιδίων	52
3.4.2.2 Μέθοδοι ημι-ποσοτικής μέτρησης σωματιδίων.....	54
3.4.2.3 Τεχνικές σύγκρισης	56
3.4.2.4. Βαρομετρική ανάλυση (Gravimetric Analysis).....	56
3.4.2.5 Μαγνητικοί αναλυτές αποβλίττων (Magnetic Debris Analysers)	56
3.4.2.6 Χαρακτηρισμός σωματιδίων και παρακολούθηση των αποβλίττων	57
3.4.2.7 Ανάλυση των λιπαντικών ιδιοτήτων	58
3.4.3 Λειτουργικές Παράμετροι	60
3.4.4 Δυναμικές μέθοδοι	66
3.4.4.1 Κραδασμοί	67
3.4.4.2 Διαταραχές ροής ή/και πίεσης.....	68
3.4.4.3 Ακουστικά σήματα.....	69
3.4.4.4 Ανίχνευση τασικών κυμάτων.....	70
3.5 Επιλογή της κατάλληλης τεχνικής παρακολούθησης και ελέγχου	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ HERION	72
4.1 Ανάλυση αρχικού κυκλώματος του υδραυλικού κυκλώματος	72
4.2 Σκοπός αναβάθμισης.....	75
4.3 Συνοπτική παρουσίαση αναβάθμισης	75
4.4 Ανάλυτική παρουσίαση μετρητικών οργάνων και λοιπού εξοπλισμού της αναβάθμισης	79
4.4.1 Αισθητήρες παροχής	79
4.4.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες.....	79
4.4.1.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας αισθητήρων παροχής στο υδραυλικό κύκλωμα	82
4.4.2 Αισθητήρες πίεσης	84
4.4.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες.....	84
4.4.2.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας αισθητήρων πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα	86

4.4.3 Αισθητήρας μετατόπισης	89
4.4.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες	90
4.4.3.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας αισθητήρα μετατόπισης στο υδραυλικό κύκλωμα	93
4.4.4 Βαλβίδες ρύθμισης παροχής.....	94
4.4.4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες.....	95
4.4.4.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας βαλβίδων στο υδραυλικό κύκλωμα	96
4.4.5 Διάταξη επιβολής φορτίου	99
4.4.5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και εγκατάσταση.....	100
4.4.6 Φίλτρο πίεσης	105
4.4.6.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και εγκατάσταση.....	106
4.4.7 Συσκευή συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DAQ)	107
4.4.7.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες	111
4.5 Επισκόπηση διαδικασιών στο μηχανουργείο	114
4.5.1 Βαθμονόμηση αισθητηρίων οργάνων παροχής	114
4.5.2 Διαστασιολόγηση σωληνώσεων	114
4.6 Επισκόπηση ηλεκτρολογικών διαδικασιών	115
4.6.1 Συνδέσεις νέων τροφοδοτικών συσκευών	115
4.6.2 Συνδεσμολογία τερματικού μπλοκ/κλέμας	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ	
ΜΕΣΟΥ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HERION ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ FLUSHING	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	123
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ-INTERNET	124

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στη μελέτη των τεχνικών συντήρησης των σύγχρονων υδραυλικών συστημάτων και δίνει ιδιαίτερο βάρος στον τρόπο εφαρμογής των μεθόδων συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου που χρησιμοποιούνται για την αξιόπιστη λειτουργία τους. Τα δυο βασικά μέρη της εργασίας περιγράφονται ακολούθως:

Στο πρώτο μέρος τονίζεται η ανάγκη που υπάρχει στη βιομηχανία των υδραυλικών συστημάτων και γενικά στην παραγωγή, για ενσωμάτωση σύγχρονων μεθόδων συντήρησης που δρουν όχι μόνο διορθωτικά και προγνωστικά αλλά και ως εργαλεία διάγνωσης αστοχιών. Στα πλαίσια εφαρμογής τέτοιων προγραμμάτων συντήρησης καθίσταται απαραίτητη η εμφύτευση μεθόδων παρακολούθησης και ελέγχου των υδραυλικών συστημάτων, που συμβάλλουν στην βέλτιστη λειτουργία τους. Στη συνέχεια αναλύονται οι σύγχρονες τεχνικές παρακολούθησης και ελέγχου που βρίσκουν εφαρμογή στο πεδίο των υδραυλικών συστημάτων.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η αναβάθμιση της υδραυλικής μηχανής Herion, που είναι εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών, και η οποία πραγματοποιήθηκε με στόχο να αποτελέσει μελλοντικά μια πλατφόρμα για την προσομοίωση αστοχιών των υδραυλικών συστημάτων και βλαβών των επιμέρους εξαρτημάτων τους. Αναλύονται εκτενώς οι παρεμβάσεις που έγιναν στο υδραυλικό κύκλωμα για την εγκατάσταση των νέων υδραυλικών εξαρτημάτων αλλά και των αισθητηρίων οργάνων και περιγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού. Μετά την ολοκλήρωση της αναβάθμισης μελετήθηκε έλεγχος της ρύπανσης του εργαζόμενου υγρού της μηχανής και προχωρήσαμε στην βελτίωση της ποιότητας του μέσω της διαδικασίας flushing.

ABSTRACT

CONDITION MONITORING OF INDUSTRIAL HYDRAULIC SYSTEM AND UPGRADING OF HYDRAULIC MACHINE HERION

The constant need of reducing manufacturing costs, while at the same time, operating the mechanical equipment at its maximum efficiency has led the industry to implement innovating maintenance techniques, as Reliability Centered Maintenance, and invest in methods that optimize Condition Monitoring. As the industrial hydraulic systems share a great hold in the manufacturing process, obtaining the best fitted monitoring technique, which ensures reliability and maximum production efficiency, is a matter of great importance.

This diploma thesis is divided in two main parts. The issue of establishing an effective maintenance strategy, which can act not only as a diagnostic technology but also as a Root Cause Failure tool is addressed in the first part. Furthermore, an extensive analysis of the latest developed, available in the market, techniques for Condition Monitoring of Hydraulic Systems is presented.

The second part, stands as a practical approach to the above theories. In the Laboratory of System & Design, of the National Technical University of Athens, we proceeded in the uprade of a simple hydraulic system, which is Herion. The upgrading of the hydraulic system took place so as to be used for simulating failures of hydraulic components and hydraulic systems. The upgrading procedure is described step by step, while both the new hydraulic components and the sensor technology equipment that were installed are analyzed and discussed. After the completion of the upgrade a case study on the fluid contamination of the hydraulic system was conducted, in which we checked the contamination level of the system. We concluded that the contamination level of the hydraulic fluid as very high and we flushed the system, by using an off-line unit, in order to acquire a certification according to ISO 4406:1999

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στην γεωργία	8
Εικόνα 1.2: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στον κατασκευαστικό εξοπλισμό	9
Εικόνα 1.3: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στην αεροναυπηγική και στην ναυπηγική	9
Εικόνα 1.4: Η πίεση ασκείται σε όλο τον όγκο του ρευστού	11
Εικόνα 1.5: Συσχέτιση δυνάμεων και μετατοπίσεων ανάλογα με το εμβαδό των εμβόλων στο υδραυλικό πιεστηρίο	12
Εικόνα 1.6: Βασική απεικόνιση τυπικού υδραυλικού συστήματος	13
Εικόνα 1.7: Βασικές λειτουργίες και ιδιότητες των ρευστών σε ένα υδραυλικό σύστημα	14
Εικόνα 1.8: Πιθανά σημεία τοποθέτησης της υδραυλικής δεξαμενής σε μια διάταξη υδραυλικού συστήματος	18
Εικόνα 1.9: Εξαρτήματα τυπικής υδραυλικής δεξαμενής εργαζόμενου μέσου	19
Εικόνα 1.10: Χαρακτηριστικά μεγέθη σωληνώσεων	20
Εικόνα 1.11: Εσωτερική διαμόρφωση κατασκευής εύκαμπτου, ελαστικού σωλήνα (Gates&Tomkins Ltd)	21
Εικόνα 1.12: Διαμορφώσεις κοχλιωτών συνδέσεων	21
Εικόνα 1.13: Τομή αντλίας θετικής μετατόπισης	22
Εικόνα 1.14: Ροή υδραυλικού ρευστού διαμέσου αντεπίστροφης βαλβίδας	26
Εικόνα 1.15: Βαλβίδα κατεύθυνσης ροής 4/2 (Rexroth-Bosch Group)	26
Εικόνα 1.16: Συνήθεις σχεδιασμοί κεντρικής θέσης για βαλβίδες κατεύθυνσης ροής	27
Εικόνα 1.17: Λειτουργία ανακουφιστικής βαλβίδας	27
Εικόνα 1.18: Παραδείγματα υδραυλικών κυλίνδρων	28
Εικόνα 1.19: Εσωτερική διαμόρφωση τυπικού κυλίνδρου διπλής ενέργειας και το αντίστοιχο κυκλωματικό σύμβολο	29
Εικόνα 1.20: Υδραυλικός κύλινδρος διπλού βάρκρου	30
Εικόνα 1.21: Κατασκευαστική διαμόρφωση τυπικού βιομηχανικού φίλτρου (MAHLE Industriefiltration)	32
Εικόνα 1.22: Τομή φίλτρου με αντεπίστροφη βαλβίδα	32
Εικόνα 1.23: Υλικά κατασκευής των στοιχείων των φίλτρων: λεπτές ίνες γυαλιού, χαρτί εμποτισμένο με κυτταρίνη, μεταλλικό πλέγμα, μεταλλικές εγκοπές (MAHLE Industriefiltration)	33
Εικόνα 1.24: Ροή του υδραυλικού ρευστού διαμέσου των βιομηχανικών φίλτρων	34
Εικόνα 2.1: Χαρακτηριστικά παραδείγματα καμπυλών αστοχίας μηχανολογικού εξοπλισμού (United Airlines)	41
Εικόνα 3.1: Ειδική βαφή Oil-Glo (Advanced Engineering Ltd Basingstoke UK)	51
Εικόνα 3.2: Φορητός ελεγκτής ρύπανσης PCM400 (Pall Europe Ltd)	55
Εικόνα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή χρήσης των ροομέτρων στην βιομηχανία ανάλογα με τον τύπο κατασκευής	61
Εικόνα 3.4: Ψηφιακά ταχόμετρα χειρός για εφαρμογές βαριάς βιομηχανίας δύο τύπων: επαφής και χωρίς επαφή (Paul N. Gardner Company, Inc)	66
Εικόνα 3.5: Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο	68
Εικόνα 3.6: Σήματα διαταραχής της πίεσης από πτερυγιοφόρο αντλία με βλάβη στον στάτορα	69
Εικόνα 3.7: Φάσμα ισχύος κυμάτων της διαταραχής πίεσης από πτερυγιοφόρο αντλία με βλάβη στον στάτορα	69
Εικόνα 4.1: Πρόσοψη υδραυλικού συστήματος Herion	74
Εικόνα 4.2: Πίσω όψη υδραυλικού συστήματος Herion	74

Εικόνα 4.3: Παροχόμετρο τύπου VKM (KOBOLD Messring Gmbh).....	79
Εικόνα 4.4: Γενικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τυπικού παροχόμετρου τύπου variable orifice	81
Εικόνα 4.5: Αρχή λειτουργίας παροχόμετρου τύπου variable orifice.....	81
Εικόνα 4.6: Τομή κατασκευαστικού σχεδίου παροχόμετρου τύπου variable orifice.....	82
Εικόνα 4.7: Σημεία τοποθέτησης των παροχόμετρων στο υδραυλικό κύκλωμα Herion	82
Εικόνα 4.8: Μεταλλάκτες πίεσης SEN-8601/2 A115 (KOBOLD Messring Gmbh).....	85
Εικόνα 4.9: Μεταλλάκτης πίεσης SEN-8601/2 A115 (KOBOLD Messring Gmbh)	86
Εικόνα 4.10: Σημεία τοποθέτησης των αισθητήρων πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.....	87
Εικόνα 4.11: Τελικό σημείο εγκατάστασης αισθητήρα πίεσης D στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.	88
Εικόνα 4.12: Φαινόμενο Joule και μαγνητοσυστολής	90
Εικόνα 4.13: Φαινόμενο Wiedemann.	90
Εικόνα 4.14: Γραμμικός αισθητήρας θέσης τύπου GPV0600MD601V0 (MTS System Corporation)	91
Εικόνα 4.15: Εσωτερική διαμόρφωση και επιμέρους συνιστώσες του αισθητήρα θέσης (MTS System Corporation)	91
Εικόνα 4.16: Αρχή λειτουργίας διέγερσης μαγνητοσυστολικής μέτρησης στον αισθητήρα θέσης.....	92
Εικόνα 4.17: Σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα θέσης στο υδραυλικό σύστημα Herion	93
Εικόνα 4.18: Σύνδεση κινητού εξαρτήματος αισθητήρα με το βάκτρο του υδραυλικού κυλίνδρου	95
Εικόνα 4.19: Σχέδιο και τομή βελονοειδούς βαλβίδας (Parker Hannifin GmbH & Co. KG).....	95
Εικόνα 4.20: Ρυθμιστικοί δακτύλιοι βελονοειδούς βαλβίδας 9N800S (Parker Hannifin Corporation).....	96
Εικόνα 4.21: Σημείο τοποθέτησης βελονοειδούς βαλβίδας “I” στο υδραυλικό κύκλωμα Herion	97
Εικόνα 4.22: Σημείο τοποθέτησης βελονοειδούς βαλβίδας “H” στο υδραυλικό κύκλωμα Herion	97
Εικόνα 4.23: Διάταξη ηλεκτροαναλογικών βαλβιδών για την επιβολή φορτίου	99
Εικόνα 4.24: Διάταξη για την επιβολή φορτίου	100
Εικόνα 4.25: Τομή κάθετου μπλοκ σύνδεσης ECU 1KXOAA (SUN hydraulics).....	101
Εικόνα 4.26: Βαλβίδα RSDC-8DN (SUN hydraulics).....	101
Εικόνα 4.27: Κυκλωματικός συμβολισμός της βαλβίδα RSDC-8DN (SUN hydraulics).....	102
Εικόνα 4.28: Τομή κάθετου μπλοκ σύνδεσης ECU 1KXOAA (SUN hydraulics).....	102
Εικόνα 4.29 Κυκλωματικός συμβολισμός της βαλβίδα RBAP-MDN (SUN hydraulics)	103
Εικόνα 4.30: Αναλογικός ενισχυτής σήματος 790-2B24V (SUN hydraulics)	103
Εικόνα 4.31: Αντεπίστροφη βαλβίδα διάταξης επιβολής φορτίου (Parker Hannifin Corporation)	104
Εικόνα 4.32: Κυκλωματικός συμβολισμός διάταξης επιβολής φορτίου	104
Εικόνα 4.33: Διάταξη σωληνώσεων και φίλτρο επιστροφής στο υδραυλικό κύκλωμα Herion	105
Εικόνα 4.34: Σημείο τοποθέτησης φίλτρου πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα Herion	106
Εικόνα 4.35: Τρόπος απόκτησης δεδομένων από αισθητήρες.....	107
Εικόνα 4.36: Σύστημα μέτρησης 16 καναλιών RSE	109
Εικόνα 4.37: Σύνδεση αισθητήριων οργάνων με Η/Υ.....	111
Εικόνα 4.38: Συσκευή DAQ U2353A (Agilent Technologies).....	113
Εικόνα 4.39: Σύνδεση συστήματος DAQ.....	114
Εικόνα 4.40: Πρώτο στάδιο διαδικασίας βαθμονόμησης αισθητήριων παροχής	114
Εικόνα 4.41: Κεντρική ηλεκτρολογική εγκατάσταση της υδραυλικής μηχανής Herion	115
Εικόνα 4.42: Νέα πρόσθετη ηλεκτρολογική εγκατάσταση της υδραυλικής μηχανής Herion	116
Εικόνα 4.43: Σχέδιο καναλιών τερματικού μπλοκ/κλέμας (Agilent Techonologies)	116
Εικόνα 5.1: Φορητή μονάδα ελέγχου ρευστών FCU2210 011M, της εταιρείας HYDAC.....	118
Εικόνα 5.2: Αντλία κυκλοφορίας της εταιρείας HYDAC και κύκλωμα δειγματοληψίας.....	119
Εικόνα 5.3: Off-line κινητή εγκατάσταση καθαρισμού υδραυλικού ρευστού	120
Εικόνα 5.4: Σύνδεση off-line κινητής εγκατάστασης καθαρισμού με το υδραυλικό κύκλωμα Herion.....	121

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδραυλικών συστημάτων υψηλής πίεσης.....	10
Πίνακας 1.2: Κωδικοποίηση κατά DIN51524	17
Πίνακας 1.3: Κωδικοποίηση κατά DIN για μη αναφλέξιμα υδραυλικά υγρά.....	18
Πίνακας 1.4: Πίνακας βασικών συμβόλων για την ποσοτικοποίηση των μεγεθών στις υδραυλικές αντλίες	25
Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της επισκευαστικής συντήρησης	39
Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προληπτικής συντήρησης	41
Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προβλεπτικής συντήρησης	43
Πίνακας 2.4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της συντήρησης ακριβείας	45
Πίνακας 3.1: Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων δυο μελετών για τον υδραυλικό εξοπλισμό	48
Πίνακας 3.2: Αντιστοίχιση των τριών τυποποιήσεων NAS1638,ISO406 και SAE AS4059 για τα υδραυλικά ρευστά.....	52
Πίνακας 3.3: Πιθανές πηγές ρύπανσης και αντίστοιχα χημικά στοιχεία.....	57
Πίνακας 3.4: Ολικά επίπεδα ήχου από διαφορετικές πηγές	70
Πίνακας 4.1: Υδραυλικά εξαρτήματα και παρελκόμενα υδραυλικού συστήματος Herion.....	73
Πίνακας 4.2: Συνοπτικός κατάλογος των νέων εξαρτημάτων της αναβάθμισης	75
Πίνακας 4.3: Παροχόμετρο τύπου VKM-6110VR200R (KOBOLD Messring GmbH)	80
Πίνακας 4.4: Παροχόμετρο τύπου VKM-6110VR200R (KOBOLD Messring GmbH)	80
Πίνακας 4.5: Αισθητήρας πίεσης SEN-8601/2 A115 (KOBOLD Messring GmbH).....	85
Πίνακας 4.6: Γραμμικός αισθητήρας θέσης τύπου GPV0600MD601V0 (MTS System Corporation)	91
Πίνακας 4.7: Βελονοειδής βαλβίδα 9N800S(Parker Hannifin Corporation)	96
Πίνακας 4.8: Στοιχεία διάταξης επιβολής φορτίου.....	100
Πίνακας 4.9: Αναλογικός ενισχυτής σήματος 790-2B24V (SUN hydraulics).....	103
Πίνακας 4.10: Φίλτρο κωδικού Pi 3502-12 (Mahle Industriefiltration)	106
Πίνακας 4.11: Χαρακτηριστικά αναλογικών εισόδων DAQ U2353A	112
Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά αναλογικών εξόδων DAQ U2353A	113
Πίνακας 4.13: : Αντιστοίχιση καναλιών κλέμας με τα αισθητήρια μετρητικά όργανα	117

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Τύποι υδραυλικών ρευστών που χρησιμοποιούνται τυπικά στα υδραυλικά συστήματα.....	16
Διάγραμμα 1.2: Κατηγοριοποίηση αντλιών.....	23
Διαγραμμα 1.3: Κατηγοριοποίηση υδραυλικών κινητήρων.....	31
Διάγραμμα 1.4: Γραφική αναπαράσταση συντελεστή βήτα-ρυθμού διαχωρισμού.....	34
Διάγραμμα 2.1: Γραφική αναπαράσταση χρόνου-ρυθμού αστοχίας (bathtub curve).....	40
Διάγραμμα 2.2: Συσχέτιση των τριών ειδών συντήρησης συναρτήσει της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας με τις συνέπειες των αστοχιών.....	42
Διάγραμμα 2.3: Δέντρο αποφάσεων για την Συντήρηση Ακριβείας (RCM).....	44
Διάγραμμα 3.1: Οι αιτίες αντικατάστασης των δομικών στοιχείων των μηχανολογικών εξοπλισμών.....	47
Διάγραμμα 3.2: Καμπύλες ρύπανσης σε συνάρτηση με τα διαστήματα μεταξύ αστοχιών.....	48
Διάγραμμα 3.3: Μέτρησεις παροχής όγκου διαρροής κυλίνδρου με χρήση παροχόμετρων στην είσοδο και στην έξοδο.....	61
Διάγραμμα 3.4: Μεταβολές θερμοκρασιακής διαφοράς σε μια ανακουφιστική βαλβίδα για διαφορετικές πιέσεις και παροχές όγκου διαμέσου της βαλβίδας.....	64
Διάγραμμα 4.1: Μονογραμμικό διάγραμμα υδραυλικού κυκλώματος πριν την αναβάθμιση.....	72
Διάγραμμα 4.2: Υδραυλικό κύκλωμα αναβαθμισμένου συστήματος Herion.....	76
Διάγραμμα 4.3: Υδραυλικό κύκλωμα κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα δεξιά.....	77
Διάγραμμα 4.4: Υδραυλικό κύκλωμα κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα δεξιά.....	78
Διάγραμμα 4.5: Συγκριτική απεικόνιση των ειδών της πίεσης.....	84
Διάγραμμα 5.1: Γραφική παράσταση αποτελεσμάτων για τον έλεγχο καθαρότητας του υδραυλικού ρευστού($\Delta t=10\text{min}$).....	119
Διάγραμμα 5.2: Συνοπτικό μονογραμμικό διαγράμμα της off-line κινητής εγκατάστασης.....	121
Διάγραμμα 5.3: Γραφική παράσταση αποτελεσμάτων διαδικασίας κάθαρσης του υδραυλικού ρευστού ($\Delta t=33\text{min}$).....	122
Διάγραμμα 5.3: Γραφική παράσταση αποτελεσμάτων διαδικασίας κάθαρσης του υδραυλικού ρευστού ($\Delta t=33\text{min}$).....	122

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί μια εισαγωγή στη βασική θεωρία των υδραυλικών συστημάτων υψηλής πίεσης. Γίνεται συνοπτική αναφορά των φυσικών αρχών λειτουργίας πάνω στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων και παρουσίαση της πρακτικής εφαρμογής τους στην βιομηχανία και στην καθημερινότητα. Τέλος, παρουσιάζονται εκτενώς τα υδραυλικά εξαρτήματα και τα μηχανολογικά στοιχεία που αποτελούν τις κύριες συνιστώσες των υδραυλικών κυκλωμάτων.

Στο Κεφάλαιο 2 ορίζεται σαφώς ο ρόλος της συντήρησης και η ανάγκη που υπάρχει για ενσωμάτωση σωστών διαδικασιών συντήρησης στην παραγωγική διαδικασία. Δίνεται έμφαση στον τρόπο οργάνωσης και στη φιλοσοφία μέσω των οποίων μπορεί μια εταιρεία να καθιερώσει ένα επιτυχημένο και αποτελεσματικό πρόγραμμα συντήρησης. Επίσης, αναλύονται διεξοδικά οι σύγχρονες μέθοδοι της συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού που υπάρχουν στη βιομηχανία.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια σύντομη περιγραφή της φύσης των αστοχιών που παρατηρούνται στα υδραυλικά συστήματα και παρατίθενται χαρακτηριστικές μελέτες, που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα σε αυτόν τον τομέα και τα αποτελέσματά τους. Στη συνέχεια, γίνεται μια εκτενής ανάλυση των σύγχρονων τεχνικών παρακολούθησης και ελέγχου των υδραυλικών συστημάτων, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση, για την πρόβλεψη και την πρόγνωση αλλά και για την εξάλειψη των πιθανών αστοχιών.

Το Κεφάλαιο 4 αποτελεί το πρακτικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής, όπου παρουσιάζεται η αναβάθμιση της υδραυλικής μηχανής Herion, που βρίσκεται στο Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών. Η αναβάθμιση περιλαμβάνει την εγκατάσταση ψηφιακών αισθητήριων οργάνων αλλά και παρεμβάσεις στο υδραυλικό κύκλωμα, με στόχο τη μετατροπή της μηχανής σε πλατφόρμα προσομοίωσης αστοχιών υδραυλικών εξαρτημάτων. Αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλου του εξοπλισμού της αναβάθμισης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε μέχρι την τελική διαμόρφωση του νέου συστήματος.

Το Κεφάλαιο 5 αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης στην υδραυλική μηχανή Herion, μετά την αναβάθμιση που έγινε και αφορά στον καθαρισμό του εργαζόμενου μέσου μέσω διαδικασίας flushing, ώστε να μπορέσει η μηχανή να λάβει πιστοποίηση κατά ISO 4406 και να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία της.

Στο Παράρτημα Α δίνονται πίνακες με τα περισσότερα σύμβολα των υδραυλικών συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση αυτών.

Στο Παράρτημα Β δίνονται διαγράμματα και πίνακες σχετικά με την τεχνολογία των υδραυλικών συστημάτων και τις τυποποιήσεις που υπάρχουν.

Στο Παράρτημα Γ δίνονται πίνακες συμπτωματολογίας βλαβών των υδραυλικών συστημάτων σε αντιστοιχία με τους κατάλληλους τρόπους επίλυσης και λογικά διαγράμματα διάγνωσης βλαβών.

Στο Παράρτημα Δ παρατίθενται τα manual των κατασκευαστών όλων των μετρητικών οργάνων και των υδραυλικών εξαρτημάτων που εγκαταστάθηκαν για την ολοκλήρωση της αναβάθμισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

1.1 Εισαγωγή

Σήμερα, ορίζουμε ως υδραυλικά συστήματα τους μηχανισμούς εκείνους που χρησιμοποιούν ως εργαζόμενο μέσο συμπιεσμένο υδραυλικό υγρό για τη μετάδοση κίνησης, τη μεταφορά ισχύος και τον πολλαπλασιασμό δύναμης από την κινητήρια μηχανή στην κινούμενη μηχανή (εργομηχανή).

Γενικά, η υδραυλική περιλαμβάνει την παραγωγή ενέργειας μέσω της κίνησης υγρών και η μελέτη αυτής ασχολείται εκτενώς με την χρήση και τα χαρακτηριστικά των υγρών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαζόμενα μέσα σε κάποιο κύκλωμα.

Η υδραυλική ισχύς είναι στην υπηρεσία του ανθρώπου από αρχαιοτάτων χρόνων. Χρησιμοποιήθηκε για παράδειγμα για την κίνηση ανεμόμυλων και υδροτροχών και μέχρι σήμερα η ισχύς του κινούμενου ρευστού, κυρίως του νερού, χρησιμοποιείται σε συμβατικές και σε βασισμένες σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις πρωτεύοντα ρόλο διαδραματίζει η κινητική ενέργεια του ρευστού. Όμως, στα υδραυλικά συστήματα υψηλής πίεσης η ενέργεια που παράγεται δεν οφείλεται στην ταχύτητα αλλά στην δυναμική ενέργεια (στατική πίεση) του ρευστού.

Τα υδραυλικά συστήματα λειτουργούν σε πολύ υψηλότερες πιέσεις από τα πνευματικά και τα ηλεκτρομηχανικά συστήματα, συνεπώς ενδείκνυνται για εφαρμογές όπου απαιτείται να εξασκηθούν μεγάλες δυνάμεις. Η πίεση λειτουργίας μπορεί να φτάσει μέχρι και 500 bar. Εξάλλου επειδή το χρησιμοποιούμενο μέσο είναι πρακτικά ασυμπίεστο, τα υδραυλικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ακρίβεια ελέγχου κίνησης.

1.2 Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων

Η σύγχρονη βιομηχανία χρησιμοποιεί υδραυλικά συστήματα με αυξανόμενους ρυθμούς και παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε πληθώρα κλάδων. Υπάρχουν στον κόσμο μία σειρά από υψηλά εξειδικευμένες εταιρείες που παράγουν το σχετικό εξοπλισμό. Στη συνέχεια, παραθέτουμε τέσσερεις βασικούς κλάδους στους οποίους γίνεται ευρεία εφαρμογή των υδραυλικών συστημάτων. Βέβαια εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων συναντάμε καθημερινά σε πολλές ακόμα περιπτώσεις (αυτόματο έλεγχο, φρένα αυτοκινήτων, τηλεσκόπια, αντένες, κλπ.).

Γεωργία & Δασοκομία

Τα αγροτικά μηχανήματα για την εκμετάλλευση και διαμόρφωση καλλιεργήσιμων εκτάσεων στηρίζονται κυρίως στην τεχνολογία των υδραυλικών συστημάτων. Σε αυτήν στηρίζονται και τα μηχανήματα για τη διαχείριση μεγάλων δασικών εκτάσεων.



Εικόνα 1.1: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στην γεωργία.

Κατασκευαστικός εξοπλισμός & Μηχανήματα έργων

Σε όλες τις δραστηριότητες κατασκευής, χωματουργίας και εξόρυξης χρησιμοποιούνται βαρέου τύπου τροχοφόρα και εξοπλισμός ανέλκυσης και ανύψωσης, που βασίζονται κυρίως στα υδραυλικά συστήματα. Χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα αποτελούν: ελαστικοφόροι αρθρωτοί φορτωτές (wheel loaders), ερπυσριοφόροι εκσκαφείς (crawler excavators), ελαστικοφόροι εκσκαφείς-τσάπες (wheel excavators), διαμορφωτές γαιών (graders), αρθρωτά χωματουργικά ανατρεπόμενα φορτηγά (dumper), χωματουργικοί οδοστρωτήρες, ασφαλτικοί οδοστρωτήρες, υδραυλικοί γερανοί, ελαστικοφόροι και ερπυσριοφόροι διαστρωτήρες ασφάλτου.



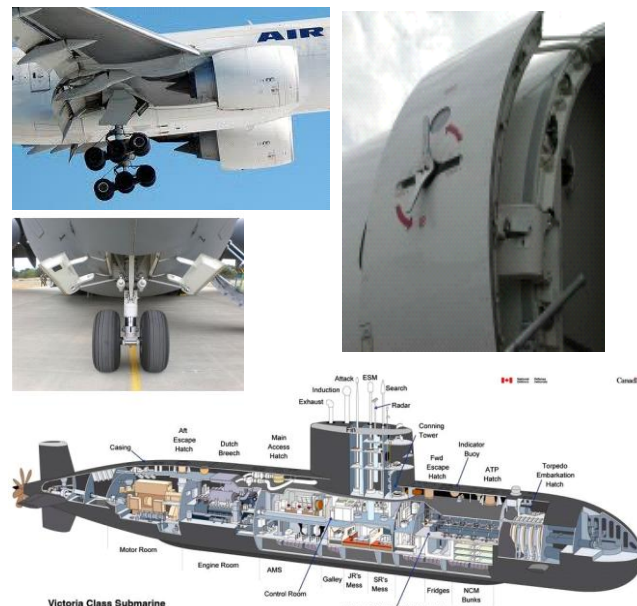
Εικόνα 1.2: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στον κατασκευαστικό εξοπλισμό.

Βιομηχανίες με διεργασίες εργοστασιακής κατασκευής

Τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος βιομηχανιών που παράγουν προϊόντα, τα οποία απαιτούν μεγάλες ενέργειες και δυνάμεις. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι: η μεταλλοβιομηχανία, η βαριά βιομηχανία, η βιομηχανία εργαλείων και εργαλειομηχανών. Επίσης, υδραυλικά συστήματα συναντάμε σε μεγάλες γραμμές παραγωγής και συναρμολόγησης στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Αεροναυπηγική και Ναυπηγική

Τα αεροπλάνα και ειδικά τα αεροσκάφη υψηλών ταχυτήτων, όπως τα αεριωθούμενα και τα πολεμικά, ενσωματώνουν στην κατασκευή τους υδραυλικά συστήματα. Τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα μηχανισμών και διεργασιών που ενεργοποιούνται από υδραυλικά συστήματα είναι: το άνοιγμα και το κλείσιμο των πορτών, η λειτουργία των τροχών προσγείωσης, ο έλεγχος των κινήσεων των φτερών, ο αυτόματος πιλότος, οι μηχανισμοί των φρένων και τα συστήματα απορρόφησης των δονήσεων. Υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως και στην κατασκευή των υποβρυχίων για ποικίλες δραστηριότητες όπως την ενεργοποίηση των τορπιλών, στην πηδαλιούχηση και γενικά στον έλεγχο διεργασιών.



Εικόνα 1.3: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στην αεροναυπηγική και στην ναυπηγική.

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων σε σύγκριση με τα μηχανικά συστήματα μετάδοσης ενέργειας και τα ηλεκτρικά συστήματα.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	
Πλεονεκτήματα [+]	Μειονεκτήματα [-]
<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλός λόγος της δύναμης προς το βάρος της κατασκευής (μικρός όγκος) • Ικανότητα αντιστροφής της περιστροφής ή της γραμμικής κίνησης • Ευελιξία • Μεταβλητή ταχύτητα • Δυνατότητα ακαριαίας στάσης • Ικανότητα ελέγχου μεγάλων φορτίων • Προστασία από υπερβολικό φορτίο • Μεγάλη ποικιλία ελέγχων 	<ul style="list-style-type: none"> • Συμμόρφωση σε αυστηρούς κανονισμούς για τον θόρυβο και την ασφάλεια (υψηλές πιέσεις) • Μικρές μηχανουργικές ανοχές που οδηγούν σε αυξημένα κόστη συντήρησης • Υπολογιστικές δυσκολίες (σύνθετος σχεδιασμός) • Έκλυση θερμότητας

Πίνακας 1.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υδραυλικών συστημάτων υψηλής πίεσης.

1.3 Βασικές φυσικές αρχές

Οι βασικές αρχές της φυσικής πάνω στις οποίες στηρίχθηκε η ανάπτυξη των υδραυλικών συστημάτων και οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τον υπολογισμό και την μελέτη των υδραυλικών συστημάτων αναφέρονται ακολούθως επιγραμματικά:

Ορισμός δύναμης και πίεσης

Ορίζουμε τη δύναμη ως κάθε αιτία που προξενεί κίνηση ή μεταβάλλει μια κατάσταση και οδηγεί στην ανάπτυξη πίεσης. Προκειμένου να μπορέσουμε να καθορίσουμε την συνολική δύναμη που ασκείται σε μια επιφάνεια, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την πίεση ή την δύναμη σε μια σαφώς ορισμένη περιοχή. Η πίεση δημιουργείται σε περιπτώσεις όπου είτε υπάρχει αντίσταση στη ροή, είτε εφαρμόζεται μια δύναμη που προσπαθεί να δημιουργήσει ροή στο ρευστό. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την επιφάνεια εφαρμογής. Επίσης, απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ροής είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ των σημείων της ροής. Η πίεση μετράται σε bar, kPa και psi, ενώ η δύναμη σε Newton, lb και rounds.

Εργαζόμενο μέσο και αρχή συνέχειας

Τα υδραυλικά υγρά που χρησιμοποιούνται ως μέσα μεταφοράς ισχύος και ενέργειας θεωρούνται πρακτικώς ασυμπίεστα. Συγκεκριμένα στα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται ειδικά εμπλουτισμένα ορυκτέλαια, γαλακτώματα (μίγματα νερού-υδραυλικού υγρού) και συνθετικά υγρά, τα οποία παρουσιάζουν βελτιστοποιημένες ιδιότητες.

Επίσης, θεωρούμε ότι σε ένα σωλήνα ροής ασυμπίεστου ρευστού, εφόσον δεν υπάρχουν μεταβατικά φαινόμενα όπως στο υδραυλικό πλήγμα, η παροχή όγκου του ρευστού παραμένει σταθερή.

Νόμος Pascal

Η αρχή του Pascal αναφέρει ότι η πίεση που δημιουργεί ένα εξωτερικό αίτιο σε κάποιο σημείο του υγρού μεταφέρεται αναλλοίωτη σε όλα τα σημεία του υγρού. Συγκεκριμένα, σε τυχούσα θέση ενός

ρευστού που βρίσκεται υπό πίεση, η πίεση είναι ίδια κατά μέτρο προς πάσα κατεύθυνση και δρα κάθετα στην επιφάνεια επί της οποίας ασκείται.



Θεωρούμε τους ακόλουθους συμβολισμούς:

- A = η διατομή του πώματος
(λαμβάνομενη ίδια με την εσωτερική διατομή του μπουκαλιού)
 $A = 1\text{ m}^2$
- F = η δύναμη που ασκείται στο πώμα
 $F = 10\text{ N}$

Εικόνα 1.4: Η πίεση ασκείται σε όλο τον όγκο του ρευστού.

Λαμβάνοντας υπόψη την Εικόνα 1.4 μπορούμε να αναφέρουμε τους ακόλουθους υπολογισμούς:

- Η βρεχόμενη πλευρά του πώματος, αμελουμένων των παραμορφώσεων του δοχείου υφίσταται αναπτυσσόμενη πίεση: $p_o = \frac{F}{A}$

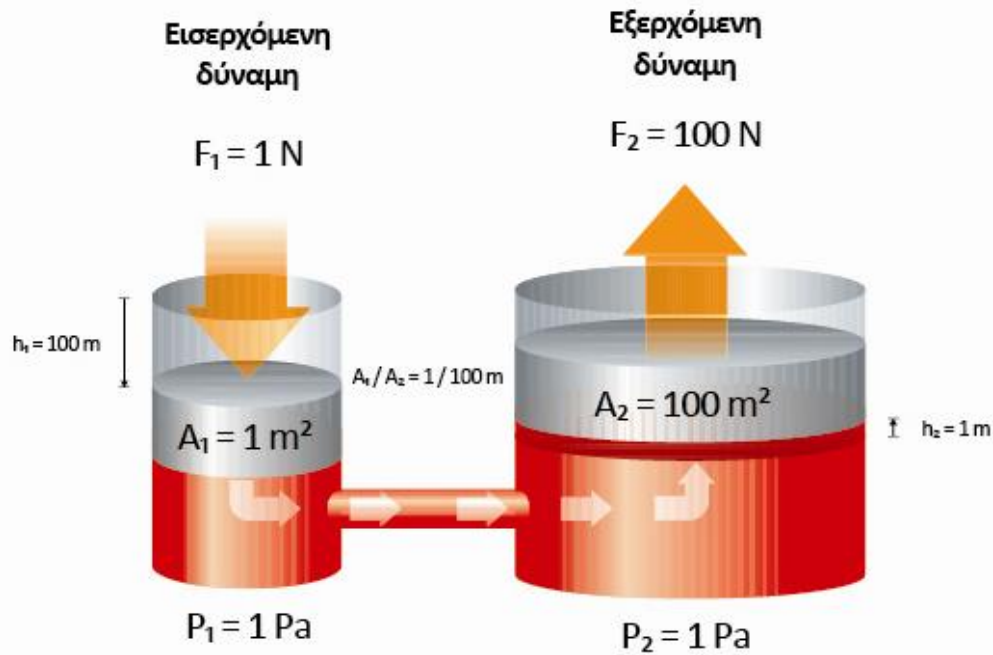
Σε οποιαδήποτε άλλη θέση του υγρού (σε απόσταση h από την βρεχόμενη πλευρά), λόγω υψομετρικής διαφοράς:

- Ασκείται το βάρος του υπερκείμενου ρευστού: $G = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$
- Λόγω του βάρους αναπτύσσεται υδροστατική πίεση: $p_{\text{υδρ}} = \frac{G}{A} = \rho \cdot h \cdot g$
- Τελικά η στατική πίεση είναι: $p_o = p_o + \rho \cdot h \cdot g$

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε ότι για μια πρώτη εκτίμηση των υδραυλικών συστημάτων η πίεση λόγω υπερκείμενης στήλης υγρού αμελείται και δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ των πιέσεων p και p_o διότι αφενός μεν η στατική πίεση λειτουργίας είναι πολύ μεγάλη και αφετέρου δε οι υψομετρικές διαφορές των υδραυλικών εγκαταστάσεων δεν ξεπερνούν ορισμένα μέτρα. Επίσης, η ταχύτητα του εργαζόμενου μέσου δεν υπερβαίνει τα 6 m/s.

Υδραυλικό πιεστήριο και Διατήρηση της ενέργειας

Το απλό υδραυλικό πιεστήριο εφευρέθηκε από τον Βρετανό μηχανικό Joseph Bramah στις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης. Στην προκειμένη περίπτωση, μπόρεσε να εφαρμόσει στην πράξη τον νόμο του Pascal και να αξιοποιήσει όλες τις δυνατότητες που υπήρχαν από τη θεωρητική αυτή διατύπωση.



Εικόνα 1.5: Συσχέτιση δυνάμεων και μετατοπίσεων ανάλογα με το εμβαδό των εμβόλων στο υδραυλικό πιεστήριο.

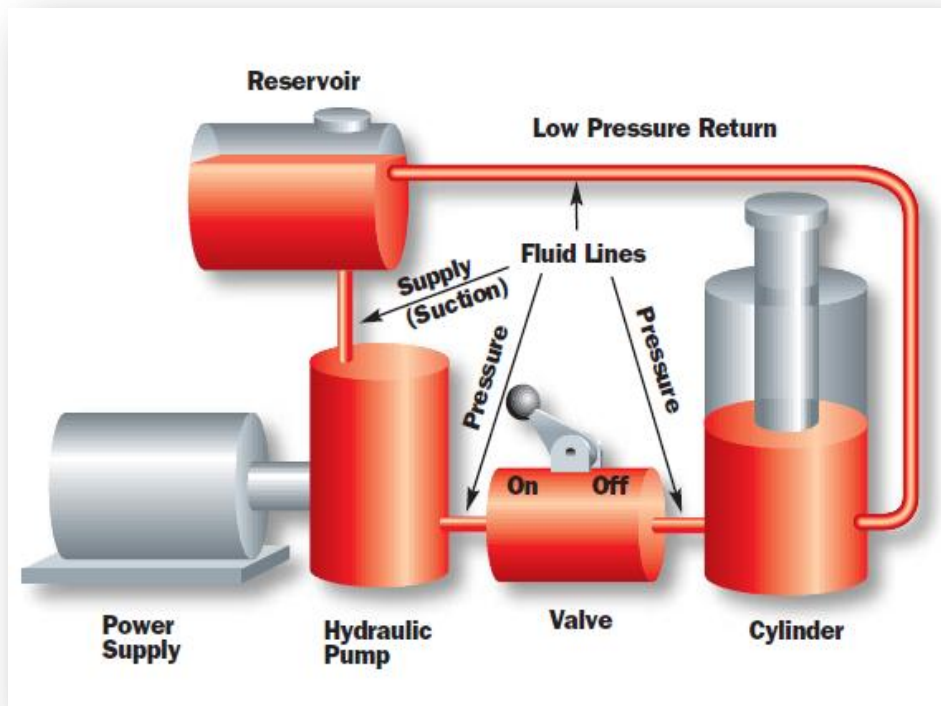
Ο J. Bramah διαπίστωσε ότι αμελούμενων των υδροστατικών πιέσεων, σε ένα κλειστό υδραυλικό κύκλωμα όπως αυτό του σχήματος 1.2, αν εφαρμόσουμε μια δύναμη $F_1 = 1 \text{ N}$ στην επιφάνεια του μικρού εμβόλου, η δύναμη αυτή μπορεί να αντισταθμίσει δύναμη $F_2 = 100 \text{ N}$ στο μεγάλο έμβολο.

Ακόμα, σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας γνωρίζουμε ότι η ενέργεια ούτε καταστρέφεται ούτε δημιουργείται. Έτσι, ο πολλαπλασιασμός της δύναμης που επιτυγχάνεται θυσιάζεται σε απόσταση, καθώς το μεγάλο έμβολο κινείται μόνο από την μετατόπιση του ρευστού που προκαλεί η κίνηση του μικρού εμβόλου. Επομένως οι αποστάσεις που διανύουν τα δυο έμβολα είναι αντιστρόφως ανάλογες. Επίσης,

- Θεωρώντας αμελητέες τις απώλειες των τριβών έχουμε: $W_1 = W_2 \Leftrightarrow F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2$
- Αναλυτικά, προκύπτει από τον νόμο του Pascal: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{h_1}{h_2}$

1.4 Δομικά στοιχεία υδραυλικών συστημάτων

Συχνά τα υδραυλικά συστήματα περιγράφονται από σύνθετα κυκλωματικά σχέδια και παρουσιάζουν περίπλοκη μορφή. Εντούτοις, ο βασικός σχεδιασμός των υδραυλικών συστημάτων είναι αρκετά απλός και πέρα από την πολυπλοκότητα ή την απλότητα του συστήματος που εξετάζουμε, υπάρχουν έξι βασικές κατηγορίες δομικών στοιχείων που απαρτίζουν ένα υδραυλικό κύκλωμα: η αποθήκη του εργαζόμενου μέσου, οι συνδετικοί αγωγοί για τη μεταφορά της υδραυλικής ενέργειας, η υδραυλική αντλία που ενεργοποιεί το ρευστό, ένας ηλεκτρικός κινητήρας για την κίνηση της αντλίας, οι βαλβίδες για τον έλεγχο και την ρύθμιση της πίεσης και της παροχής και ο επενεργητής που μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική κίνηση. Σήμερα που η τεχνολογία των υδραυλικών συστημάτων έχει αναπτυχθεί και οι απαιτήσεις καθαρότητας των επιμέρους εξαρτημάτων έχουν γίνει πιο αυστηρές, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση διατάξεων φιλτραρίσματος. Τα φίλτρα αλλά και πολλές φορές οι εξωτερικές διατάξεις φιλτραρίσματος του εργαζόμενου μέσου αποτελούν πλέον απαραίτητα εξαρτήματα των υδραυλικών συστημάτων.



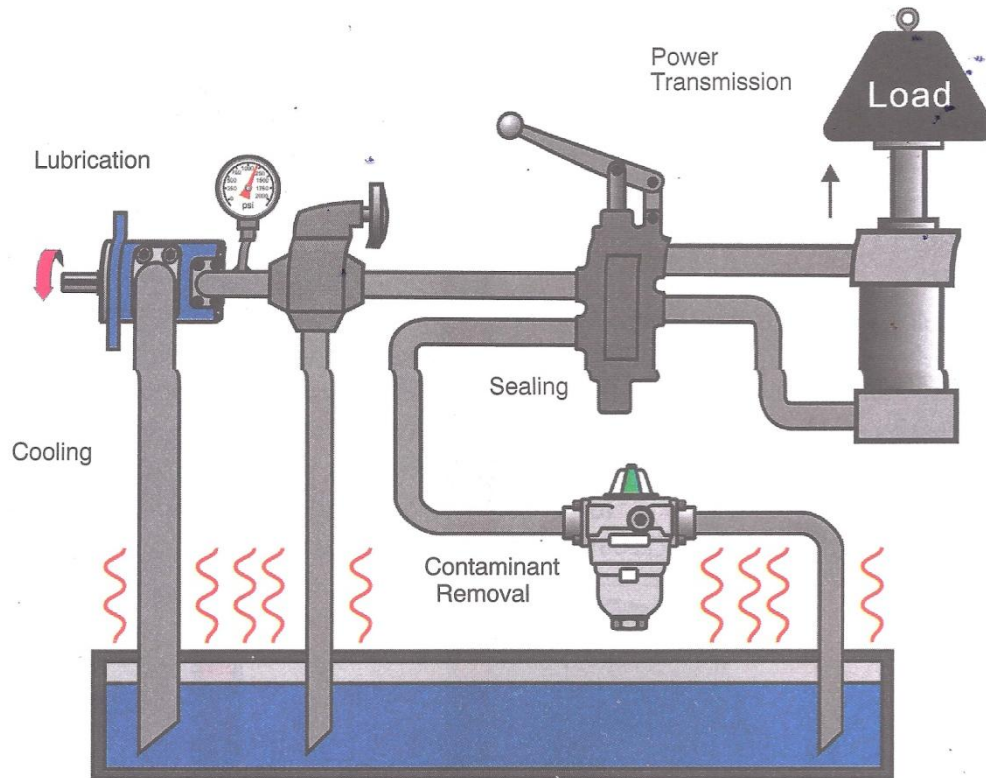
Εικόνα 1.6: Βασική απεικόνιση τυπικού υδραυλικού συστήματος.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα υδραυλικά συστήματα δεν είναι η πηγή της ενέργειας. Η πηγή ενέργειας είναι η αρχική κινητήρια μηχανή, που συνήθως είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας ή μια μηχανή εσωτερικής ενέργειας που οδηγεί την αντλία του υδραυλικού συστήματος.

1.4.1 Υδραυλικό υγρό

Στα υδραυλικά συστήματα ως εργαζόμενο μέσο μεταφοράς της ενέργειας είναι το υδραυλικό υγρό. Πέρα από την μεταφορά ενέργειας τα υδραυλικά υγρά καλούνται να καλύψουν και διάφορες άλλες απαιτήσεις των υδραυλικών εφαρμογών. Αναλυτικά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.2 το ρευστό ενός υδραυλικού συστήματος καλείται:

- Να μεταφέρει ενέργεια
- Να λειτουργεί ως ένας φυσικός εναλλάκτης του συστήματος, διαχέοντας την θερμότητα που αναπτύσσεται στο σύστημα και στα επιμέρους εξαρτήματα διαμέσου της δεξαμενής ή/και ειδικών ψυκτικών συσκευών που μπορεί να υπάρχουν στο σύστημα.
- Να δρα ως λιπαντικό σε περιστρεφόμενες ή σε ολισθαίνουσες επιφάνειες των εξαρτημάτων.
- Να δρα ως στεγανωτικό στις λειτουργικές ανοχές που εμφανίζουν τα εξαρτήματα, ελαχιστοποιώντας τις εσωτερικές διαρροές.
- Να απομακρύνει τους ρυπαντές από το σύστημα μεταφέροντας τους προς τα φίλτρα του κυκλώματος αλλά και προς τη δεξαμενή, όπου και μπορούν να ακινητοποιηθούν από το ρευστό.



Εικόνα 1.7: Βασικές λειτουργίες και ιδιότητες των ρευστών σε ένα υδραυλικό σύστημα.

Εκτός από τις λειτουργίες που αναφέραμε, το υδραυλικό ρευστό που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι πλήρως συμβατό με τα άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στο εκάστοτε υδραυλικό σύστημα, όπως τα υλικά των εδράνων, των στεγανωτικών και των μηχανικών εξαρτημάτων. Επίσης, είναι απαραίτητο να παρουσιάζει τα καλύτερα δυνατά χαρακτηριστικά γήρανσης, ώστε να αποφεύγεται η οξείδωση και να εμφανίζει τον ελάχιστο δυνατό σχηματισμό αφρού, προκειμένου να εξαστεί η προστασία της αντλίας.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδραυλικού ρευστού

Για να μπορέσει ένα υδραυλικό ρευστό να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις ενός συστήματος, θα πρέπει να φέρει τα ανάλογα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η εκλογή κατάλληλου ρευστού εξαρτάται από την εφαρμογή που καλείται να καλύψει το υδραυλικό κύκλωμα. Είναι απίθανο ένας τύπος ρευστού να συνδυάζει όλα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά στον ίδιο βαθμό, γι' αυτό συνήθως δίνουμε προτεραιότητα σε κάποια συγκεκριμένα που εξυπηρετούν κάθε φορά τις ανάγκες του συστήματος. Στη συνέχεια, αναφέρουμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ρευστού που απαιτούνται από τα υδραυλικά συστήματα:

- Ελάχιστη θερμοκρασία ροής (Pour Point)
- Αντίσταση στην οξείδωση
- Παρεμπόδιση χημικής διάβρωσης και δημιουργίας σκουριάς
- Μη αναφλεξιμότητα
- Ικανότητα απογαλακτωματοποίησης, δηλαδή διαχωρισμού του νερού

Συνεκτικότητα

Η κινηματική συνεκτικότητα είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει το ρευστό και εξαρτάται από την σύνθεση του και την θερμοκρασία. Το κατώτερο όριο της κινηματικής συνεκτικότητας καθορίζεται από τις λιπαντικές ιδιότητες του ρευστού και την αντίσταση του στην σπηλαίωση, ενώ η τιμή του ανώτατου ορίου εξαρτάται από τις απαιτήσεις των εξαρτημάτων του υδραυλικού συστήματος. Η κινηματική συνεκτικότητα μετράται συνήθως σε cST (centistokes) και δίνεται από τον τύπο:

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

όπου:

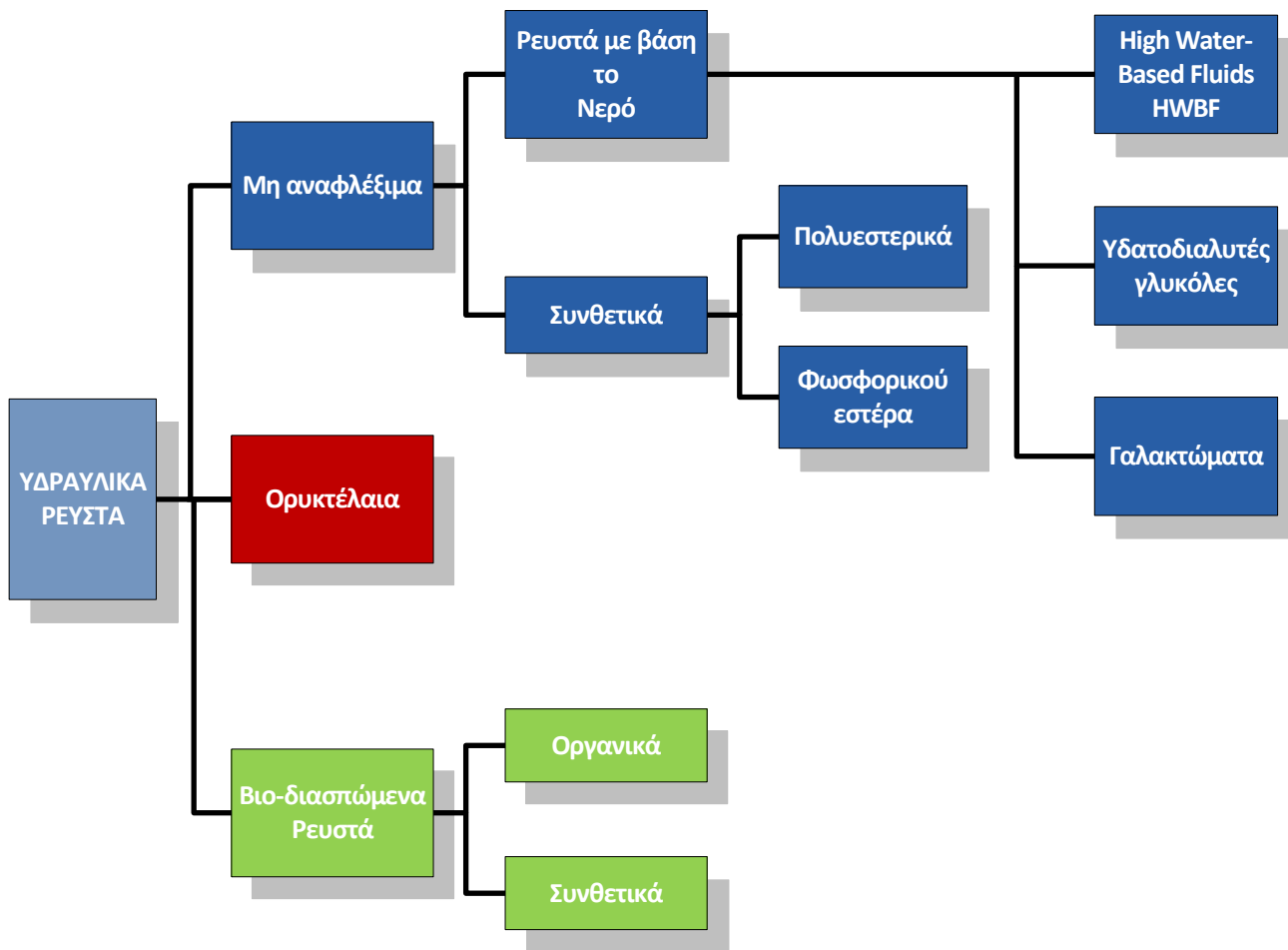
- μ = είναι το δυναμικό ιξώδες ή η απόλυτη συνεκτικότητα του ρέοντος ρευστού (cP).
- ρ = είναι η πυκνότητα του ρευστού (gr/cm^3).

Η κινηματική συνεκτικότητα παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη και τη λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων και τυπικές τιμές της για τα υδραυλικά ρευστά κυμαίνονται σε εύρος 16 - 100 centistokes. Η βέλτιστη τιμή για τη συνεκτικότητα βρίσκεται εντός του εύρους 16 – 36 centistokes. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι το ιξώδες των υδραυλικών υγρών, ειδικά των λαδιών με βάση τα ορυκτέλαια, επηρεάζεται άμεσα και κάποιες φορές δυσμενώς από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Για αυτόν τον λόγο είναι ουσιώδες να γνωρίζουμε και να ελέγχουμε συνεχώς την θερμοκρασία της εκκίνησης και την αντίστοιχη κατά την λειτουργία, διαμορφώνοντας έτσι μια πλήρη εικόνα της θερμοκρασιακής περιοχής χρησιμοποίησης του υδραυλικού υγρού (βλέπε Παράρτημα Β).

Ο καθορισμός του κατάλληλου βαθμού ιξώδους για το ρευστό περιλαμβάνει τον συνυπολογισμό των ακόλουθων αλληλοεξαρτώμενων μεταβλητών:

- Μέγιστη δυνατή αρχική συνεκτικότητα, στη χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Μέγιστη αναμενόμενη και επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, που επηρεάζεται σαφώς από την μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Επιτρεπόμενο και βέλτιστο εύρος κινηματικής συνεκτικότητας για τα δομικά στοιχεία του υδραυλικού συστήματος

Τα υδραυλικά υγρά που χρησιμοποιούνται σήμερα στους υδραυλικούς μηχανισμούς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες: στα ορυκτέλαια, τα βιοδιασπώμενα και τα μη-αναφλέξιμα υγρά.



Διάγραμμα 1.1: Τύποι υδραυλικών ρευστών που χρησιμοποιούνται τυπικά στα υδραυλικά συστήματα.

Γενικά, τα υδραυλικά ρευστά δεν εμφανίζουν ενιαία ταξινόμηση ως προς την ποιότητα και την συνεκτικότητα τους. Πρακτικά, στην αγορά της βιομηχανίας των υδραυλικών συστημάτων και του υδραυλικού εξοπλισμού οι κατασκευαστές καθορίζουν συγκεκριμένες απαιτήσεις και χαρακτηριστικά για το εργαζόμενο μέσο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σήμερα, υπάρχουν τρεις βασικές ταξινομήσεις των υδραυλικών ρευστών ως προς συγκεκριμένες συνθήκες αναφοράς:

Ταξινόμηση κατά ISO VG (Viscosity Grades)

Σύμφωνα με την κωδικοποίηση κατά ISO, καθιερώθηκε ένα συγκεκριμένο σύστημα βαθμονόμησης της συνεκτικότητας των υδραυλικών ρευστών, όπου ο κωδικός αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι πάντα το ISO VG και το δεύτερο μέρος είναι ένας αριθμός που αποτελεί την μέτρηση της κινηματικής συνεκτικότητας σε cSt, σε θερμοκρασία 40°C.

Για παράδειγμα, ο κωδικός ISO VG 46 χαρακτηρίζει ένα υδραυλικό λάδι το οποίο στους 40°C εμφανίζει κινηματική συνεκτικότητα, $\nu=46$ cSt.

Ταξινόμηση κατά SAE

Σύμφωνα με την ταξινόμηση που έχει καθιερωθεί κατά SAE (Society of Automotive Engineers) τα υδραυλικά υγρά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Μονοβάθμια κλάση

Στην κατηγορία αυτή τα ρευστά χαρακτηρίζονται μόνο από ένα αριθμό, όπως 10, 20, 30, 40. Ο αριθμός αυτός υποδεικνύει την βαθμίδα στην οποία ανήκει η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού, μετρούμενη σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός, τόσο πιο μεγάλη είναι και η κινηματική συνεκτικότητα.

Όταν ένα υδραυλικό ρευστό χαρακτηρίζεται χωρίς την προσθήκη του γράμματος "W" (όπως SAE 10, SAE 20), τότε η μέτρηση της κινηματικής συνεκτικότητας έχει πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασία 100°C. Αυτά τα λάδια είναι κατάλληλα για χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Όταν ένα υδραυλικό ρευστό χαρακτηρίζεται με την προσθήκη του γράμματος "W" (όπως SAE 10W, SAE 20W), τότε η μέτρηση της κινηματικής συνεκτικότητας έχει πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασία -18°C. Αυτά τα λάδια είναι κατάλληλα για χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

- Πολυβάθμια κλάση

Η κινηματική συνεκτικότητα αυτών των υδραυλικών λαδιών μπορεί να σταθεροποιηθεί μέσω της χρήσης πολυμερικών πρόσθετων (VI improvers) και προσδιορίζεται για χαμηλές και για υψηλές θερμοκρασίες. Ο κωδικός τους αποτελείται από δυο αριθμούς και την προσθήκη του γράμματος "W" (όπως SAE 5W10, SAE 10W20). Ο πρώτος αριθμός του κωδικού υποδεικνύει την τιμή της κινηματικής συνεκτικότητας σε χαμηλή θερμοκρασία και ο δεύτερος σε υψηλή αντίστοιχα. Αυτά τα υδραυλικά ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος.

Ταξινόμηση κατά DIN

Σύμφωνα με την κωδικοποίηση κατά DIN 51524 – 51525 τα υδραυλικά ρευστά διαιρούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την σύνθεση τους στις τρεις ακόλουθες κλάσεις:

- Υδραυλικό υγρό HL
- Υδραυλικό υγρό HLP
- Υδραυλικό υγρό HV

Ο κωδικός των υδραυλικών υγρών αποτελείται πάντα από το γράμμα "H" και στη συνέχεια ακολουθεί το αρχικό γράμμα των προσθετικών στοιχείων που περιέχει. Ο κωδικός συμπληρώνεται από τον κωδικό για την κινηματική συνεκτικότητα, έτσι όπως ορίζεται από την ταξινόμηση κατά DIN 51517.

DIN 51524 – 51525	
Κωδικός	Ειδικά χαρακτηριστικά
H-L	Αυξημένη προστασία έναντι στη χημική διάβρωση και σταθερότητα γήρανσης
H-LP	Αυξημένη προστασία έναντι στη φθορά
H-V	Βελτιωμένη συμπεριφορά της κινηματικής συνεκτικότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία

Πίνακας 1.2: Κωδικοποίηση κατά DIN 51524 – 51525

Στην κωδικοποίηση κατά DIN γίνεται ξεχωριστή κατηγοριοποίηση μεταξύ των υδατούχων και μη συνθετικών υδραυλικών υγρών. Τα συνθετικά υδραυλικά ρευστά συντίθενται με τέτοιο χημικό τρόπο, ώστε να εμφανίζουν μη αναφλέξιμη συμπεριφορά.

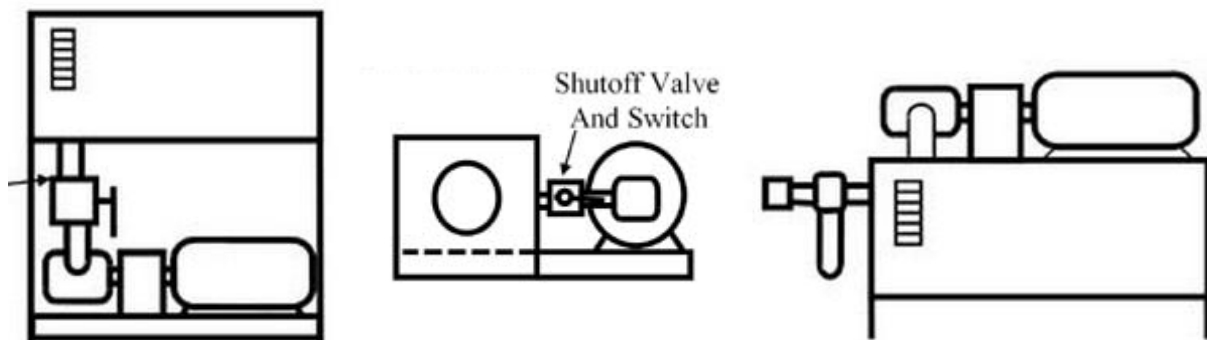
Κωδικοποίηση κατά DIN για υδραυλικά υγρά χαμηλής αναφλεξιμότητας		
Κωδικός	Περιγραφή σύνθεσης	Ποσοστό νερού (%)
HFA	Γαλάκτωμα υδραυλικού υγρού – νερού	από 80 μέχρι 98
HFB	Γαλάκτωμα νερού - υδραυλικού υγρού	40
HFC	Υδατοδιαλυτές πολυμερείς ενώσεις	από 35 μέχρι 55
HFD	Συνθετικά υγρά χωρίς νερό (φωσφορικοί εστέρες)	από 0 μέχρι 0.1

Πίνακας 1.3: Κωδικοποίηση κατά DIN για μη αναφλέξιμα υδραυλικά υγρά

1.4.2 Υδραυλικές δεξαμενές

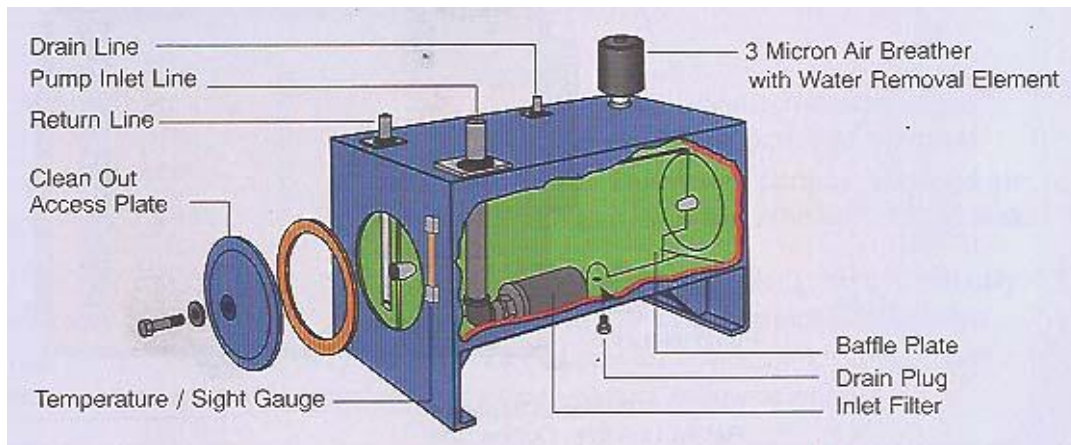
Η αποθήκευση μιας σαφώς καθορισμένης ποσότητας υγρού ρευστού καθώς και η συνεχόμενη επανακυκλοφορία αυτής, όταν το κύκλωμα βρίσκεται σε λειτουργία, αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών συστημάτων. Συνεπώς, απαραίτητο στοιχείο οποιουδήποτε υδραυλικού κυκλώματος είναι η υδραυλική δεξαμενή.

Η δεξαμενή μπορεί να είναι κομμάτι του πλαισίου της υδραυλικής εγκατάστασης ή μια ξεχωριστή, αυτόνομη μονάδα. Σε κάθεμια από τις δυο παραπάνω περιπτώσεις, ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση της δεξαμενής είναι πολύ σημαντικές διαδικασίες.



Εικόνα 1.8: Πιθανά σημεία τοποθέτησης της υδραυλικής δεξαμενής σε μια διάταξη υδραυλικού συστήματος.

Μια τυπική βιομηχανική υδραυλική δεξαμενή κατασκευάζεται από συγκολλημένες πλάκες χάλυβα με προεκτάσεις στις τελικές άκρες που υποστηρίζουν την μονάδα. Το εσωτερικό της δεξαμενής βάφεται με κατάλληλα στεγανωτικά, ώστε να μειωθεί η συσσώρευση συμπυκνωμένης υγρασίας που οδηγεί στην ανάπτυξη σκουριάς. Επίσης, για την διευκόλυνση της συντήρησης τοποθετείται συχνά μια θυρίδα και ένα στόμιο αποστράγγισης στο χαμηλότερο σημείο της δεξαμενής. Ορισμένα ακόμα βασικά στοιχεία των δεξαμενών φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 1.9: Εξαρτήματα τυπικής υδραυλικής δεξαμενής εργαζόμενου μέσου.

Η δεξαμενή εκτός από αποθήκη του εργαζόμενου μέσου παρέχει στο σύστημα και πληθώρα άλλων δυνατοτήτων:

- Επιτρέπει στις φυσαλίδες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας να φτάσουν στην επιφάνεια του ρευστού και να διαλυθούν.
- Λειτουργεί ως φυσικός εναλλάκτης.
- Δημιουργεί συχνά την απαραίτητη διαφορά πίεσης για την αναρρόφηση της αντλίας.
- Χρησιμεύει ως χώρος καθίζησης των συμπαρασυρόμενων ξένων σωματιδίων.
- Αποτελεί μια βολική χωροταξική λύση για την εγκατάσταση της αντλίας, του ηλεκτροκινητήρα αλλά και των βαλβίδων.

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής, εκ πρώτης όψεως, δεν υπόκειται σε κάποια τυποποίηση, όμως λόγω του ετεροχρονισμού μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών σε ένα υδραυλικό κύκλωμα, ιδιαιτέρως εάν φέρει πολλούς επενεργητές, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Η στάθμη του ρευστού στη δεξαμενή θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της, με σκοπό ο αγωγός αναρρόφησης της αντλίας να είναι πάντα βυθισμένος προς αποφυγή αναρρόφησης φυσαλίδων ή δημιουργίας σπηλαιώσεων. Είναι γεγονός ότι η απόδοση ενός καλά σχεδιασμένου υδραυλικού κυκλώματος, μπορεί να μειωθεί αισθητά λόγω αστοχιών στον σχεδιασμό της δεξαμενής αλλά, όπως ήδη αναφέρθηκε, ακόμα και να προκληθούν βλάβες στα εξαρτήματα αυτού.

1.4.3 Συνδεδετικά εξαρτήματα υδραυλικών συστημάτων

Συχνά, ο τρόπος και η μέθοδος σύνδεσης των εξαρτημάτων που αλληλεπιδρούν σε ένα σύστημα παίζει δευτερεύοντα ρόλο στην μελέτη και στην κατασκευή ενός υδραυλικού συστήματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα μη ασφαλές, μέτριας απόδοσης και δύσκολα συντηρούμενο σύστημα. Για την ακρίβεια, η επιλογή των κατάλληλων συνδεδετικών εξαρτημάτων δεν είναι αυθαίρετη και καθορίζεται από κρίσιμες συνιστώσες του υδραυλικού κυκλώματος, όπως είναι η μέγιστη πίεση λειτουργίας.

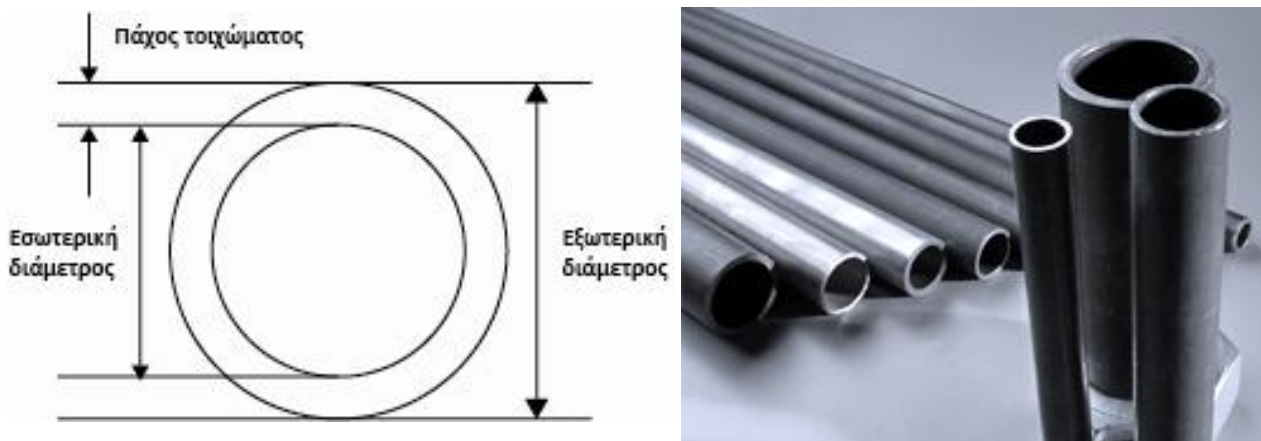
Η σύνδεση των επιμέρους υδραυλικών δομικών στοιχείων και η μεταφορά του εργαζόμενου μέσου σε ένα υδραυλικό κύκλωμα μπορεί να γίνει με τους τρεις τρόπους που ακολουθούν: τους αγωγούς, τους σωλήνες και τους ελαστικούς σωλήνες.

Αγωγοί και σωλήνες

Οι αγωγοί ως άκαμπτα συνδεδετικά στοιχεία δεν προορίζονται για τοποθέτηση μέσω καμπύλωσης ή σχηματισμού μιας επιθυμητής διαμόρφωσης στην υδραυλική εγκατάσταση αλλά τοποθετούνται χωρίς καμία διορθωτική παρέμβαση. Τα υλικά κατασκευής τους μπορεί να είναι ο χάλυβας, ο χαλκός ή ο ορείχαλκος, ενώ αποφεύγονται αγωγοί τύπου γαλβανιζέ διότι η επένδυση από ψευδάργυρο αντιδρά με το λάδι, δημιουργώντας ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Ουσιαστικά, οι αγωγοί χρησιμοποιήθηκαν στην αρχή της εξέλιξης των βιομηχανικών συστημάτων και χρησιμοποιούνται ακόμα λόγω του χαμηλού κόστους. Σταδιακά όμως αντικαθίστανται από σωληνώσεις και εύκαμπτους σωλήνες.

Από την άλλη πλευρά οι σωλήνες ως εύκαμπτα συνδεδετικά στοιχεία μπορούν να υποστούν κάμψη με ειδικές συσκευές και να προσαρμοστούν στην υδραυλική εγκατάσταση με τον επιθυμητό τρόπο. Βέβαια υπάρχουν περιορισμοί και κανονισμοί που θα πρέπει να ακολουθούνται, όπως το γεγονός ότι η ελάχιστη ακτίνα του τόξου ενός σωλήνα που υπόκειται σε λυγισμό εξαρτάται από τη διάμετρο αυτού.

Η χρήση των σωληνώσεων στα υδραυλικά συστήματα προσφέρει μια κομψότερη εμφάνιση στην εγκατάσταση, οδηγεί σε ένα λιγότερο ευπαθές σύστημα ως προς τις πιθανές διαρροές και τους κραδασμούς και μεγαλύτερη ευελιξία στα πλαίσια της συντήρησης. Στα υλικά κατασκευής των σωληνών συμπεριλαμβάνονται ο χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας, το αλουμίνιο, ο ορείχαλκος και το πλαστικό. Κατά κύριο λόγο, στα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται μεταλλικοί σωλήνες ακριβείας, χωρίς ραφές κατασκευασμένοι από χάλυβα, με ελκυσμό εν ψυχρώ. Βασικά χαρακτηριστικά της διαστασιολόγησης των σωληνώσεων, όπως σε όλα τα σωληνοειδή εξαρτήματα ροής, είναι η εξωτερική διάμετρος, η εσωτερική διάμετρος και το πάχος του τοιχώματος. Η εσωτερική διάμετρος επιλέγεται με βάση την παροχή του εργαζόμενου μέσου στο υπό σχεδίαση κύκλωμα και το πάχος του τοιχώματος καθορίζει την μέγιστη πίεση λειτουργίας της σωληνώσεως για οποιαδήποτε εσωτερική διάμετρο. Το μέγεθος του σωλήνα τυποποιείται με βάση την ονομαστική εξωτερική του διάμετρο.

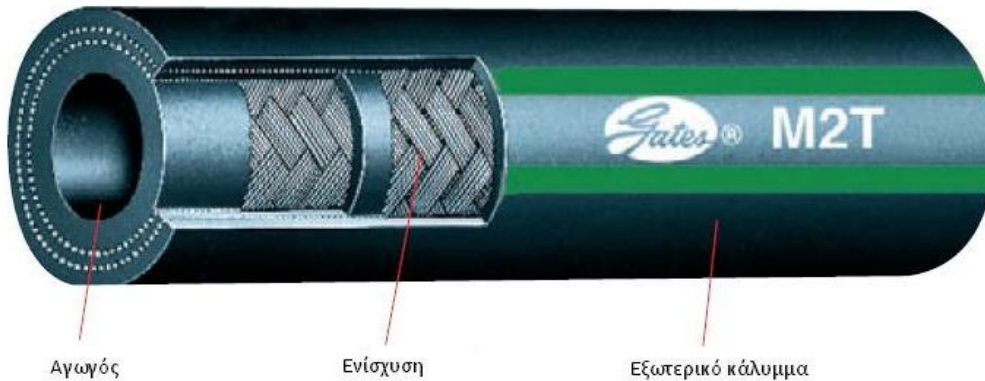


Εικόνα 1.10: Χαρακτηριστικά μεγέθη σωληνώσεων.

Ελαστικοί σωλήνες

Οι ελαστικοί σωλήνες είναι εύκαμπτοι αγωγοί του υδραυλικού υγρού που συνήθως προσαρμόζονται ανάμεσα σε υδραυλικά στοιχεία του κυκλώματος τα οποία κινούνται το ένα προς το άλλο. Είναι κατασκευασμένοι από τρία βασικά στοιχεία: τον εσωτερικό σωλήνα, την ενίσχυση και το κάλυμμα. Το εσωτερικό μέρος του σωλήνα είναι η επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο γι' αυτό και είναι απαραίτητο το υλικό κατασκευής του να είναι συμβατό με αυτό. Στη συνέχεια, ενισχύεται περιμετρικά είτε με φυσικές ίνες, ή με συνθετικό ή μεταλλικό πλέγμα και καλύπτεται με το τελικό εξωτερικό περίβλημα, που προσφέρει προστασία από την μηχανική φθορά και τον ήλιο. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η

αντοχή στις υψηλές, εσωτερικές πιέσεις και στις εξωτερικές δυνάμεις. Βασικό προτέρημα τους έναντι των άλλων σωληνώσεων αποτελεί η ικανότητα τους να απορροφούν τους τυχόν κραδασμούς που μπορεί να δημιουργηθούν, αλλά και το γεγονός ότι αντέχουν τους συνεχόμενους παλμούς των υδραυλικών αντλιών.



Εικόνα 1.11: Εσωτερική διαμόρφωση κατασκευής εύκαμπτου, ελαστικού σωλήνα (Gates & Tomkins Ltd).

Κατά την τοποθέτηση τους, πρέπει να προβλεφθούν μεγάλες ακτίνες κάμψης και χώρος για τις κινήσεις τους.

Συνδετικά εξαρτήματα σωληνώσεων

Επίσης, σημαντικό στοιχείο για την διασύνδεση πολλαπλών σωληνώσεων αλλά και για την σύνδεση των άκρων των σωληνώσεων με τα επιμέρους υδραυλικά εξαρτήματα είναι ο τρόπος σύνδεσης τους. Απαιτείται η κατάλληλη ποιότητα ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η στεγανότητα. Οι διαμορφώσεις των σπειρωμάτων για την σύνδεση είναι δύο τύπων: αρσενικού (εξωτερικό σπείρωμα) και θηλυκού (εσωτερικό σπείρωμα). Στην βιομηχανία σήμερα πλέον όλα τα άκρα των σωληνώσεων έχουν τυποποιηθεί και σήμερα διατίθενται τρεις τύποι υδραυλικών στεγανώσεων:

- Κοχλιωτές συναρμογές, με επαφή μετάλλου με μέταλλο (κατά NPTF, NPSM)
- Συναρμογές mated angle, με επαφή μετάλλου με μέταλλο (κατά SAE 45°, SAE 37°)
- Στεγάνωση με "O"-ring, με επαφή ελαστικού με μέταλλο



Εικόνα 1.12: Διαμορφώσεις κοχλιωτών συνδέσεων.

1.4.4 Υδραυλικές αντλίες

Οι υδραυλικές αντλίες μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε υδραυλική (υδραυλική υποδύναμη) ωθώντας το ρευστό σε ένα κύκλωμα. Παρότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι αντλιών που ποικίλλουν ως προς τις μεθόδους σχεδιασμού και τις κατασκευαστικές ιδιομορφίες, όλες οι αντλίες εργάζονται βασισμένες στο ίδιο αξίωμα λειτουργίας.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας της υδραυλικής αντλίας εκτελούνται δυο λειτουργίες. Αρχικά, η μηχανική δράση δημιουργεί ένα κενό στην αναρρόφηση της αντλίας που με τη σειρά του αναγκάζει το ρευστό να κινηθεί από την δεξαμενή προς το σωλήνα αναρρόφησης εξαιτίας της διαφοράς πίεσης. Στη συνέχεια, η μηχανική κίνηση της αντλίας μεταφέρει το ρευστό στην έξοδο της αντλίας και κατόπιν στο υδραυλικό κύκλωμα, δημιουργώντας αδιαχώρητο στην κατάθλιψη.

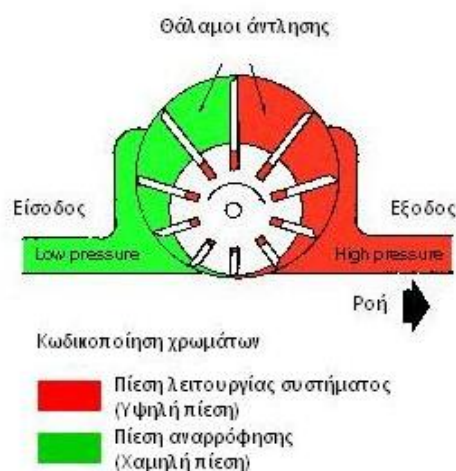
Η αντλία προκαλεί την κίνηση του ρευστού, όμως δεν δημιουργεί πίεση. Η πίεση είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης αντίστασης στην ροή του συστήματος.

Ανάλογα με τον σχεδιασμό, οι αντλίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις δύο ακόλουθες περιπτώσεις, στις αντλίες θετικής μετατόπισης και στις αντλίες μη θετικής μετατόπισης.

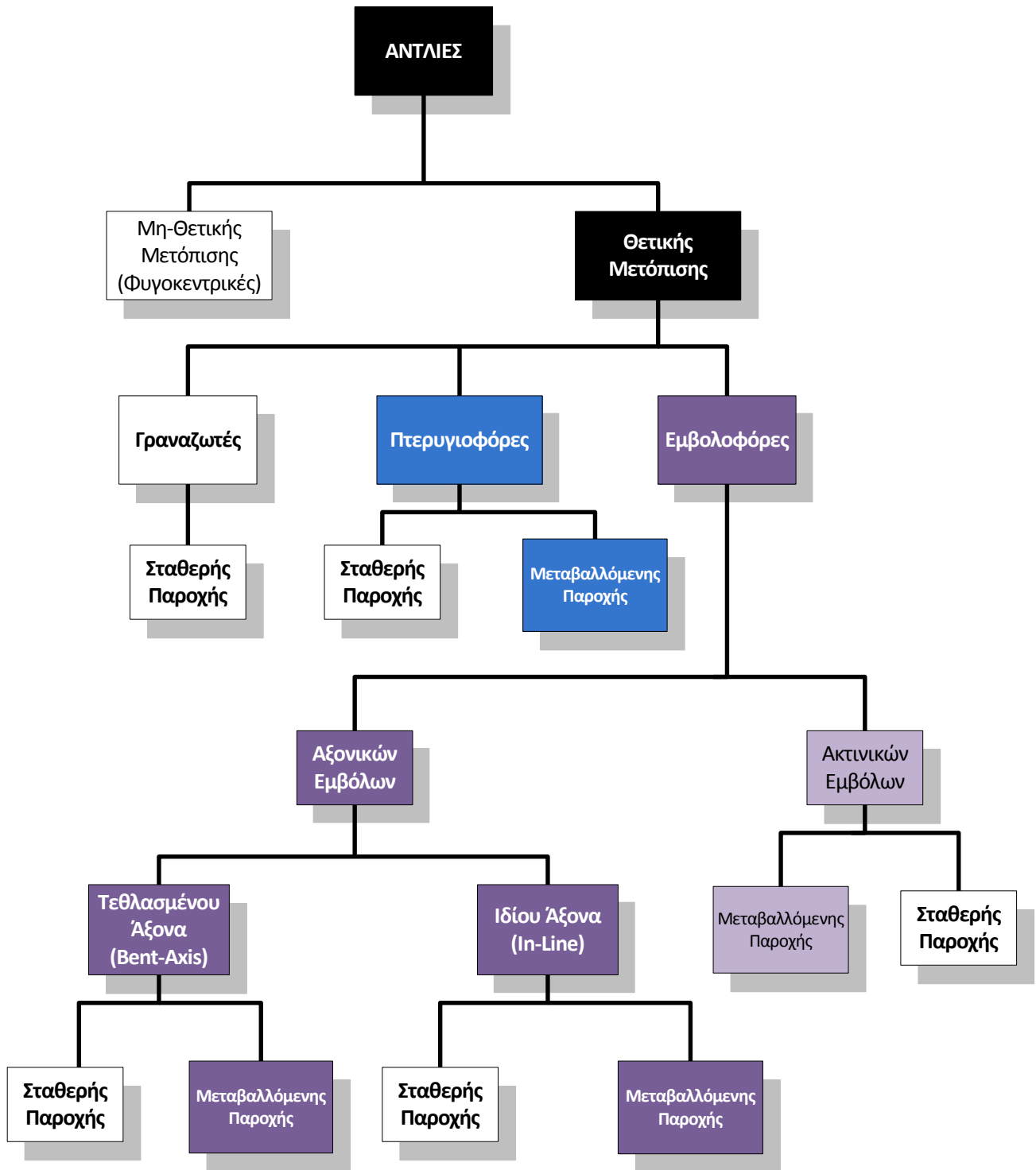
Παραδείγματα αντλιών μη θετικής μετατόπισης είναι οι φυγοκεντρικές αντλίες, όμως η επικρατούσα τεχνολογία στα βιομηχανικά υδραυλικά συστήματα είναι αυτή της θετικής μετατόπισης. Η υπεροχή τους βασίστηκε κυρίως στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά της απόδοσης αυτών των αντλιών μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα στις απαιτήσεις της βιομηχανίας και στο σχετικά χαμηλό κόστος συντήρησης και επισκευής που εμφανίζουν.

Αντλίες θετικής μετατόπισης

Οι αντλίες θετικής μετατόπισης διοχετεύουν στο σύστημα λειτουργίας ένα καθορισμένο και υπολογίσιμο όγκο ρευστού, ανεξαρτήτως της αντίστασης ροής που μπορεί να εμφανίζει το κύκλωμα. Η παροχή όγκου της αντλίας εξαρτάται άμεσα από τις στροφές λειτουργίας αυτής. Συγκεκριμένα οι αντλίες αυτού του τύπου δημιουργούν έναν αυξανόμενο όγκο στην πλευρά αναρρόφησης της κινούμενης μονάδας και αντίστοιχα έναν μειούμενο όγκο στην πλευρά της κατάθλιψης. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται στην περιοχή αναρρόφησης και σταδιακά καταθλίβεται, καθώς ο όγκος μειώνεται. Σε περίπτωση φραγής της παροχής εξόδου της αντλίας προκαλείται σοβαρή βλάβη είτε στην κινητήρια μηχανή που οδηγεί την αντλία είτε θραύση κάποιου εξάρτηματος. Γι' αυτόν τον λόγο στα κυκλώματα όπου συνδέονται αντλίες θετικής μετατόπισης απαιτείται η ύπαρξη ανακουφιστικής βαλβίδας ή κάποιου τύπου ρυθμιστής πίεσης.



Εικόνα 1.13: Τομή αντλίας θετικής μετατόπισης.



Διάγραμμα 1.2: Κατηγοριοποίηση αντλιών.

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των μεγεθών που χαρακτηρίζουν τις αντλίες θετικής μετατόπισης και ένας πίνακας επεξήγησης των συχνά χρησιμοποιούμενων συμβολισμών:

- Η μέγιστη πίεση συνεχούς λειτουργίας, P_{max} : είναι η μέγιστη πίεση στην οποία επιτρέπεται η αντλία να εργάζεται συνεχώς χωρίς να επιβαρύνεται η διάρκεια ζωής της.
- Ειδική παροχή, q_v : είναι ο παρεχόμενος όγκος ρευστού ανά περιστροφή της αντλίας.

- Εκτόπισμα, V_p : η ικανότητα άντλησης μιας αντλίας εκφράζεται ως ο διακινούμενος όγκος ρευστού ανά περιστροφή της αντλίας ή πιο απλά ως παροχή όγκου στην έξοδο της αντλίας σε lt/min. Θεωρούμε ως εκτόπισμα της αντλίας τον όγκο του ρευστού που διοχετεύεται από την αναρρόφηση της αντλίας στην κατάθλιψη σε μια περιστροφή. Ουσιαστικά αποτελεί ένα μέγεθος μέτρησης της θεωρητικής παροχής της αντλίας ανά rad περιστροφής. Ισούται με το γινόμενο του αριθμού των θαλάμων άντλησης που περνούν από την κατάθλιψη επί τον όγκο καθενός και μετράται σε cm^3/rev . Το μέγεθος V_p είναι καθαρά γεωμετρικό εξαρτάται σαφώς από το μέγεθος και το είδος της αντλίας και παίζει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό των άλλων μεγεθών του συστήματος.
- Αποδιδόμενη θεωρητική παροχή, $Q_{p,th}$: μια αντλία εκτιμάμε συνήθως ότι εργάζεται ως μονάδα που αποδίδει μια συγκεκριμένη ονομαστική παροχή στο κύκλωμα. Για παράδειγμα, εάν θεωρήσουμε ότι μια αντλία αποδίδει 10 lt/min, υπάρχει η πιθανότητα να μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερη παροχή από αυτήν σε καταστάσεις εν κενώ λειτουργίας, αλλά και λιγότερο από αυτήν στην πραγματική πίεση λειτουργίας του κυκλώματος. Οι περισσότεροι κατασκευαστές παρέχουν πληροφορίες σε μορφή πινάκων ή γραφημάτων όπου παρουσιάζονται μετρήσεις αναφορικά με τις θεωρητικές παροχές, τις απαιτήσεις υποδύναμης, τις ταχύτητες περιστροφής και τις πιέσεις κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Ο υπολογισμός της θεωρητικής παροχής δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$Q_{p,th} = \frac{V_p \cdot n}{1000}$$

- Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης, n_Q : θεωρητικά μια αντλία μπορεί να διοχετεύσει στο σύστημα παροχή όγκου ίση με το εκτόπισμα του ρευστού ανά κύκλο εργασίας. Στην πραγματικότητα, η πραγματική παροχή εξόδου της αντλίας μειώνεται λόγω των εσωτερικών διαρροών και των απαιτήσεων για εσωτερική λίπανση των επιμέρους συνιστωσών της. Καθώς η πίεση αυξάνεται, οι διάφορες διαρροές και οι απαιτήσεις λίπανσης αυξάνονται, προκαλώντας μείωση της παροχής όγκου στην έξοδο. Η ογκομετρική απόδοση δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$n_Q = \frac{Q_{p,πρ}}{Q_{p,th}}$$

- Μηχανικός και ολικός βαθμός απόδοσης: δεδομένου ότι οι αντλίες περιλαμβάνουν επιφάνειες που ολισθαίνουν και περιστρεφόμενες συνιστώσες που προκαλούν τριβή και αύξηση της θερμοκρασίας, το σύστημα μας έχει μηχανικές απώλειες. Επίσης, πρόσθετη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από την τύρβη και την τριβή που προκαλείται από το ρευστό που αντλείται. Ο συνδυασμός των μηχανικών απωλειών με τις ογκομετρικές απώλειες οδηγούν στην απόδοση μειωμένης υδραυλικής ενέργειας στο σύστημα σε σύγκριση με την μηχανική ενέργεια που αποδίδεται στην αντλία από την κινητήρια μηχανή. Ο μηχανικός και ο ολικός βαθμός απόδοσης δίνονται από τις ακόλουθες εκφράσεις αντίστοιχα:

$$N_{p,th} \quad n_m = \frac{N_{p,th}}{N_K} \quad \text{και} \quad n_{ολ} = n_Q n_m = \frac{N_p}{N_K}$$

Πίνακας Συμβόλων

Σύμβολο	Περιγραφή συμβολισμών	Μονάδα Μέτρησης
ω	Γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα και της αντλίας	rad
n	Ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και της αντλίας	rpm
δp	Διαφορά πίεσης από την κατάθλιψη έως την αναρρόφηση	bar
N_p	Πραγματική, αποδιδόμενη ισχύς από την αντλία	kW
$N_{p,th}$	Θεωρητική, αποδιδόμενη ισχύς από την αντλία	kW
N_K	Καταναλισκόμενη ισχύς από τον κινητήρα για την κίνηση της αντλίας	kW
$Q_{p,πρ}$	Αποδιδόμενη παροχή της αντλίας	lt/min
$Q_{p,th}$	Θεωρητική παροχή της αντλίας	lt/min

Πίνακας 1.4: Πίνακας βασικών συμβόλων για την ποσοτικοποίηση των μεγεθών στις υδραυλικές αντλίες.

1.4.5 Υδραυλικές βαλβίδες

Οι βαλβίδες είναι μηχανολογικές συσκευές που αποτελούνται από το σώμα (κέλυφος), που φέρει εσωτερικά κυλινδρικούς θαλάμους και διόδους μέσα από τα οποία το υδραυλικό ρευστό μπορεί να κινείται. Επίσης, μέσα στο κέλυφος, φέρουν ένα εσωτερικό κινούμενο εξάρτημα (spool), του οποίου η κίνηση καθορίζει τη ροή του ρευστού, ανοίγοντας ή κλείνοντας τις διάφορες διόδους. Με την συνδυαστική αυτή κίνηση όλων των συνιστωσών, πέρα από την κατεύθυνση του ρευστού, επηρεάζονται η παροχή αλλά και η πίεση αυτού. Η ενεργοποίηση της βαλβίδας μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους και συγκεκριμένα χειροκίνητα, ηλεκτρικά, πνευματικά αλλά και υδραυλικά.

Η ταξινόμηση των υδραυλικών βαλβίδων μπορεί να γίνει στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες: στις βαλβίδες ρύθμισης της ροής, στις βαλβίδες ρύθμισης της παροχής και στις βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης.

Βαλβίδες ρύθμισης της παροχής

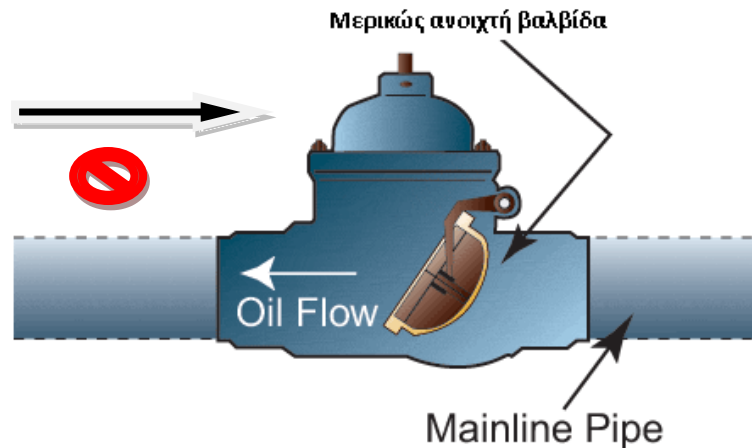
Οι βαλβίδες ρύθμισης της παροχής χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της παροχής του εργαζόμενου μέσου, μέσω στραγγαλισμού. Με αυτόν τον έλεγχο επιτυγχάνουμε και την ρύθμιση της ταχύτητας του επενεργητή (βλέπε Κεφάλαιο 4.4.4). Ως βαλβίδες ρύθμισης της παροχής μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι βαλβίδες αντεπιστροφής που αναλύονται ακολούθως.

Βαλβίδες ρύθμισης της κατεύθυνσης της ροής

Οι βαλβίδες ρύθμισης της κατεύθυνσης της ροής χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση, την ακινητοποίηση και την αντιστροφή των επενεργητών ενός υδραυλικού συστήματος. Ως προς το κατασκευαστικό κομμάτι, φέρουν στο εσωτερικό του κελύφους τους ένα εσωτερικό κινούμενο εξάρτημα (spool), του οποίου η κίνηση καθορίζει τη ροή του ρευστού, ανοίγοντας ή κλείνοντας τις διάφορες διόδους που έχουν διαμορφωθεί στο κέλυφος.

Το πιο απλό παράδειγμα για αυτήν την κατηγορία βαλβίδων αποτελεί η βαλβίδα αντεπιστροφής, η οποία επιτρέπει την ροή του ρευστού μόνο προς την μια πλευρά, ανάλογα με την φορά τοποθέτησης της.

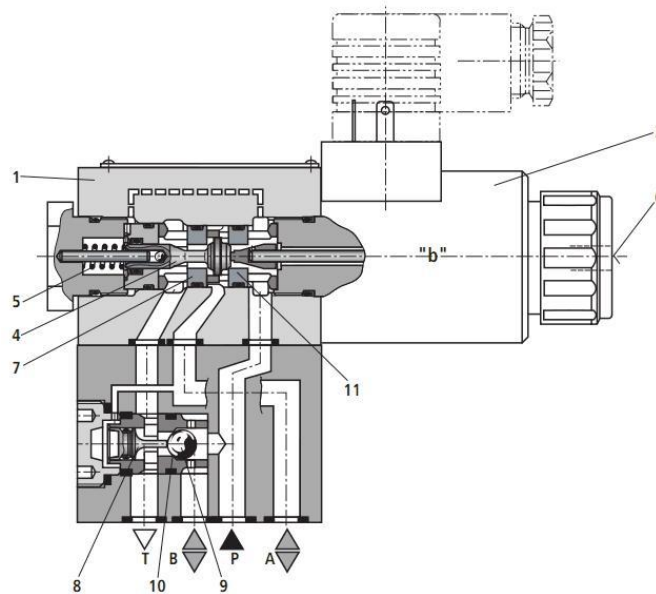
Με αυτήν την βαλβίδα μπορούμε να δημιουργήσουμε στο κύκλωμα διατάξεις by-pass, όπου το ρευστό διέρχεται από συγκεκριμένες διαδρομές, μόνο όταν απαιτείται.



Εικόνα 1.14: Ροή υδραυλικού ρευστού διαμέσου αντεπίστροφης βαλβίδας.

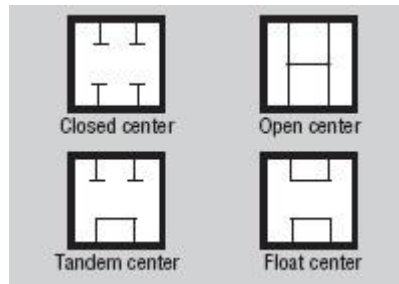
Γενικά, οι βαλβίδες αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζονται από τον αριθμό των διόδων που φέρουν και τον αριθμό των θέσεων λειτουργίας που μπορεί να πάρει το ολισθαίνον έμβολο. Στα μονογραμμικά διαγράμματα παριστάνονται με διαδοχικά τετράγωνα που αντιστοιχούν στις θέσεις λειτουργίας και μέσα σε αυτά υπάρχουν τόξα που συμβολίζουν την δυνατή κατεύθυνση του ρευστού.

Οι θύρες της βαλβίδας συμβολίζονται πάντα με τα γράμματα P,T,A,B και ανάλογα με την κατασκευαστική διαμόρφωση της βαλβίδας οι θύρες P,T ενώνονται με τις θύρες A,B ή B,A αντίστοιχα. Η τιμή της πτώσης της πίεσης για κάθε διαδρομή δίνονται πάντα από τον κατασκευαστή σε μορφή διαγράμματος συναρτήσεως της παροχής λειτουργίας.



Εικόνα 1.15: Βαλβίδα κατεύθυνσης ροής 4/2 (Rexroth-Bosch Group).

Σε βαλβίδες 3 θέσεων, πέρα από την παρουσία των δυο ακραίων θέσεων που εξασφαλίζουν την εκτέλεση έργου, συνήθως απαιτείται και μια κεντρική θέση ηρεμίας από τις ανάγκες του συστήματος. Υπάρχουν διάφοροι σχεδιασμοί της κεντρικής θέσης μιας βαλβίδας 4/3, οι οποίοι μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα κέλυφος βαλβίδας με τη χρησιμοποίηση διαφορετικών εμβολών. Οι κυριότεροι μεταξύ αυτών παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.16:

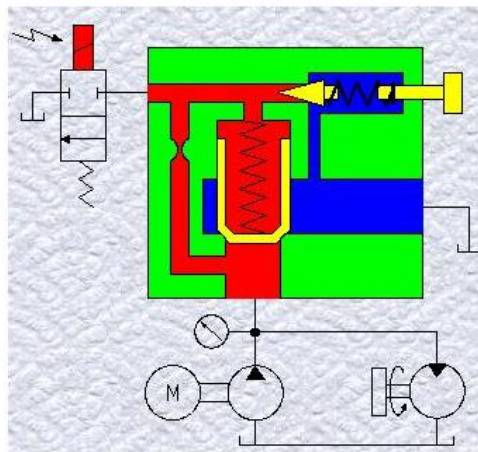


Εικόνα 1.16: Συνήθεις σχεδιασμοί κεντρικής θέσης για βαλβίδες κατεύθυνσης ροής.

Βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης

Οι βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση ή τον περιορισμό της ισχύος που μεταφέρεται στο υδραυλικό κύκλωμα. Συνήθως, λειτουργούν ως βαλβίδες κλειστής θέσης και ενεργοποιούνται μέσω μίας πίεσης εντολής που δημιουργείται από εσωτερική ροή υδραυλικού ρευστού και μπορεί να ρυθμιστεί.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας βαλβίδας αποτελεί η βαλβίδα ανακούφισης (ασφαλιστικό), η οποία σε οποιοδήποτε υδραυλικό σύστημα έχει συνδεδεμένη την είσοδο της στην κατάθλιψη της αντλίας και την έξοδο της στην δεξαμενή. Αποτελεί απαραίτητη συνιστώσα κάθε υδραυλικού συστήματος για την ασφάλεια λειτουργίας του.



Εικόνα 1.17: Λειτουργία ανακουφιστικής βαλβίδας.

Επίσης, οι βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα κύκλωμα ως:

- Βαλβίδα διαδοχικών δράσεων, η οποία αναγκάζει κάποια λειτουργία να συμβεί πριν από κάποια άλλη.
- Βαλβίδα αντισταθμίσης εξωτερικών δυνάμεων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξισορρόπηση μιας εξωτερικής δύναμης, ενός βάρους ή μιας ροπής.
- Βαλβίδα πέδησης, η οποία χρησιμοποιείται στη γραμμή επιστροφής για να εμποδίσει την ανεξέλεγκτη αύξηση των στροφών του κινητήρα, όταν το φορτίο επιταχύνεται ή για να εμποδίσει την ανεξέλεγκτη αύξηση της πίεσης, όταν το φορτίο επιβραδύνεται ή ακινητοποιείται.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στα σύγχρονα υδραυλικά συστήματα και ιδιαίτερα σε εφαρμογές αυτομάτου ελέγχου, όπου απαιτείται ταχεία και ακριβής απόκριση χρησιμοποιούνται μηχανικές και

ηλεκτροϋδραυλικές σερβοβαλβίδες, ηλεκτροαναλογικές βαλβίδες και ένθετες βαλβίδες, οι οποίες παρουσιάζουν πιο σύνθετη δομή και εμφανίζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

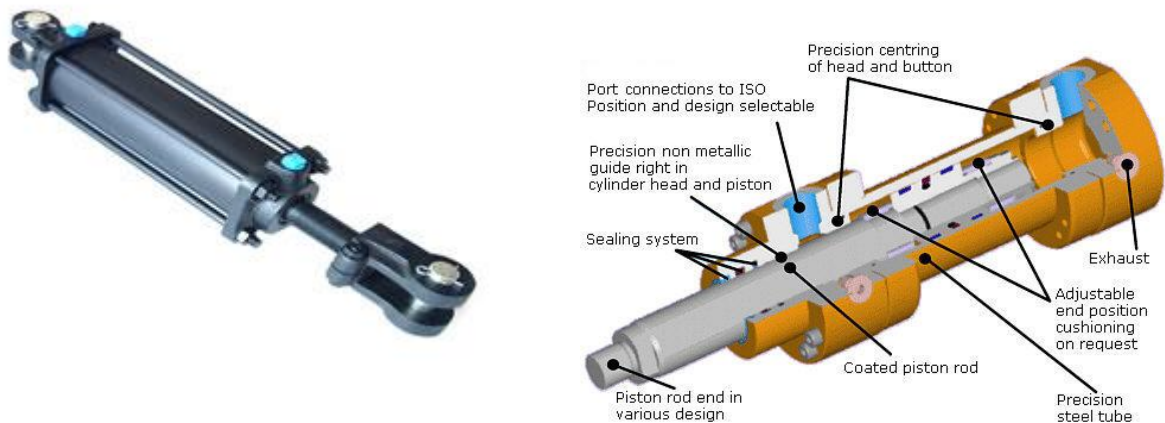
1.4.6 Υδραυλικοί επενεργητές

Με τον γενικό όρο επενεργητής αναφερόμαστε στις συσκευές εξόδου έργου και ισχύος των υδραυλικών συστημάτων. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει οι υδραυλικοί κινητήρες και οι υδραυλικοί κύλινδροι αποτελούν τις δυο ευρείες κατηγορίες των υδραυλικών επενεργητών. Έτσι, ενώ οι κινητήρες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά περιστροφικής κίνησης, οι υδραυλικοί κύλινδροι μετατρέπουν υδραυλική σε μηχανική ενέργεια μέσω της ευθύγραμμης κίνησης.

1.4.6.1 Υδραυλικοί κύλινδροι

Οι υδραυλικοί κύλινδροι είναι γραμμικοί επενεργητές, δηλαδή η έξοδος αυτών είναι μια ευθύγραμμη κίνηση ή/και δύναμη.

Ένας υδραυλικός κύλινδρος αποτελείται από ένα κυλινδρικό κέλυφος, ένα έμβολο και το βάκτρο. Το κέλυφος είναι ένας κοίλος κύλινδρος, εντός του οποίου μπορεί να κινείται το έμβολο που χωρίζει το εσωτερικό του κυλίνδρου σε δυο μέρη. Το έμβολο συνδέεται μέσω βάκτρου είτε προς τη μια πλευρά είτε προς τις δυο πλευρές του με τις θέσεις εργασίας. Διακρίνονται, επίσης, τα δυο τέρματα του κυλίνδρου, αυτό της κεφαλής και εκείνο του βάκτρου και τέλος ο οδηγός του βάκτρου. Λόγω των υψηλών πιέσεων λειτουργίας, τα τοιχώματα των εμβόλων, οι στερεώσεις και η έδραση του βάκτρου κατασκευάζονται με επιπλέον ενισχύσεις και κατάλληλους δακτυλίους, ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη στεγανότητα.



Εικόνα 1.18: Παραδείγματα υδραυλικών κυλίνδρων.

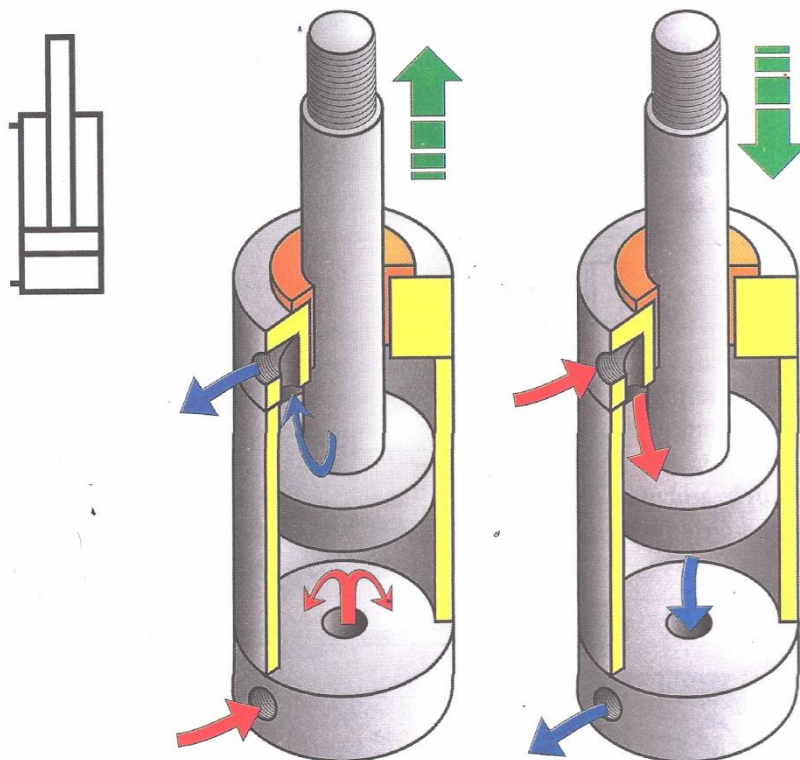
Στα βασικότερα χαρακτηριστικά και μεγέθη λειτουργίας των υδραυλικών κυλίνδρων κατατάσσονται τα ακόλουθα:

- Η διάμετρος του εμβόλου και η διάμετρος του βάκτρου.
- Η μέγιστη πίεση λειτουργίας, που μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς αστοχίες και τηρώντας τους κανόνες ασφαλείας μέσα στον κύλινδρο.
- Η μέγιστη ταχύτητα του εμβόλου.

- Η μέγιστη διαδρομή του εμβόλου, δηλαδή η απόσταση που μπορεί να διανύσει το έμβολο μέσα στον κύλινδρο, που παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία.

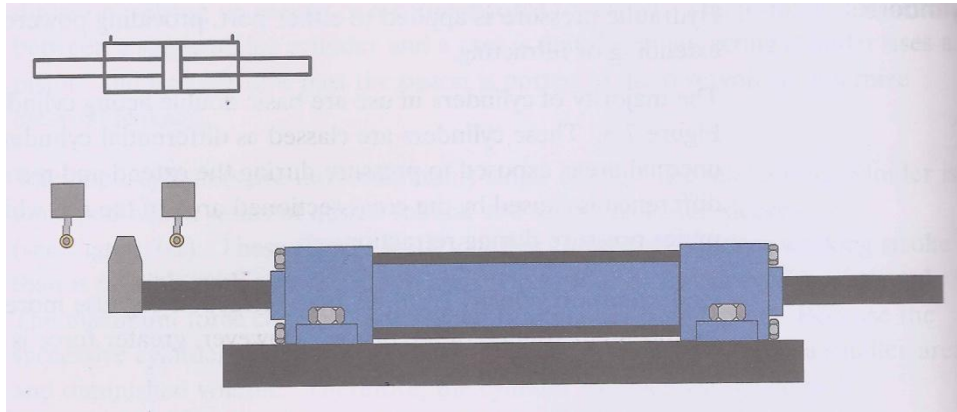
Οι υδραυλικοί κύλινδροι χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

- Οι κύλινδροι απλής ενέργειας, στους οποίους η υδραυλική πίεση ασκείται στο έμβολο μόνο προς τη μια κατεύθυνση. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται από την δίοδο στον μοναδικό θάλαμο που υπάρχει στο εσωτερικό του κυλίνδρου και σπρώχνει το έμβολο, προκαλώντας έκταση προς τα έξω. Για να πραγματοποιηθεί η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή να επιστρέψει το έμβολο προς τα μέσα, πρέπει να γίνει επιστροφή του υδραυλικού υγρού στην δεξαμενή.
- Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας, στους οποίους η υδραυλική πίεση μπορεί να εφαρμοστεί επί του εμβόλου από την μία ή την άλλη πλευρά παρέχουν στο κύκλωμα συνεχή κίνηση τροφοδοσίας, και κατά την έκταση του εμβόλου αλλά και κατά την επιστροφή του. Η πλειοψηφία των κυλίνδρων που χρησιμοποιούνται ακολουθούν τον βασικό σχεδιασμό που φαίνεται στην Εικόνα 1.22.



Εικόνα 1.19: Εσωτερική διαμόρφωση τυπικού κυλίνδρου διπλής ενέργειας και το αντίστοιχο κυκλωματικό σύμβολο.

Επίσης, οι κύλινδροι διπλής ενέργειας διαχωρίζονται επιπλέον στην κατηγορία των διαφορικών κυλίνδρων, αφού η διατομή της πλευράς του εμβόλου που φέρει το βάκτρο είναι μικρότερη, δημιουργώντας δυο άνισες περιοχές που εκτίθενται στην υδραυλική πίεση. Από την άλλη, οι κύλινδροι με δυο βάκτρα αποτελούν παραδείγματα μη-διαφορικών κυλίνδρων. Οι δυο πλευρές εκατέρωθεν του εμβόλου είναι ακριβώς όμοιες, οπότε παρέχουν στο κύκλωμα ίδιες δυνάμεις και ίδια ταχύτητα, προς τις δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 1.20: Υδραυλικός κύλινδρος διπλού βάκτρου.

1.4.6.2 Υδραυλικοί κινητήρες

Οι υδραυλικοί κινητήρες μετατρέπουν την υδραυλική σε μηχανική ισχύ, η οποία εφαρμόζεται σε ένα αντιτιθέμενο αντικείμενο μέσω άτρακτου, γι' αυτό και μπορούν εναλλακτικά να βρεθούν στην βιβλιογραφία με τον όρο περιστροφικοί επενεργητές. Η περιστροφική ή στροφική ικανότητα ενός κινητήρα ονομάζεται ροπή και υποδηλώνει ότι υπάρχει μια εφαρμοζόμενη δύναμη σε κάποια απόσταση από τον άξονα του κινητήρα. Η θεωρητική στρεπτική ροπή στην άτρακτο μιας εργομηχανής δίνεται από τον τύπο:

$$M_{d,m,th} [\text{kp} \cdot \text{cm}] = 71.620 \cdot \frac{N_{m,th} [\text{PS}]}{n_m [\text{rpm}]}$$

Η ροπή δημιουργείται από οποιοδήποτε αντικείμενο, πιθανότατα κομμάτι κάποιας εργομηχανής, που είναι συνδεδεμένο με τον άξονα του κινητήρα και παρουσιάζει ανθιστάμενες δυνάμεις προς αυτόν. Σε αυτό το σημείο, η υδραυλική πίεση που δρα στον μηχανισμό λειτουργίας του κινητήρα υπερνικά την αντίσταση που δημιουργείται και προσφέρει το τελικό έργο.

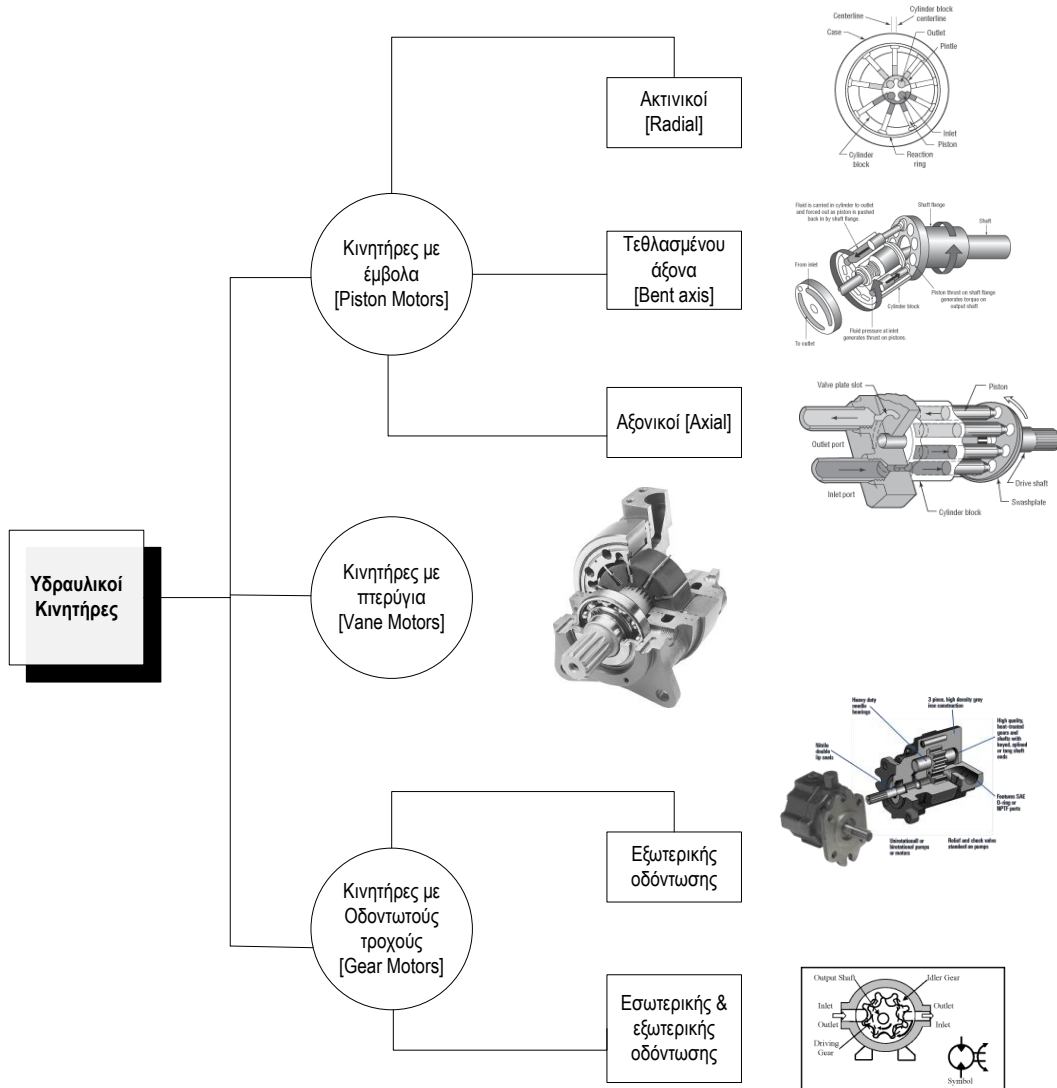
Οι κινητήρες παρουσιάζουν κατασκευαστικές ομοιότητες με τις αντλίες. Όμως, σε αντίθεση με αυτές, που δίνουν ώθηση στο ρευστό, οι κινητήρες δρουν αντίστροφα, παίρνοντας ώθηση από το ρευστό έτσι ώστε να αναπτύξουν στρεπτική ροπή και συνεχή περιστροφική κίνηση ως δομικά στοιχεία εξόδου ενός υδραυλικού συστήματος.

Η κοινή αρχή λειτουργίας σε όλους τους κινητήρες είναι ότι το ρευστό υπό πίεση δρα επί των κατάλληλων στοιχείων δημιουργώντας μια περιφερειακή δύναμη, η οποία και δίνει τελικά την κινητήρια στρεπτική ροπή στην άτρακτο του κινητήρα.

Οι υδραυλικοί κινητήρες αξιολογούνται και χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Την ειδική παροχή ή τον κυβισμό [cm^3/rev], δηλαδή την ποσότητα του ρευστού που απαιτείται ανά περιστροφή.
- Την στρεπτική ροπή [Nm] που αποδίδει ο κινητήρας.
- Την στρεπτική ροπή κατά την εκκίνηση [Nm] που δύναται να αναπτύξει ο κινητήρας, έτσι ώστε να είναι γνωστό ποια είναι η μέγιστη δυνατή ροπή που μπορεί να αναπτυχθεί στην έναρξη της κίνησης, όταν ο μηχανισμός βρίσκεται σε ηρεμία.

- Τον αριθμό στροφών [rpm] του κινητήρα, που εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο του κινητήρα.
- Τις ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές των πιέσεων [bar], δηλαδή την διαφορά πίεσης που απαιτείται από τον κινητήρα.
- Τον μηχανικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα, με τον οποίο μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες ροπής λόγω της επίδρασης των εσωτερικών τριβών.
- Τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα, με τον οποίο μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες ταχύτητας και παροχής λόγω της επίδρασης των εσωτερικών διαρροών.



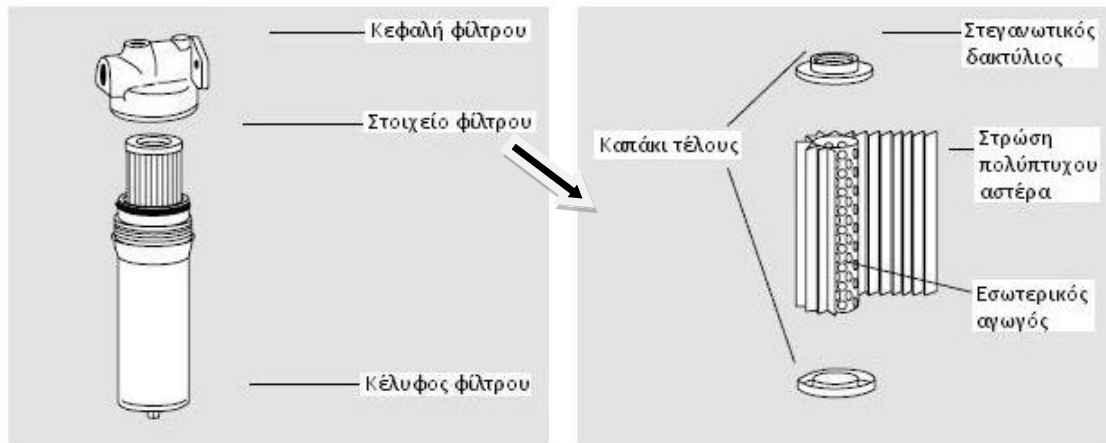
Διάγραμμα 1.3: Κατηγοριοποίηση υδραυλικών κινητήρων.

Επίσης, οι υδραυλικοί κινητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την εφαρμογή τους στην βιομηχανία ως ακολούθως:

- Υψηλής ταχύτητας, Χαμηλής ροπής κινητήρες (HSLT)
- Χαμηλής ταχύτητας, Υψηλής ροπής κινητήρες (LSHT)
- Περιορισμένης περιστροφής κινητήρες (Torque Actuators)

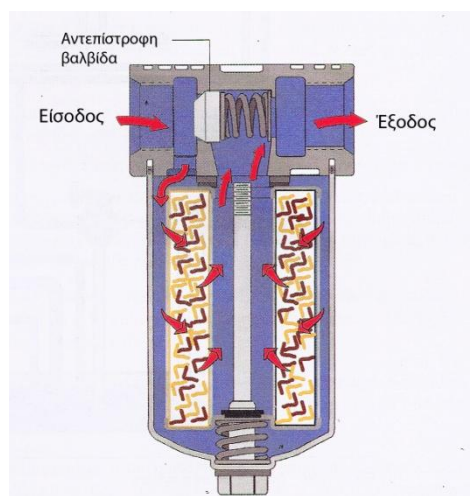
1.4.7 Βιομηχανικά φίλτρα

Σήμερα, λαμβάνοντας υπόψη την σημασία της εξασφάλισης ενός καθαρού εργαζόμενου μέσου (βλέπε Κεφάλαιο 3.4.2) τα συστήματα φιλτραρίσματος υψηλής απόδοσης έχουν καταστεί απαραίτητο κομμάτι των σύγχρονων, βιομηχανικών υδραυλικών συστημάτων. Αφενός μόν, προστατεύουν τις συνιστώσες του συστήματος που εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία στην ρύπανση, αφετέρου δε, συνεισφέρουν στην ανάγκη συνεχούς διατήρησης του εργαζόμενου μέσου τόσο καθαρού όσο απαιτεί το σύνολο των συνιστωσών του συστήματος με δύο τρόπους: (1) μειώνοντας τους στερεούς ρυπαντές που υπάρχουν στο κύκλωμα και (2) εμποδίζοντας την εισαγωγή νέων. Τελικά, τα φίλτρα, ενσωματώνοντας αυτές τις λειτουργίες, διασφαλίζουν την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα όλου του συστήματος.



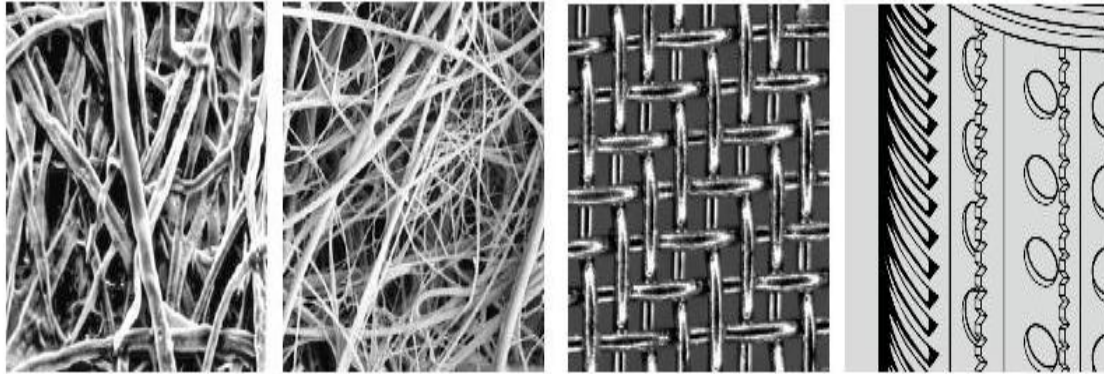
Εικόνα 1.21: Κατασκευαστική διαμόρφωση τυπικού βιομηχανικού φίλτρου (MAHLE Industriefiltration).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.2, βασικό τμήμα των φίλτρων είναι η σταθερή διάταξη του κελύφους. Το κέλυφος είναι ένα δοχείο πίεσης, κυλινδρικής μορφής που φέρει στο εσωτερικό του το στοιχείο φιλτραρίσματος. Συνήθως αποτελείται από ένα ή περισσότερα συναρμολογούμενα κομμάτια, όπως το καπάκι κεφαλής. Επίσης φέρει θύρα εισόδου και εξόδου που δίνει την δυνατότητα στο εργαζόμενο μέσο να εισέρχεται και να εξέρχεται αντίστοιχα. Πολλές φορές δίνεται η επιλογή από τους κατασκευαστές να συνδιάζεται η διάταξη του κελύφους με αντεπίστροφες βαλβίδες, που ενεργοποιούνται σε περίπτωση έμφραξης του φίλτρου και επιτρέπεται η ελεύθερη ροή του ρευστού αλλά και με ηλεκτρονικούς δείκτες που εμφανίζουν την κατάσταση του φίλτρου.



Εικόνα 1.22: Τομή φίλτρου με αντεπίστροφη βαλβίδα.

Τα στοιχεία φίλτραρίσματος συχνά κατασκευάζονται από συρμάτινο πλέγμα, ύφασμα, χαρτί εμποτισμένο με εποξειδικές ρητίνες και στρώματα λεπτών ινών ανόργανου υλικού ή ακόμα και συνδιασμό αυτών σε πολυστρωματικές διατάξεις.



Εικόνα 1.23: Υλικά κατασκευής των στοιχείων των φίλτρων: λεπτές ίνες γυαλιού, χαρτί εμποτισμένο με κυτταρίνη, μεταλλικό πλέγμα, μεταλλικές εγκοπές (MAHLE Industriefiltration).

Η αξιολόγηση της ικανότητας ενός φίλτρου γίνεται από τους περισσότερους κατασκευαστές με βάση την τυποποίηση που καθιερώθηκε κατά ISO 16889:1999. Ουσιαστικά, τα στοιχεία των φίλτρων αξιολογούνται με βάση την ικανότητα τους να φιλτράρουν σωματίδια-ρυπαντές συγκεκριμένων μεγεθών κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας (Multipass test procedure). Το αποτέλεσμα αυτών των ελέγχων εκφράζεται με το ακόλουθο μέγεθος:

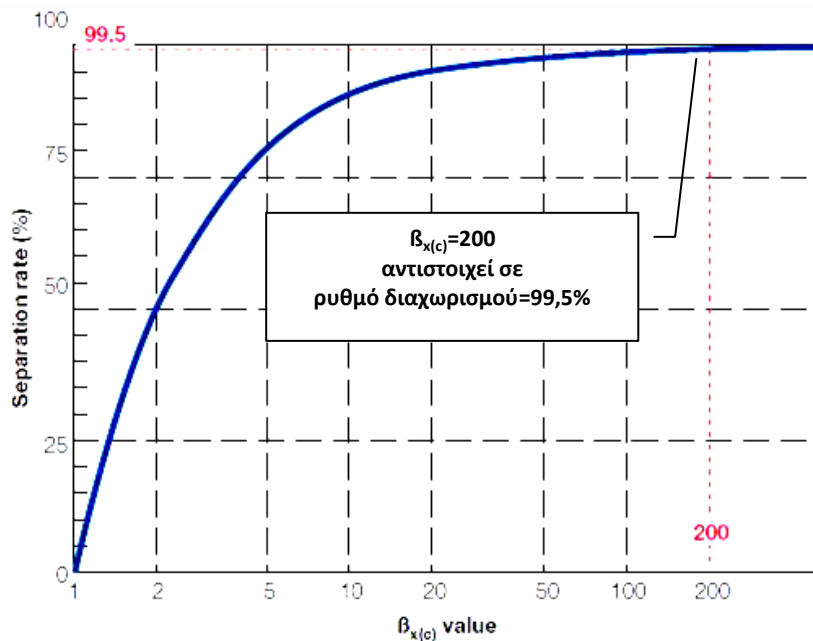
$$\beta_{x(c)} = \frac{\text{Αριθμός σωματιδίων } > x(c)\mu\text{m πριν το φίλτρο}}{\text{Αριθμός σωματιδίων } > x(c)\mu\text{m μετά το φίλτρο}}$$

όπου:

- $x(c)$ = είναι ένα συγκεκριμένο μέγεθος σωματιδίων-ρυπαντών.

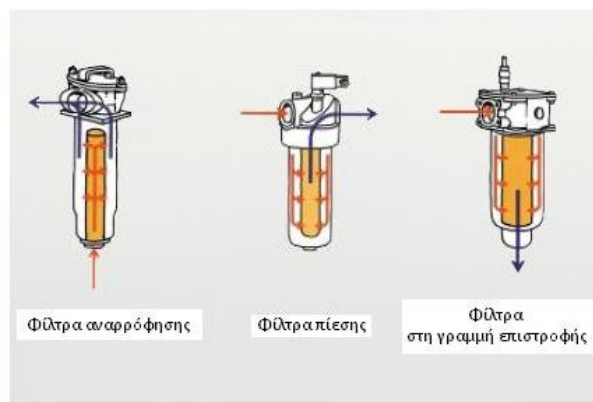
Η τιμή του συντελεστή βήτα ($\beta_{x(c)}$) αποτελεί το μέτρο αποδοτικότητας ενός φίλτρου και θα πρέπει πάντα να συνοδεύεται με την τιμή της σχετικής διαφοράς πίεσης, στην οποία πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Τέλος, ορίζεται ο ρυθμός διαχωρισμού σε ποσοστιαία μορφή με τον οποίο μπορεί να γίνει μια καλύτερη αξιοποίηση του συντελεστή βήτα και να διευκολυνθεί η συγκριτική αξιολόγηση φίλτρων:

$$\epsilon_{x(c)} = \frac{\beta_{x(c)} - 1}{\beta_{x(c)}}$$



Διάγραμμα 1.4: Γραφική αναπαράσταση συντελεστή βήτα-ρυθμού διαχωρισμού.

Η βασική κατηγοριοποίηση των φίλτρων γίνεται με βάση το σημείο τοποθέτησης τους στο υδραυλικό κύκλωμα. Καθοριστικοί παράγοντες για την σωστή επιλογή είναι η πίεση λειτουργίας της γραμμής και η ικανότητα φίλτρου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τρεις δυνατότητες που υπάρχουν:



Εικόνα 1.24: Ροή του υδραυλικού ρευστού διαμέσου των βιομηχανικών φίλτρων.

Φίλτρα αναρρόφησης

Η τοποθέτηση ενός φίλτρου στην αναρρόφηση εγγυάται την απομάκρυνση των ρύπων πριν το υδραυλικό υγρό αρχίσει να κυκλοφορεί στο κύκλωμα. Συνήθως, τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται για την προστασία της αντλίας από ρυπαντές μεγάλου μεγέθους που μπορεί να οδηγήσουν σε ακαριαία αστοχία της αντλίας. Ωστόσο, παρότι, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φίλτρων αναρρόφησης έχουν χαμηλή αντίσταση ροής, δημιουργείται μια πτώση πίεσης στο πιο ευαίσθητο σημείο του κυκλώματος, δηλαδή στο σημείο όπου η πίεση είναι σχεδόν ίση με την ατμοσφαιρική. Ακόμα και η εγκατάσταση του φίλτρου ακριβώς ανάντι της αντλίας παρουσιάζει φυσικούς περιορισμούς, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αποφυγή πρόκλησης σπηλαίωσης σε περίπτωση έμφραξης του φίλτρου. Συγκεκριμένα, η πίεση στην αναρρόφηση δεν πρέπει να είναι μικρότερη της 0,8 bar, δηλαδή να μην δημιουργείται κενό πέραν του 0,2 bar.

Τα φίλτρα αναρρόφησης μπορούν να τοποθετηθούν με δύο τρόπους:

- Εμβαπτισμένα στην δεξαμενή του υδραυλικού υγρού, συμπεριλαμβάνοντας μια κλειστή βαλβίδα για την εγκατάσταση τους κάτω από την στάθμη του υγρού.
- Προσαρμογή στην γραμμή αναρρόφησης, εξωτερικά της δεξαμενής.

Συνήθως, είναι προτιμότερη η εγκατάσταση του φίλτρου εξωτερικά της δεξαμενής, αν και είναι ακριβότερη, καθώς εξασφαλίζει την ασφαλή και ταχεία συντήρησή του.

Φίλτρα πίεσης

Η τοποθέτηση των φίλτρων μπορεί να γίνει είτε απευθείας κατάντι της αντλίας (κατάθλιψη) και της βαλβίδας ανακούφισης είτε σε οποιοδήποτε άλλο σημείο της γραμμής πίεσης και συγκεκριμένα ανάντι του εξαρτήματος που θέλουμε να προστατέψουμε από την ρύπανση. Δεδομένου ότι η αντλία δημιουργεί την μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων-ρυπαντών λόγω μηχανικής φθοράς, αλλά και ότι τα φίλτρα της γραμμής πίεσης μπορούν λειτουργήσουν σε μεγάλο εύρος πιέσεων (χαμηλή, μεσαία και υψηλή πίεση), τα φίλτρα αυτού του είδους βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση έναντι των φίλτρων αναρρόφησης. Τα φίλτρα πίεσης κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αντέχουν την μέγιστη πίεση λειτουργίας του υδραυλικού κυκλώματος, χωρίς να δημιουργούν απώλειες από διαρροές προς το περιβάλλον.

Φίλτρα στην γραμμή επιστροφής

Η τοποθέτηση φίλτρου στην γραμμή επιστροφής εξασφαλίζει ότι το υδραυλικό ρευστό εισέρχεται στην δεξαμενή καθαρό. Ειδικά, όταν το μεγαλύτερο μέρος της επιστροφής του εργαζόμενου μέσου συγκεντρώνεται σε ένα μόνο σωλήνα, τότε είναι σύμφερουσα η τοποθέτηση του φίλτρου στη γραμμή επιστροφής. Κατά την επιλογή αυτού του φίλτρου, η διαστασιολόγηση θα πρέπει να γίνεται με βάση την μέγιστη δυνατή παροχή του συστήματος, που είναι συνήθως μεγαλύτερη από την παροχή της αντλίας.

Τα φίλτρα επιστροφής μπορούν να τοποθετηθούν με δύο τρόπους:

- Εγκατάσταση στο τέλος της γραμμής επιστροφής.
- Εγκατάσταση μέσα στην δεξαμενή, όπου η κεφαλή του φίλτρου τοποθετείται στο κάλυμμα της δεξαμενής και το υπόλοιπο σώμα βρίσκεται στο εσωτερικό της.

Ειδικά στην περίπτωση τοποθέτησης του φίλτρου στην δεξαμενή θα πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει ότι η έξοδος του φίλτρου βρίσκεται συνεχώς κάτω από τη στάθμη του ρευστού στην δεξαμενή σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων στο ρευστό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Με το πέρασμα της δεκαετίας του 1990, πολλές βιομηχανίες έστρεψαν το ενδιαφέρον τους στην βελτιστοποίηση του ενεργητικού κεφαλαίου τους. Στην πραγματικότητα αυτή η αλλαγή του προσανατολισμού των στόχων των εταιρειών συμπεριλαμβάνει όλα τα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν την οντότητα μιας εταιρείας και επιδρούν στην αποδοτικότητα του δυναμικού κεφαλαίου της.

Διαπιστώθηκε ότι το τμήμα μιας επιχείρησης που ευθύνεται για τη συντήρηση των εγκαταστάσεων επιδρά σημαντικά στην απόδοση του κεφαλαίου. Ενώ παλαιότερα οι διοικήσεις πολλών βιομηχανιών πίστευαν ότι «Η συντήρηση είναι το αναγκαίο κακό» ή ότι «Δεν μπορεί να γίνει τίποτα για τη μείωση των εξόδων της συντήρησης», η φιλοσοφία πλέον έχει αλλάξει. Οι εταιρείες και οι διοικήσεις άρχισαν να αναγνωρίζουν ότι αξίζει να επενδύουν χρόνο και χρήμα για να αλλάξουν τις πρακτικές συντήρησης με σκοπό την βελτίωση της αξιοπιστίας των εγκαταστάσεων τους.

Σήμερα, είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα κόστη της συντήρησης αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι των συνολικών λειτουργικών κοστών των παραγωγικών ή κατασκευαστικών βιομηχανικών μονάδων. Συγκεκριμένα, ανάλογα με τον κλάδο δραστηριοποίησης της μονάδας, τα κόστη συντήρησης μπορούν να ανέλθουν σε ποσοστά της τάξης από 15% μέχρι και 40% του συνολικού κόστους παραγωγής. Για παράδειγμα, στον κλάδο των τροφίμων το μέσο κόστος συντήρησης αντιπροσωπεύει το 15% του συνολικού κόστους παραγωγής, ενώ στην βιομηχανία του μετάλλου, του χάλυβα, του χαρτιού και γενικότερα στην αποκαλούμενη ως βαριά βιομηχανία ανέρχεται στο 40%.

Η αναποτελεσματική διαχείριση της συντήρησης αυξάνει το κόστος παραγωγής και επηρεάζει δραματικά την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων μειώνοντας την ανταγωνιστικότητα τους στην αγορά.

Μέχρι και σήμερα, ένα μεγάλο ποσοστό εταιρειών δεν έχει μπορέσει να αποκτήσει πλήρη έλεγχο και σωστή εποπτεία στον τομέα της συντήρησης. Οι δυο βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτό είναι η αδυναμία (1) εγκατάστασης των κατάλληλων συστημάτων ελέγχου για τη συντήρηση και (2) λήψης των απαραίτητων μετρήσεων που θα οδηγήσουν σε ποσοτικοποίηση των πραγματικών αναγκών και των απαιτούμενων παρεμβάσεων για τη διόρθωση ή τη συντήρηση των μηχανών, του εξοπλισμού και των συστημάτων. Σε πολλές περιπτώσεις ο προγραμματισμός των εργασιών συντήρησης εξακολουθεί να βασίζεται (όπως συνέβαινε και παλαιότερα) σε στατιστικές κατανομές ή στην λειτουργία μέχρι την εμφάνιση αστοχίας του εξοπλισμού.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των μικροεπεξεργασιών και η ευρεία εισαγωγή στην αγορά μετρητικών διατάξεων που συνδέονται απευθείας με ηλεκτρονικούς υπολογιστές έδωσαν την δυνατότητα της συνεχούς παρακολούθησης των συνθηκών λειτουργίας του εξοπλισμού, των μηχανών και των συστημάτων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ευκολότερα ο προγραμματισμός και ο έλεγχος της τεχνικής συντήρησης εξασφαλίζοντας μείωση ή ακόμα και εξάλειψη των περιττών επισκευών, αποφυγή καταστροφικών αστοχιών των μηχανών και φυσικά μείωση της αρνητικής επίδρασης στην κερδοφορία της βιομηχανίας.

Η επιλογή ενός κατάλληλου και ευέλικτου προγράμματος συντήρησης εξασφαλίζει τον πλήρη έλεγχο και την σωστή λειτουργία των πόρων μιας βιομηχανίας και αποτελεί κομβικό σημείο της στρατηγικής και της πολιτικής κάθε βιομηχανικής μονάδας.

Τέλος, θα πρέπει να τονίσουμε ότι πέρα από τους καθαρά οικονομικούς λόγους που επιβάλλουν σε μια επιχείρηση να επιλέξει ένα κατάλληλο σύστημα συντήρησης, ο κυριότερος παράγοντας είναι αυτός της εξασφάλισης της ασφαλούς λειτουργίας κάθε βιομηχανικής μονάδας. Θα πρέπει να κατανοήσουμε ότι με

τον όρο αξιοπιστία μιας βιομηχανικής μονάδας και του συνόλου των διαδικασιών που ενσωματώνονται σε αυτήν αναφερόμαστε στην εξασφάλιση:

- Της ασφάλειας και υγιεινής του εργαζόμενου δυναμικού, και
- Της προστασίας του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από τα κυριότερα βιομηχανικά ατυχήματα που έχουν σημειωθεί μέχρι σήμερα, συχνά η αποφυγή διαδικασιών συντήρησης λόγω υψηλού κόστους, οι εκπτώσεις στην ποιότητα των απαιτούμενων πρώτων υλών, η μη συμμόρφωση των εταιρειών με τους διεθνείς κανονισμούς για την ασφάλεια των εργαζομένων και για τον μηχανολογικό εξοπλισμό και οι λανθασμένες εκτιμήσεις του κύκλου ζωής διαφόρων εξαρτημάτων ήταν οι κύριες αιτίες που οδήγησαν σε αυτά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ατυχημάτων και των τραγικών διαστάσεων που λαμβάνουν αποτελούν αυτό της διαρροής τοξικών αερίων που συνέβει στην πόλη Bhopal της Ινδίας (1984) με 2.700 νεκρούς και περίπου 10 φορές περισσότερους τραυματίες καθώς και αυτό της διαρροής πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού στις ΗΠΑ (2010) με 11 νεκρούς και άγνωστο μέχρι σήμερα όγκο πετρελαίου που διέφυγε στον ωκεανό.

2.2 Διαχείριση της συντήρησης

Η Διοίκηση Συντήρησης ή διαφορετικά Διαχείριση του Ενεργητικού, συχνά συναντάται στην αγγλοσαξωνική βιβλιογραφία ως Asset Management ή Maintenance Management. Έτσι, καλείται η διαδικασία διαχείρισης των στοιχείων του συνόλου του ενεργητικού από μια εταιρεία, προκειμένου να επιτευχθεί η ανώτερη δυνατή απόδοση τους. Με την χρήση του όρου ενεργητικό ονομάζουμε τα πιθανά μελλοντικά οικονομικά οφέλη από υλικά (μηχανολογικός εξοπλισμός, κτηριακές εγκαταστάσεις) ή άυλα (δικαιώματα ευρεσιτεχνίας, φήμη) πράγματα, που αποκτώνται ή ελέγχονται από μια συγκεκριμένη επιχειρηματική οντότητα, σαν αποτέλεσμα προηγούμενων οικονομικών συναλλαγών ή γεγονότων.

Με τον σαφή ορισμό του όρου διοίκηση της συντήρησης καθίσταται φανερό ότι αναφερόμαστε σε μια ολιστική προσέγγιση των διαδικασιών της παραγωγής και της συντήρησης, όπου γίνεται μια προσπάθεια συνεχούς βελτίωσης.

Η διοίκηση της συντήρησης συμπεριλαμβάνει τις φιλοσοφίες προγραμματισμού και λειτουργίας στις οποίες βασίζονται οι περισσότερες, δημοφιλείς τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες σήμερα. Αναφέρουμε χαρακτηριστικά τις ακόλουθες:

- Προβλεπτική συντήρηση (PM)
- Αυτοματοποιημένα Συστήματα Διαχείρισης Συντήρησης (CMMS)
- Διαπροσωπική και Τεχνική Εκπαίδευση
- Προγνωστική συντήρηση (PDM)
- Συντήρηση ακριβείας/Συντήρηση με Βάση την Αξιοπιστία (RCM)
- Ολική Παραγωγική Συντήρηση (TPM)
- Συστήματα εντολών εργασίας (Work order systems)
- Operational involvement
- Συνεχής Βελτίωση

Κάθε μια από τις ανωτέρω πρωτοβουλίες και μεθόδους αποτελεί ένα βασικό δομικό κομμάτι στην διαδικασία διαχείρισης της συντήρησης και οδηγεί στην επιτυχία αυτής.

2.2.1 Δραστηριότητες του τμήματος συντήρησης

Είναι σημαντικό να έχουν ορισθεί ξεκάθαρα οι δραστηριότητες για τις οποίες είναι υπεύθυνο το τμήμα συντήρησης. Ακολούθως αναφέρουμε κάποιες χαρακτηριστικές αρμοδιότητες του τμήματος συντήρησης:

- Συντήρηση του εγκατεστημένου εξοπλισμού.
- Εγκατάσταση νέου εξοπλισμού και καινούριων συστημάτων – μηχανημάτων.
- Διορθώσεις του εγκατεστημένου εξοπλισμού.
- Επιθεώρηση και έλεγχος της λίπανσης του υπάρχοντα εξοπλισμού.
- Παρακολούθηση των αστοχιών και των δυσλειτουργιών με χρήση των κατάλληλων τεχνικών.
- Διαχείριση αποθεμάτων των ανταλλακτικών.
- Επίβλεψη του εργατικού δυναμικού.
- Συνεχής καταγραφή και αρχειοθέτηση των πληροφοριών και των δεδομένων.

2.2.2 Οργάνωση της συντήρησης

Ο τρόπος οργάνωσης της διαδικασίας της συντήρησης έχει ως στόχο να επιτύχει την βέλτιστη ισορροπία μεταξύ της διαθεσιμότητας των εγκαταστάσεων και της χρήσης των πόρων της συντήρησης. Οι δύο βασικές δομές οργάνωσης που είναι ευρέως γνωστές και σε εφαρμογή είναι η συγκεντρωτική (Centralized) και η αποκεντρωμένη (Decentralized). Η δεύτερη συνήθως έχει μικρότερο βαθμό χρησιμοποίησης των πόρων απ' ότι η πρώτη, άλλα εμφανίζει ταχύτερα αντακλαστικά σε περιπτώσεις διακοπής της παραγωγής και σημαντικών αστοχιών, αυξάνοντας έτσι την διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων. Στην πράξη, οι εταιρείες ενσωματώνουν συχνά και τις δυο μορφές οργάνωσης της συντήρησης. Γενικά, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διαδικασία της συντήρησης απαρτίζεται από τρεις βασικές και αλληλοεξαρτώμενες συνιστώσες:

- Πόροι: τεχνικό δυναμικό, ανταλλακτικά, εργαλεία.
- Διοίκηση: ξεκάθαρα δομημένη ιεραρχία των ευθυνών και των εξουσιών στα κρίσιμα θέματα αποφάσεων, όπως το ποιός αποφασίζει για τις εργασίες συντήρησης, το πότε και το πως θα εκτελεστούν.
- Προγραμματισμός εργασιών και σύστημα ελέγχου: οργάνωση ενός κατάλληλου μηχανισμού για τον προγραμματισμό και τον σχεδιασμό των εργασιών συντήρησης καθώς και την συνεχή ανατροφοδότηση και αρχειοθέτηση των πληροφοριών και των δεδομένων που είναι απαραίτητα για τη σωστή κατεύθυνση των προσπαθειών της συντήρησης σε συγκεκριμένους στόχους.

Κάθε παραγωγική διαδικασία καθώς και οι δραστηριότητες συντήρησης που εμφυτεύονται σε αυτήν αποτελούν έναν συνεχώς εξελισσόμενο οργανισμό. Θα πρέπει να σημειωθεί, λοιπόν, ότι η οργάνωση της συντήρησης χρειάζεται επίσης συνεχείς διορθωτικές παρεμβάσεις ώστε να μπορεί να ανταπεξέρθει στις διαρκώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις. Εξάλλου, ο συντονισμός και ο σωστός καταμερισμός του φόρτου εργασίας με τους πόρους, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται έγκαιρα οι δραστηριότητες της συντήρησης και η αρχειοθέτηση των δεδομένων, απαιτούν προσεκτική οργάνωση και σωστό προγραμματισμό με κατάλληλα μοντέλα.

2.3 Τεχνικές συντήρησης

Με την πάροδο των χρόνων, η συντήρηση άρχισε να οργανώνεται σε δομημένη επιστήμη με θεωρίες και κανόνες και να μην βασίζεται, απλά και μόνο στην εμπειρία αυτών που την εφαρμόζουν. Βέβαια, η συντήρηση πάντα θα εμπεριέχει τα συμπεράσματα συσσωρευμένης εμπειρίας ετών, αφού βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία, στην οξυδέρκεια και στον αυτοσχεδιασμό από μέρους αυτών που την εφαρμόζουν.

Οι θεωρίες πρακτικής της συντήρησης, χωρίζονται με βάση τη χρονική εξέλιξη αυτών, στις τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, που αναλύονται ακολούθως:

2.3.1 Επισκευαστική συντήρηση

Η επισκευαστική ή αλλιώς διορθωτική συντήρηση βασίζεται στην ανεπίβλεπτη και χωρίς προστασία εργασία της μηχανής μέχρι τη στιγμή διακοπής της λειτουργίας ή ακόμα και της καταστροφής της. Στην αγγλοσαξωνική βιβλιογραφία συναντάται με τους όρους Breakdown ή Reactive Maintenance και αποτελεί ένα είδος αντιδραστικής μεθόδου συντήρησης, που υπήρξε και εξακολουθεί να υφίσταται σε μερικές περιπτώσεις ως η μοναδική μέθοδος συντήρησης στη βιομηχανία.

Καθώς αστοχία ενός εξαρτήματος ή στοιχείου μηχανής μπορεί να συμβεί οποτεδήποτε, οι βιομηχανίες που ενσωματώνουν στη στρατηγική τους αυτό το είδος συντήρησης είναι αναγκασμένες είτε να διατηρούν μεγαλύτερο απόθεμα ανταλλάκτικων, για τις μηχανές με βαρύνουσα σημασία στην παραγωγή, ή να επιβαρύνονται με αυξημένα έξοδα αποστολής λόγω ταχείας αποστολής. Επιπλέον, απαιτείται από το τμήμα συντήρησης να βρίσκεται σε πλήρη ετοιμότητα ανά πάσα στιγμή για να επέμβει σε περίπτωση βλάβης, γεγονός που οδηγεί σε απασχόληση εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού που όχι μόνο δεν αξιοποιείται αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια του χρόνου αλλά επιβαρύνει και το συνολικό κόστος με υπερωρίες, σε περίπτωση για παράδειγμα βλαβών σε πολλαπλά μηχανήματα ταυτοχρόνως. Φυσικά περαιτέρω αύξηση του κόστους δημιουργείται και λόγω της διακοπής της παραγωγής, η οποία είναι αναπόφευκτη μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης. Τα προαναφερθέντα καθώς και η αδυναμία εμπρόθεσμης παράδοσης των παραγόμενων προϊόντων με την συνεπαγόμενη δυσαρέσκεια των πελατών, οδηγούν σε πολύ υψηλό κόστος, μεγάλες δαπάνες και χαμηλή διαθεσιμότητα εξοπλισμού για τις παραγωγικές ανάγκες και δρουν ανασταλτικά στη διαμόρφωση καλής φήμης για την επιχείρηση.

Από την άλλη μεριά η λειτουργία ως τη βλάβη είναι δυνατό να φανεί αποτελεσματική και συμφέρουσα όταν εφαρμόζεται σωστά. Για παράδειγμα σε μικρής σημασίας και χαμηλού κόστους εξοπλισμούς, σε εξοπλισμούς όπου οι βλάβες μπορεί να είναι αποδεκτές και πιθανότατα δεν επηρεάζουν άμεσα τον κύριο όγκο της παραγωγής, σε εξοπλισμούς που καμία άλλη μέθοδος δεν είναι δυνατή και σε περιπτώσεις χαμηλού κόστους λόγω βλάβης μπορεί να αποτελέσει μια καλή στρατηγική και να είναι η βέλτιστη μέθοδος συντήρησης.

ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Πλεονεκτήματα [+]	Μειονεκτήματα [-]
<ul style="list-style-type: none"> • Αποφυγή δαπανών για πρόληψη βλαβών • Αποφυγή άσκοπων συντηρήσεων 	<ul style="list-style-type: none"> • Απρόβλεπτα σταματήματα της παραγωγής • Δευτερογενείς ζημιές • Καταστροφικές αστοχίες μηχανών • Μεγάλη απώλεια παραγωγής • Μειωμένη ασφάλεια και έλεγχος των εγκαταστάσεων • Υψηλές δαπάνες επισκευών

Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της επισκευαστικής συντήρησης.

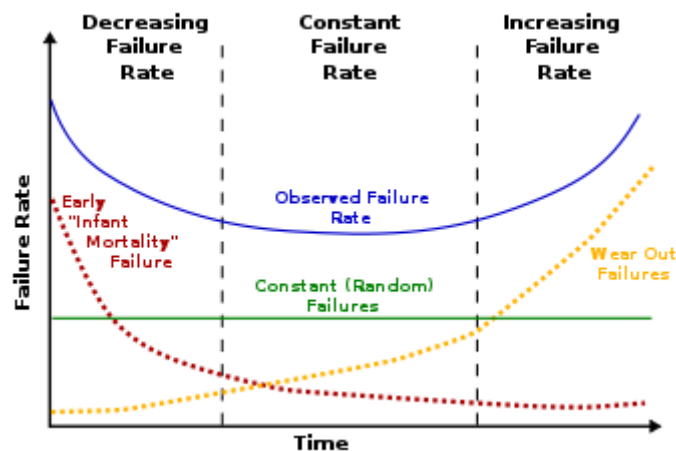
2.3.2 Προληπτική συντήρηση

Η προληπτική συντήρηση ή όπως αλλιώς συναντάται στην αγγλοσαξωνική βιβλιογραφία Planned ή Calendar-based ή Historical Maintenance στηρίζεται στην επισκευή της βλάβης πριν πραγματοποιηθεί. Πρόκειται για μια παρεμβατική μέθοδο συντήρησης που αποτελεί θεμέλιο λίθο όλων των μετέπειτα φιλοσοφιών συντήρησης και έχει ως βασικό στόχο την εξάλειψη των αστοχιών του μηχανολογικού εξοπλισμού που οδηγούν στην διακοπή της παραγωγής.

Θεωρώντας ότι οι ρυθμοί των βλαβών του εξοπλισμού ακολουθούν μια πορεία στην οποία ο μόνος παράγοντας που ουσιαστικά επιδρά σε αυτές είναι ο χρόνος καθώς και ότι τα διαστήματα της συντήρησης μπορούν να προκαθοριστούν από την εμπειρία του κατασκευαστή και την συστηματική τήρηση αρχείων για την εγκατάσταση, οι διαδικασίες συντήρησης μπορούν να προγραμματιστούν σε νεκρούς χρόνους λειτουργίας και τα απαραίτητα ανταλλακτικά να είναι διαθέσιμα με κατάλληλα προγραμματισμένες παραγγελίες.

Συνοπτικά, η προληπτική συντήρηση εντάσσει τις διαδικασίες συντήρησης σε έναν χρονικό προγραμματισμό καθιερώνοντας ένα πρόγραμμα περιοδικού ελέγχου του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η σειρά των δραστηριοτήτων προγραμματίζεται με συχνότητα που υπαγορεύεται από τις ώρες λειτουργίας, την παραγωγικότητα του μηχανήματος και το συνολικό χρονικό διάστημα που απαιτείται για την προμήθεια των ανταλλακτικών.

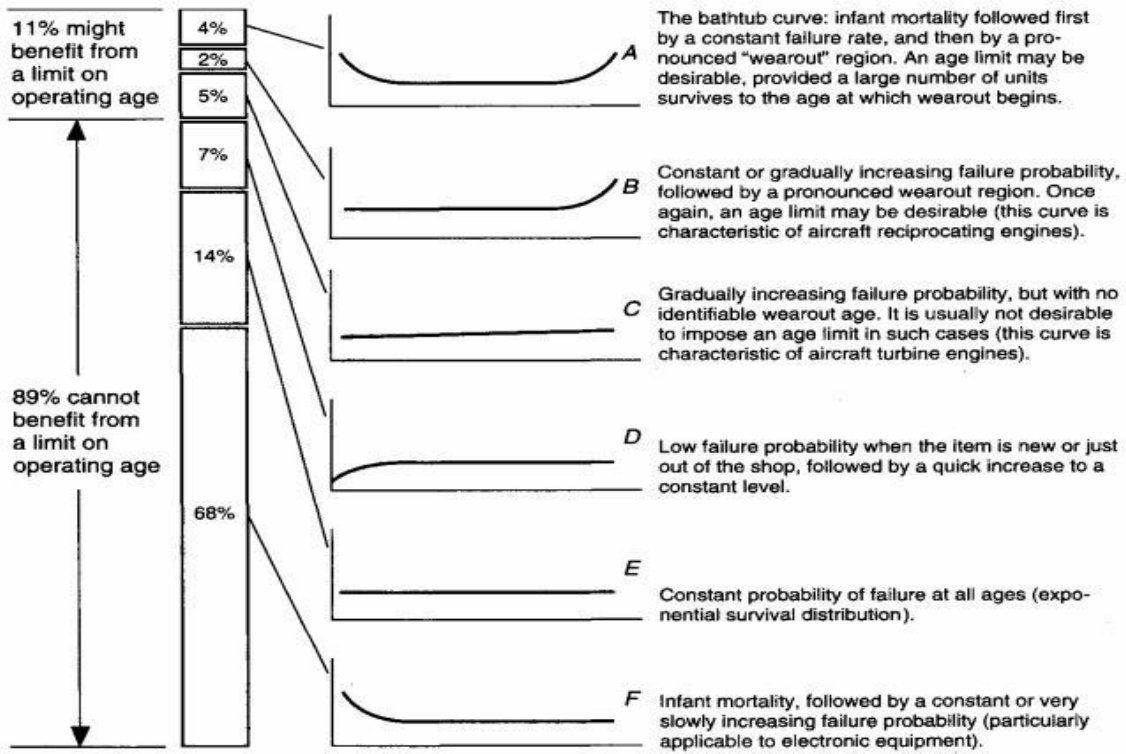
Σε όλα τα προγράμματα προβλεπτικής συντήρησης υποθέτουμε ότι τα μηχανήματα θα εμφανίσουν σημάδια φθοράς μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ανάλογα με την κατάσταση τους στην αντίστοιχη κατηγορία. Συνήθως οι επισκευαστικές εργασίες και οι διορθώσεις καθορίζονται από το διάγραμμα που καλείται «bathtub curve» ή «Mean-Time-To-Failure». Το ακόλουθο διάγραμμα είναι ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα τύπου «bathtub curve» που απεικονίζει τη στατιστική ζωή ενός τυπικού μηχανολογικού εξαρτήματος. Είναι φανερό ότι μια μηχανή που έχει εγκατασταθεί πρόσφατα εμφανίζει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας. Το ίδιο συμβαίνει και μετά από κάθε επισκευή που εκτελείται σε αυτήν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις λεγόμενες «παιδικές ασθένειες», δηλαδή παθογένειες της μηχανής που μπορεί να οφείλονται σε κακή λίπανση, αζυγοσταθμία, κακή ευθυγράμμιση, τοποθέτηση λάθος ανταλλακτικού και γενικά λάθοι τεχνικών χειρισμών οποιουδήποτε τύπου. Ύστερα από αυτήν την αρχική περίοδο, η πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας είναι σχετικά μικρή για μια παρατεταμένη περίοδο. Μετά από αυτόν τον τυπικό κύκλο ζωής της μηχανής, η πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας αυξάνεται δραστικά σε σχέση με τον χρόνο που παρέρχεται.



Διάγραμμα 2.1: Γραφική αναπαράσταση χρόνου-ρυθμού αστοχίας (bathtub curve).

Επιδίωξη ενός προγράμματος προβλεπτικής συντήρησης αποτελεί η εξισορρόπηση δυο αντικρουόμενων καταστάσεων: της επικινδυνότητας και του κόστους. Κομβικό σημείο είναι η πρόληψη την κατάλληλη στιγμή, δηλαδή ούτε πρόωρα που οδηγεί σε αύξηση κόστους άλλα ούτε και καθυστερημένα που οδηγεί κατευθείαν σε αστοχία της μηχανής.

Κλείνοντας θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η εμφύτευση ενός προγράμματος προβλεπτικής συντήρησης σε μια βιομηχανία θα πρέπει να γίνεται με προσοχή, διότι ενέχει πολλούς κινδύνους. Αυτές τις διαπιστώσεις επιβεβαίωσε μελέτη που διεξήχθη από την United Airlines και ουσιαστικά διαπίστωσε ότι η γήρανση δεν αποτελεί τον βασικό παράγοντα αστοχίας, οπότε η χρήση της καμπύλης «bathtub» δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα των αστοχιών μιας μηχανής και κατ' επέκταση δρομολόγησης επισκευαστικών εργασιών.



Εικόνα 2.1: Χαρακτηριστικά παραδείγματα καμπυλών αστοχίας μηχανολογικού εξοπλισμού (United Airlines).

ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

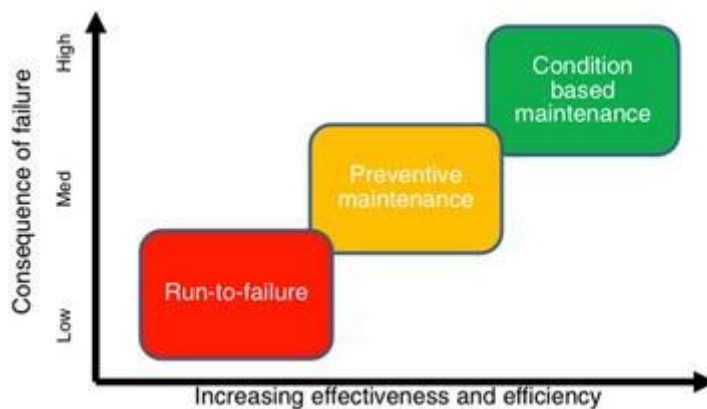
Πλεονεκτήματα [+]	Μειονεκτήματα [-]
<ul style="list-style-type: none"> Μειωμένα κόστη επισκευών μέσω της μείωσης των δευτερογενών βλαβών Προγραμματισμένο κόστος επισκευών και ισχυρό έλεγχο του αποθέματος των ανταλλακτικών Χρονικά προγραμματιζόμενες επισκευαστικές εργασίες Καλύτερη συντήρηση του εξοπλισμού και αύξηση του κύκλου ζωής του 	<ul style="list-style-type: none"> Πιθανότητα επιβάρυνσης των μηχανών με μη απαραίτητες επισκευές Εξακολουθούν να υπάρχουν έκτακτες αστοχίες μηχανών Η μεγάλη συχνότητα των προληπτικών επισκευών συχνά προκαλεί περισσότερο κακό παρά καλό

Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προληπτικής συντήρησης.

2.3.3 Προβλεπτική συντήρηση

Η προβλεπτική συντήρηση συχνά καλείται Ανιχνευτική ή Προγνωστική και συναντάται στην αγγλοσαξωνική βιβλιογραφία ως Condition-Based Maintenance. Η προγνωστική συντήρηση βασίζεται και καθοδηγείται από την κατάσταση των μηχανών. Σε αντίθεση με την προληπτική συντήρηση που στηρίζει τον προγραμματισμό των εργασιών στα κατασκευαστικά ή εργοστασιακά στατιστικά στοιχεία του μέσου κύκλου ζωής των εξαρτημάτων και του εξοπλισμού, η προβλεπτική συντήρηση βασίζεται αποκλειστικά στην παρακολούθηση και στον έλεγχο των συνθηκών λειτουργίας των μηχανών.

Η διαδικασία αυτής της μεθόδου είναι αποτέλεσμα της συνεχούς προσπάθειας της βιομηχανίας να κατανοήσει τον κύκλο ζωής και τα χαρακτηριστικά των μηχανών προσαρμόζοντας στην μεθοδολογία της πληθώρα τεχνικών.



Διάγραμμα 2.2: Συσχέτιση των τριών ειδών συντήρησης συναρτήσει της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας με τις συνέπειες των αστοχιών.

Αποτελεί κοινή παραδοχή για την προβλεπτική συντήρηση ότι ο τακτικός έλεγχος και η παρακολούθηση της πραγματικής μηχανικής κατάστασης, της λειτουργικής αποδοτικότητας και διαφόρων άλλων χαρακτηριστικών δεικτών της κατάστασης της λειτουργίας των μηχανών και των παραγωγικών συστημάτων παρέχουν τα απαιτούμενα δεδομένα για τη διασφάλιση των μέγιστων διαστημάτων μεταξύ των επισκευών και ελαχιστοποιούν τον αριθμό και το κόστος των απρογραμματίστων διακοπών της παραγωγής λόγω αστοχιών του εξοπλισμού.

Ουσιαστικά, η φιλοσοφία της προγνωστικής συντήρησης βελτιστοποιεί την πραγματοποίηση των επισκευαστικών εργασιών και των απαραίτητων διορθώσεων δίνοντας προτεραιότητα μόνο σε εκείνες που είναι αναγκαίες για την διασφάλιση της αξιοπιστίας και την αποφυγή αστοχιών των μηχανών. Είναι ένας τρόπος βελτίωσης της παραγωγής, της ποιότητας της παραγωγής και της συνολικής αποτελεσματικότητας των παραγωγικών και κατασκευαστικών μονάδων.

Η διαδικασία της παρακολούθησης των συνθηκών λειτουργίας (Condition Monitoring) των μηχανών μας δίνει τη δυνατότητα να γνωρίζουμε την κατάσταση της μηχανής και να ελέγχουμε αν η αποδόση της και η λειτουργία της είναι σταθερές ή εάν σταδιακά επιδεινώνονται. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με διάφορες τεχνικές, εκ των οποίων οι βασικότερες είναι η ανάλυση κραδασμών, η θερμογραφία και η τριβολογία. Αυτές οι τρεις τεχνικές αποτελούν ισχυρά εργαλεία για τη διάγνωση των βλαβών, όμως δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να αποτελέσουν πανάκεια για όλα τα προβλήματα αστοχιών στη βιομηχανία και ιδιαίτερα στη βιομηχανία των υδραυλικών συστημάτων. Πολλές φορές ακόμα και η μεμονωμένη ή η συνδυαστική χρήση αυτών των τεχνικών, που αποτελούν τους ακρογωνιαίους λίθους των προγνωστικών τεχνολογιών, δεν επαρκεί για να προσφέρει τα απαιτούμενα δεδομένα για την διάγνωση και τη διατήρηση των βέλτιστων παραγωγικών επιπέδων. Για να επωφεληθούμε πλήρως από την προγνωστική συντήρηση,

συχνά απαιτούνται και πρόσθετες τεχνικές, όπως η παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας (πίεση, παροχή όγκου, θερμοκρασία), οι οπτικοί έλεγχοι από τους τεχνικούς και η ανάλυση των υπερήχων.

Η δυσκολία της εμφύτευσης τεχνικών παρακολούθησης και ελέγχου σε μηχανολογικές εγκαταστάσεις έγκειται στο γεγονός ότι κάθε εξάρτημα ή μηχανή απαιτεί διαφορετικό τρόπο προσέγγισης και εμφανίζει διαφορετικά συμπτώματα. Είναι απαραίτητο, επομένως, αφενός να γνωρίζουμε τον ορθό τρόπο λήψης μετρήσεων, αλλά και να έχει προηγηθεί η εγκατάσταση των κατάλληλων μετρητικών οργάνων (ακρίβεια, χρονική απόκριση), όπου αυτό χρειάζεται, και αφετέρου είναι σημαντικό να μπορεί το τμήμα συντήρησης να αποκρυπτογραφήσει και να αναλύσει τα δεδομένα που συλλέγονται. Λαμβάνοντας, επίσης, υπόψη ότι το κόστος ενός τέτοιου εξοπλισμού τις περισσότερες φορές είναι αρκετά υψηλό, χρειάζεται να έχει γίνει ολοκληρωμένη μελέτη για τη χρησιμότητα ή όχι αυτής της μεθόδου.

Τα βασικά σημεία στα οποία επικεντρώνεται ένα πρόγραμμα προγνωστικής συντήρησης για να καθορίσει τις πρωτοβουλίες που θα υλοποιηθούν είναι:

- Εντοπισμός καταστάσεων εξοπλισμού που δεν μπορούν να επιθεωρηθούν εύκολα με το πρόγραμμα προβλεπτικής συντήρησης.
- Έμφαση στην εγκατάσταση τεχνολογιών για παρακολούθηση των μηχανών, αντί το τμήμα συντήρησης να προβαίνει σε αποσυναρμολογήσεις.
- Μείωση των αποθεμάτων των ανταλλακτικών που χρειάζεται να είναι ετοιμοπαράδοτα από το τμήμα προμηθειών της εταιρείας.
- Καθιέρωση υψηλής ακριβείας προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης που δεν αντιτίθενται στο πρόγραμμα παραγωγής.
- Αύξηση της παραγωγικής ικανότητας του εξοπλισμού με παράλληλη διασφάλιση ότι είναι τεχνικά ελεγμένο για να λειτουργεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού.

ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Πλεονεκτήματα [+]	Μειονεκτήματα [-]
<ul style="list-style-type: none"> • Η συντήρηση γίνεται μόνο όταν είναι πραγματικά αναγκαία • Καλύτερη συντήρηση του εξοπλισμού και αύξηση του κύκλου ζωής του • Ανιχνευση προβλημάτων όσο ακόμα είναι μικρά και εύκολο να φτιαχτούν • Προγραμματιζόμενη παραγγελία • ανταλλακτικών μόνο όταν χρειάζονται και μείωση του αποθέματος • Μείωση των απρογραμμάτιστων βλαβών • Εργασία χωρίς πίεση και άγχος 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλες δαπάνες για διαγνωστικό εξοπλισμό & μετρητικά όργανα • Δεν εξασφαλίζεται η αύξηση διάρκειας ζωής του μηχανολογικού εξοπλισμού • Αύξηση δαπανών για εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό, λόγω των αυξημένων επιθεωρήσεων

Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προβλεπτικής συντήρησης.

2.3.4 Συντήρηση ακριβείας

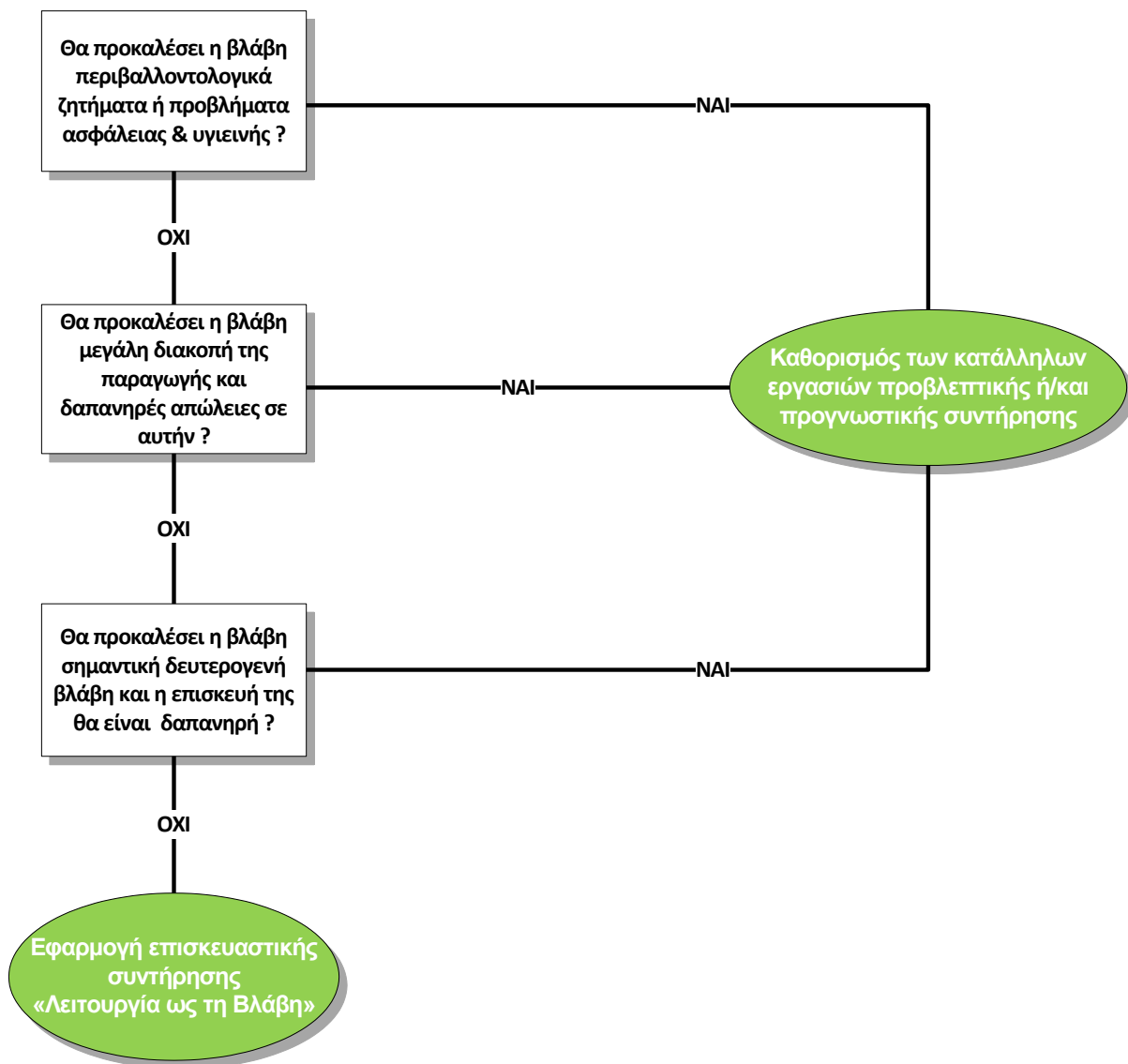
Η συντήρηση ακριβείας συχνά συναντάται στην αγγλοσαξωνική βιβλιογραφία με τους όρους Proactive Maintenance, Reliability Centered Maintenance και αποτελεί μια εξελιγμένη προσέγγιση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού. Στη συντήρηση ακριβείας ο στόχος είναι να εντοπιστεί η πραγματική αιτία που προκαλεί δυσλειτουργίες και τελικά οδηγεί στην αστοχία των μηχανών. Με αυτόν τον τρόπο δεν περιμένουμε απλώς τότε η μηχανή θα υποστεί βλάβη, ούτε και προσπαθούμε να προβλέψουμε την χρονική στιγμή που η

βλάβη θα συμβεί. Αντιθέτως εκτελούμε δραστηριότητες με σκοπό να ελαχιστοποιήσουμε τις πιθανότητες αστοχίας καθώς και τη επανεμφάνιση τους.

Ως στρατηγική συντήρησης επικεντρώνει το ενδιαφέρον της στην βελτιστοποίηση των προβλεπτικών και προγνωστικών προγραμμάτων, έτσι ώστε να οδηγήσει στην αύξηση της αποδοτικότητας του μηχανολογικού εξοπλισμού (επίδοση, ποιότητα και uptime) ενώ ταυτόχρονα οδηγεί στην μακροπρόθεσμη μείωση των κοστών που σχετίζονται με τη διαδικασία συντήρησης.

Μέχρι τώρα οι μέθοδοι συντήρησης που έχουμε αναλύσει αντιμετώπιζαν τις αστοχίες του εξοπλισμού με βάση είτε την ανίχνευση των εκπεμπόμενων σημάτων των μηχανών, λόγω βλαβών που ήδη είχαν ξεκινήσει να εξελίσσονται (προγνωστική), είτε με βάση την τακτική συντήρηση τους σε σχέση με το χρονικό προγραμματισμό τους, ανεξαρτήτως της πραγματικής τους κατάστασης (προβλεπτική). Καμία από αυτές τις μεθόδους δεν εξασφάλιζε μια σαφή και αναλυτική εικόνα για την φύση της αστοχίας, απλά επικεντρωνόταν στα συμπτώματα.

Η γενική προσέγγιση και μεθοδολογία της συντήρησης ακριβείας παρουσιάζεται στο ακόλουθο λογικό διάγραμμα:



Διάγραμμα 2.3: Δέντρο αποφάσεων για την Συντήρηση Ακριβείας (RCM).

Ο καθορισμός αυτής της βασικής αιτίας του προβλήματος είναι δύσκολο θέμα, του οποίου η λύση απαιτεί μελέτη των εμπλεκόμενων διαδικασιών από εξειδικευμένους τεχνικούς και τεχνολογίες (όπως έλεγχοι αντοχής, μελέτες ροής δυνάμεων και ισχύος) που αποσκοπούν στην εύρεση της ρίζας του προβλήματος.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Πλεονεκτήματα [+]	Μειονεκτήματα [-]
<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερη ασφάλεια και περιβαλλοντική συνέπεια • Βελτίωση λειτουργικών επιδόσεων [όγκος και ποιότητα παραγωγής, εξυπηρέτηση πελατών] • 'Καλύτερη' συντήρηση - αποτελεσματικότητα κόστους • Επιμήκυνση του βιομηχανικού κύκλου ζωής ακριβών εξαρτημάτων • Δημιουργία μιας εύχρηστης βάσης δεδομένων πληροφοριών (καρτέλα μηχανής) • Ενθάρρυνση της συνεργασίας και της διατμηματικής επικοινωνίας στην εταιρεία • Μεγαλύτερη αξιοπιστία των μηχανών 	<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτήση εξειδικευμένου προσωπικού • Μεγάλες δαπάνες για διαγνωστικό εξοπλισμό & μετρητικά όργανα • Απαιτείται αλλαγή νοοτροπίας σε όλα τα τμήματα και στη διοίκηση της εταιρείας

Πίνακας 2.4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της συντήρησης ακριβείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Τα υδραυλικά συστήματα υψηλής πίεσης αποτελούν κομμάτι της ευρύτερης κατηγορίας του μηχανολογικού εξοπλισμού και κατέχουν σημαντικό μερίδιο στην παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας. Η διασφάλιση της αξιοπιστίας και της μέγιστης αποδοσης των υδραυλικών συστημάτων αποτελεί κύριο στόχο για τους εμπλεκόμενους στην παραγωγική διαδικασία (μηχανικούς, μετόχους) και για την βιωσιμότητα των εταιρειών.

Ωστόσο η καθιέρωση ενός σαφώς προσδιορισμένου προγράμματος συντήρησης που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κάθε παραγωγικής μονάδας, προϋποθέτει την πλήρη γνώση των τεχνικών συντήρησης που μπορούν να εφαρμοστούν στα υδραυλικά συστήματα και δρουν όχι μόνο διορθωτικά αλλά κυρίως ως εργαλεία πρόβλεψης και πρόγνωσης επικείμενων αστοχιών. Η διάγνωση βλαβών σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ανάγκη ενσωμάτωσης τεχνικών και μεθόδων που δίνουν τη δυνατότητα εντοπισμού των πραγματικών αιτιών των αστοχιών (root cause failure) έχουν οδηγήσει στην ανάγκη της συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου των υδραυλικών συστημάτων.

Οι δομικές διαφορές των υδραυλικών συστημάτων με τα υπόλοιπα συστήματα μετάδοσης ισχύος οδηγούν σε πολύ διαφορετικές προσεγγίσεις συντήρησης.

Έτσι, τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως και με επιτυχία σε μηχανικά συστήματα ισχύος, όπως η θερμογραφία αλλά ακόμα και η ανάλυση δονήσεων και κραδασμών, δεν βρίσκουν εφαρμογή ή δεν οδηγούν σε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση των υδραυλικών συστημάτων.

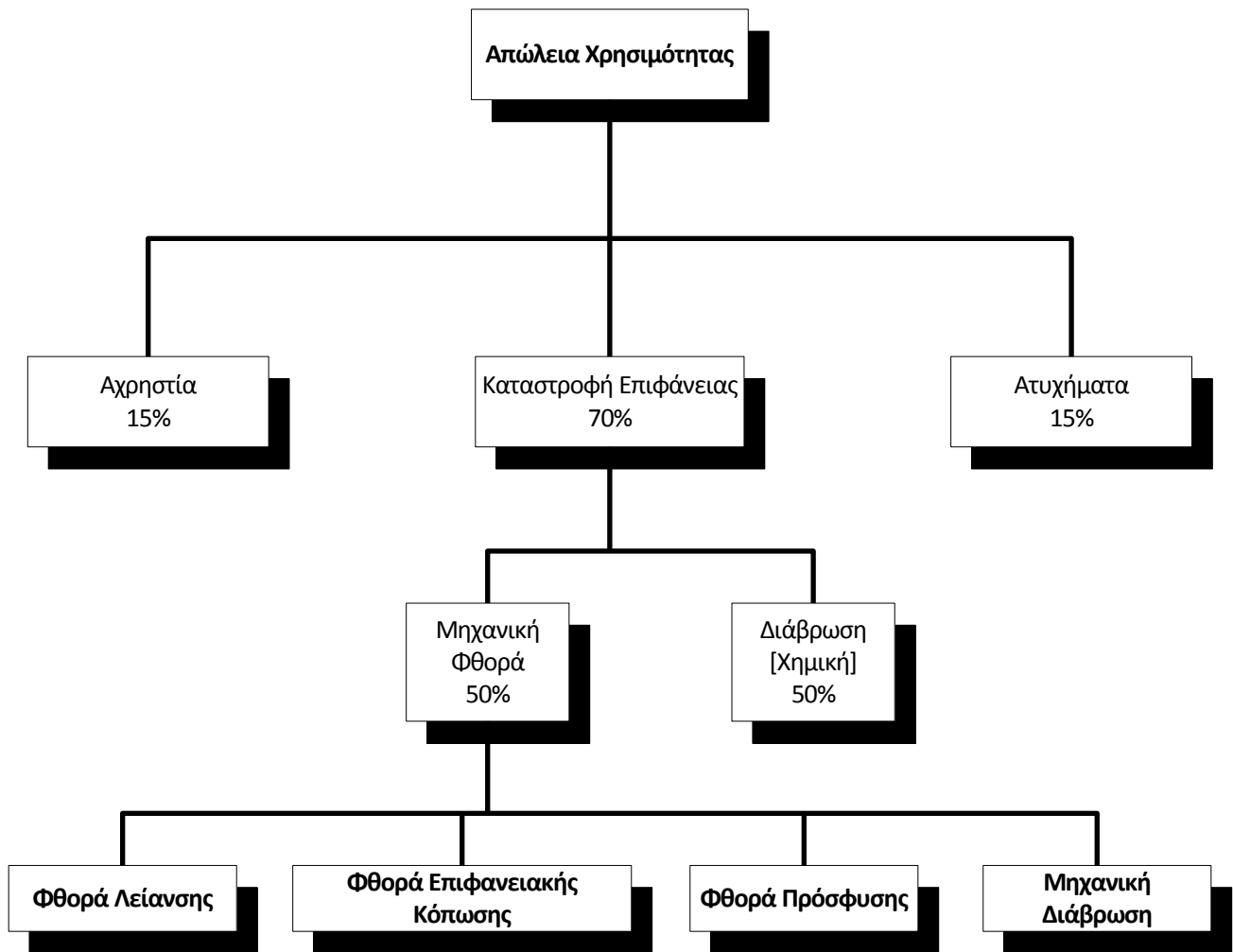
Η ύπαρξη λιγότερων κινούμενων εξαρτημάτων ή η απουσία αυτών, όπως ιμάντες, ένσφαιροι τριβείς, οδοντωτοί τροχοί και αλυσίδες θα μπορούσε σε πρώτο επίπεδο να θεωρηθεί πλεονέκτημα των υδραυλικών συστημάτων, ως προς την απλοποίηση των τεχνικών της συντήρησης που είναι απαραίτητες.

Όμως η χρήση του ρευστού ως εργαζόμενο μέσο, η λειτουργία σε υψηλές πιέσεις και η χρήση απλών αλλά και πολυβάθμιων βαλβίδων δημιουργεί μια επίσης σύνθετη κατάσταση που απαιτεί συγκεκριμένες τεχνικές και εξειδικευμένες μεθόδους για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των υδραυλικών συστημάτων.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά και αξιολογούνται οι τεχνικές παρακολούθησης και ελέγχου των βιομηχανικών υδραυλικών συστημάτων και τα όργανα που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις, σε συνδυασμό με τις διάφορες τυποποιήσεις που διέπουν κάποιες από αυτές και με τις εφαρμογές τους σε μεμονωμένα εξαρτήματα του υδραυλικού συστήματος αλλά και στο σύνολο του. Στο κεφάλαιο αυτό δρα συμπληρωματικά το Παράρτημα Γ, όπου παρουσιάζονται πίνακες συμπτωματολογίας βλαβών των υδραυλικών συστημάτων σε αντιστοιχία με τους κατάλληλους τρόπους επίλυσης και λογικά διαγράμματα διάγνωσης βλαβών.

3.2 Αστοχίες στα υδραυλικά συστήματα

Το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) πραγματοποίησε μια μελέτη για την διερεύνηση των αιτιών της αστοχίας, δηλαδή της αντικατάστασης των εξαρτημάτων στα υδραυλικά κυκλώματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3.1, η αποκόλληση υλικού από τις επιφάνειες των δομικών στοιχείων οδηγεί στο 70% των αστοχιών. Στη συνέχεια, διακρίθηκαν δυο υποκατηγορίες: η μηχανική φθορά (50%), με τους τέσσερεις τύπους, εκ των οποίων κυρίαρχη θέση έχει η φθορά λόγω άμεσης τριβής και η διάβρωση που εμφανίζεται λόγω της παρουσίας νερού σε κάποια υδραυλικά υγρά που χρησιμοποιούνται.



Διάγραμμα 3.1: Οι αιτίες αντικατάστασης των δομικών στοιχείων των μηχανολογικών εξοπλισμών.

Μια επιπλέον έρευνα, που βασίστηκε σε πιο πρακτικά δεδομένα και διεκπεραιώθηκε από το Βρετανικό Εμπορικό και Βιομηχανικό Επιμελητήριο (UK Department of Trade and Industry), συμπεριέλαβε στην μελέτη της περίπου 120 υδραυλικά συστήματα διαφόρων τύπων και κατέληξε επίσης στο συμπέρασμα ότι η ρύπανση του ρευστού αποτελεί τον βασικό παράγοντα που καθορίζει την αξιοπιστία των υδραυλικών συστημάτων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη αναλύθηκε ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων όπως τα επίπεδα πίεσης, η κατάσταση του λαδιού, τα επίπεδα ρύπανσης, ο κύκλος εργασίας και τα επίπεδα συντήρησης καθώς και η επιρροή τους στην αξιοπιστία των συστημάτων.

Συγκεκριμένα, οι ερευνητές συμπέραναν ότι το 55% των προβλημάτων που αναφέρθηκαν είχαν άμεση σύνδεση με την ύπαρξη μη επιθυμητών σωματιδίων στο υδραυλικό υγρό. Αναλυτικά, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης σε αντιπαραβολή με τα στοιχεία μιας παλαιότερης και σαφώς μικρότερης εμβέλειας μελέτη παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

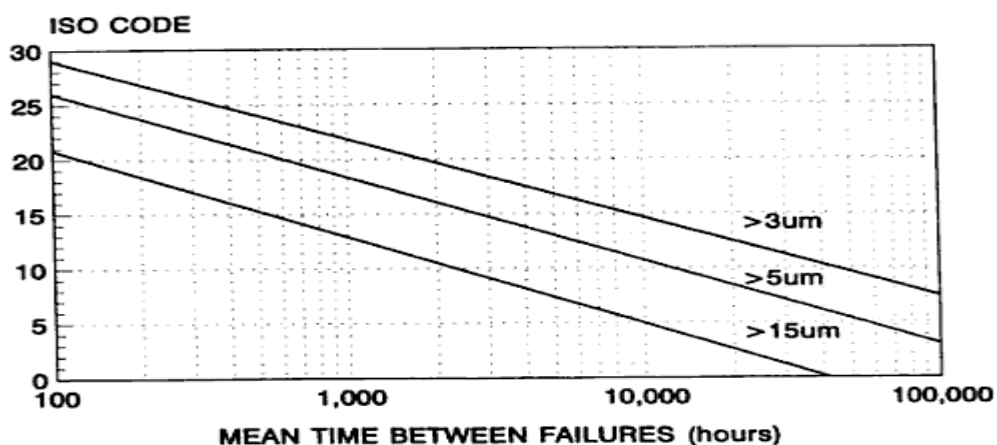
Μελέτη του UK Department of Trade and Industry		
Ανάλυση των Προβλημάτων που αναφέρθηκαν	1971	1983
Συνολικός αριθμός συστημάτων	15 [9]	114 [33]
Αριθμός συστημάτων χωρίς προβλήματα	1 [1]	23 [18]
Αριθμός συστημάτων με προβλήματα	14 [8]	89 [15]
Μη υδραυλικές αστοχίες	-	6 [1]
Αστοχίες υλικού	-	12 [6]
Μικρές διαρροές	1 [1]	13*[4]
Σοβαρά προβλήματα υποβάθμισης ρευστού	5 [5]	9
Βραχυπρόθεσμα προβλήματα	8 [2]	20 [4]
Μακροπρόθεσμα προβλήματα	-	29
Σημειώσεις:		
με [] σημειώνονται τα συστήματα που είναι 2 χρόνων		
* συμπεριλαμβάνονται 4 αγροτικά τρακτέρ στα οποία δεν παρατηρήθηκε εγκαίρως η βλάβη.		

Πίνακας 3.1: Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων δύο μελετών για τον υδραυλικό εξοπλισμό.

Επίσης, στα συμπεράσματα αυτής της έρευνας περιλαμβάνεται η ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ του επιπέδου ρύπανσης του υδραυλικού υγρού και της αξιοπιστίας του συστήματος χρησιμοποιώντας την παλαιότερη τυποποίηση κατά ISO, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2.

Η έντονη φθορά λόγω της απευθείας τριβής στα υδραυλικά δομικά στοιχεία ήταν ο σημαντικότερος λόγος αστοχίας. Όμως, σε υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας και ύστερα από το φιλτράρισμα και την κάθαρση του υγρού η αιτία αστοχίας μετατοπιζόταν στην φθορά λόγω κόπωσης.

Παρατηρήθηκε ότι η εγκατάσταση φίλτρων με καλύτερη ικανότητα καθαρισμού μείωσε τα επίπεδα ρύπανσης και αποτέλεσε την πρωταρχική αιτία βελτίωσης της αξιοπιστίας.



Διάγραμμα 3.2: Καμπύλες ρύπανσης σε συνάρτηση με τα διαστήματα μεταξύ αστοχιών.

Επιπλέον, όμως οι ερευνητές αναφέρουν ότι η καλύτερη συντήρηση και η ακριβής κατανόηση των επιπτώσεων που είχε η ρύπανση στα εξαρτήματα του κυκλώματος αποτελούν εξίσου σημαντικοί παράγοντες προόδου συνιστώντας τη συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων ρύπανσης ως έναν τρόπο πρόβλεψης ενδεχόμενης αστοχίας και παράτασης της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων.

3.3 Χάραξη στρατηγικής συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου

Οι βασικοί άξονες πάνω στους οποίους δομείται ένα πρόγραμμα συντήρησης που ενσωματώνει την παρακολούθηση και τον έλεγχο των υδραυλικών συστημάτων είναι:

- Διαμόρφωση αντικειμενικών σκοπών και καθορισμός στόχων.
- Ορισμός προδιαγραφών λειτουργίας και απόδοσης για τα υπό εξέταση εξαρτήματα ή/και μηχανήματα.
- Εκπαίδευση προσωπικού και ανάπτυξη διαδικασιών.
- Έλεγχος των διαδικασιών παραγωγής, έτσι ώστε να εντοπιστούν τα εξαρτήματα ή οι περιοχές που θα υποστούν παρακολούθηση και έλεγχο.
- Επιλογή των κατάλληλων τεχνικών ελέγχου και παρακολούθησης και καθορισμός των επιπέδων «δράσης».
- Μέτρηση των επιδόσεων και σύγκριση με τα επιθυμητά επίπεδα ή τα επίπεδα σχεδιασμού.
- Εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών σε περίπτωση υπέρβασης των επιθυμητών στόχων-ορίων.
- Εντοπισμός των βασικών αιτιών (root cause) για περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων και επίμονων προβλημάτων.

Φυσικά η εμφύτευση ενός τέτοιου προγράμματος παρακολούθησης του συστήματος συμπεριλαμβάνει τη συνεχή μέτρηση των επιλεγμένων παραμέτρων και τη σύγκριση τους με τους στόχους που έχουμε θέσει. Ταυτόχρονα απαιτείται η συστηματική καταγραφή των πληροφοριών που συλλέγονται και η τήρηση μητρώων ποσοτικοποίησης των διαδικασιών που έχουν πραγματοποιηθεί, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης εποπτεία του ελέγχου που γίνεται. Είναι γεγονός ότι τα καλύτερα αποτελέσματα για την κατάσταση μιας μηχανής, προκύπτουν όταν συγκρίνουμε τις νέες μετρήσεις με τις προηγούμενες.

Η βάση του προγράμματος είναι ο καθορισμός συγκεκριμένων προδιαγραφών λειτουργίας για όλα τα εξαρτήματα που θα υποστούν παρακολούθηση και έλεγχο.

Σε πολλές περιπτώσεις, όπως για την ταχύτητα ενός επενεργητή, την κατάσταση του υδραυλικού ρευστού και την παροχή εξόδου μιας υδραυλικής αντλίας, η διαδικασία αυτή είναι αρκετά εύκολη και ο καθορισμός των αποδεκτών ορίων λειτουργίας γίνεται κατευθείαν με την χρήση των στοιχείων του εκάστοτε κατασκευαστή. Ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις όπως ο καθορισμός των ανεκτών επιπέδων ρύπανσης του υδραυλικού υγρού, που εξαρτάται από τον επιμέρους εξοπλισμό αλλά και από τον χρήστη, απαιτείται πολυπαραγοντική μελέτη.

Αφού ολοκληρωθεί αυτό το κομμάτι, προχωράμε στον καθορισμό των επιπέδων δράσης και των διαδικασιών που πρέπει να εφαρμοστούν για την επιδιόρθωση. Ιδανικά, επιλέγουμε ένα συγκεκριμένο στάδιο δράσης, αλλά συχνά απαιτείται να γίνει μια δεύτερη ενέργεια για την πλήρη προστασία του συστήματος. Σύμφωνα με αυτά ορίζουμε τα τρία ακόλουθα στάδια δράσεων:

- Στόχος: αποδεκτή απόδοση, καμία δράση.
- Προειδοποίηση: όταν η μετρούμενη παράμετρος δεν εμφανίζει την επιθυμητή απόδοση, δηλαδή έχει μετακινηθεί από τον στόχο και απαιτείται επιβεβαίωση και διερεύνηση της κατάστασης.

- Δράση: όταν η μετρούμενη παράμετρος παρεκκλίνει αρκετά από τον στόχο και είναι απαραίτητες οι κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες για να επανέρθει στην αρχική της κατάσταση.

3.4 Διαθέσιμες επιλογές τεχνικών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συνθηκών λειτουργίας

Η πρώτη κίνηση που πρέπει να γίνει είναι ο προσεκτικός έλεγχος του συστήματος ώστε να καθοριστούν τα εξαρτήματα εκείνα που είναι κρίσιμα για την λειτουργία του υδραυλικού συστήματος ή να εντοπιστεί το επιμέρους εξάρτημα που βάσει του ιστορικού και της εμπειρίας των μηχανικών εμφανίζει σε περίπτωση αστοχίας ή δυσλειτουργίας, την μεγαλύτερη πιθανότητα να επηρεάσει καθοριστικά την λειτουργία του συστήματος.

Αφού καταστεί σαφής η δομή και η ανάλυση του συστήματος το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου παρακολούθησης και ελέγχου αυτού.

Σε ένα τυπικό υδραυλικό σύστημα υπάρχουν πολλές παράμετροι που μπορούν να παρακολουθηθούν δυναμικά και η επιλογή των κατάλληλων εξαρτάται από την εφαρμογή, το σχετικό κόστος που προκύπτει σε περίπτωση βλάβης του εξαρτήματος ή του συστήματος και από την ευαισθησία της επιλεγθείσας τεχνικής.

Η διακριτική ικανότητα του εξοπλισμού που εγκαθιστούμε καθορίζει την επιτυχία ενός προβλεπτικού προγράμματος συντήρησης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η έγκαιρη ανίχνευση μικρών μεταβολών στην μετρούμενη παράμετρο.

Λάθος επιλογή εξοπλισμού οδηγεί συχνά στην ανίχνευση ενός ήδη κατεστραμμένου εξαρτήματος παρά στην ανίχνευση των αρχικών συμπτωμάτων.

Οι τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του υδραυλικού εξοπλισμού μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Οπτικός έλεγχος – συχνές επιθεωρήσεις του εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένου τις διαρροές
- Παρακολούθηση της ρύπανσης του εργαζόμενου μέσου – έλεγχος του ολικού επιπέδου των ρύπων στο σύστημα.
- Τριβολογία – η μελέτη των τριβών αποτελεί την επόμενη κίνηση μετά τον έλεγχο της ρύπανσης και δίνει περισσότερες πληροφορίες στους υπεύθυνους συντήρησης για τον τύπο και την ποσότητα των ανεπιθύμητων σωματιδίων που υπάρχουν στο κύκλωμα. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τεχνικές ανάλυσης και χαρακτηρισμού των αποβλίττων και ανάλυσης των ελαίων λίπανσης.
- Λειτουργικές παράμετροι – πίεση, ροή, ταχύτητα, στρέψη, θερμοκρασία, μετρήσεις ισχύς.
- Δυναμικές μετρήσεις – κραδασμοί, stress waves, ανάλυση ηχητικού φάσματος και ακουστικές εκπομπές.

3.4.1 Οπτικές επιθεωρήσεις

Ανέκαθεν, η οπτική επιθεώρηση των μηχανών υπήρξε ένα από τα βασικότερα εργαλεία των μηχανικών για τον προσδιορισμό της λειτουργικής κατάστασής τους. Δεδομένου μάλιστα ότι το κόστος εφαρμογής αυτής της τεχνικής είναι μικρό, δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να παραλείπεται από οποιοδήποτε πρόγραμμα τεχνικής συντήρησης, λειτουργώντας συμπληρωματικά στις υπόλοιπες τεχνικές.

Η οπτική επιθεώρηση των υδραυλικών εγκαταστάσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα είναι πιθανότατα η πιο απλή προσέγγιση ενός προγράμματος συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου της κατάστασης λειτουργίας μιας εγκατάστασης, που εξασφαλίζει γενική εποπτεία στον εγκατεστημένο εξοπλισμό. Επίσης, μπορεί να αποτελέσει μέθοδο ανίχνευσης διαρροών προς το περιβάλλον και σε κάποιες περιπτώσεις μπορούμε μέσω της επιθεώρησης της τελικής παραγωγής να οδηγηθούμε έμμεσα σε ανίχνευση δυσλειτουργιών.

Για παράδειγμα, μια εξαιρετικά επιτυχημένη εναλλακτική λύση για την ανίχνευση πολύ μικρών διαρροών δόθηκε από το σύστημα ανίχνευσης διαρροών για ρευστά με βάση το λάδι Spectrolin από την εταιρεία Advanced Engineering Ltd Basingstoke UK.



- Προσθέτουμε στο υδραυλικό κύκλωμα που βρίσκεται υπό έλεγχο μια μικρή ποσότητα υγρής, φωσφορίζουσας βαφής (20ml για κάθε 5 litres λαδιού).
- Θέτουμε σε λειτουργία το σύστημα μας ώστε να αναμειχθεί και να κυκλοφορήσει μαζί με το εργαζόμενο μέσο.
- Το μείγμα που έχει προκύψει ακολουθεί την διαδρομή του ρευστού και είναι ευαίσθητο σε υπεριώδες ή μπλε φως υψηλής έντασης
- Το ρευστό που διαφεύγει εμφανίζει ως αντίδραση σε λάμπα ειδικού τύπου ένα κίτρινο/πράσινο χρώμα.

Εικόνα 3.1:Ειδική βαφή Oil-Glo (Advanced Engineering Ltd Basingstoke UK).

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι εάν η βαφή αυτή προστεθεί στο υδραυλικό κύκλωμα παραμένει για πάντα ενεργή και καθιστά την ανίχνευση των διαρροών μια αρκετά εύκολη διαδικασία ακόμα και από ανειδίκευτο προσωπικό.

3.4.2 Τεχνικές παρακολούθησης της ρύπανσης του υδραυλικού ρευστού

Το υδραυλικό υγρό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι και βασική συνιστώσα ενός υδραυλικού συστήματος όπως έχουμε αναλύσει σε προηγούμενο κομμάτι (βλέπε Κεφάλαιο 1.3.1) και θα πρέπει συνεχώς να διατηρούμε σε άριστη κατάσταση.

Η ποσοτικοποίηση της σωματιδιακής ρύπανσης των εργαζόμενων μέσων στα υδραυλικά συστήματα τυποποιείται με τρεις τρόπους: κατά NAS 1638, κατά ISO 4406:199 και κατά SAE 4059 και η αντιστοίχιση μεταξύ αυτών των τριών συστημάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί:

ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ		
NAS 1638	ISO 4406 : 1999	SAE AS 4059
3	14/12/9	4
4	15/13/10	5
5	16/14/11	6
6	17/15/12	7
7	18/16/13	8
8	19/17/14	9
9	20/18/15	10
10	21/19/16	11
11	22/20/17	12
12	23/21/18	13

Πίνακας 3.2: Αντιστοίχιση των τριών τυποποιήσεων NAS1638,ISO406 και SAE AS4059 για τα υδραυλικά ρευστά.

Πλέον, η χρήση των τυποποιήσεων κατά NAS και SAE AS έχει μειωθεί και συνήθως χρησιμοποιούμε την τυποποίηση κατά ISO που κωδικοποιεί κάθε κλάση καθαρότητας με τρεις αριθμούς. Κάθε αριθμός του κωδικού αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο εύρος αριθμού σωματιδίων ανά ml και αντιστοιχίζεται σε σωματίδια διαστάσεων 4μm, 6μm και 14μm αντίστοιχα (βλέπε Παράρτημα Β).

3.4.2.1 Μέθοδοι ποσοτικής μέτρησης σωματιδίων

Σε αυτήν κατηγορία εμπίπτουν όλα τα όργανα που μπορούν να μετρήσουν το μέγεθος και να καταγράψουν με κάποιο τρόπο μεμονωμένα σωματίδια που εμπεριέχονται στο εργαζόμενο μέσο. Επίσης, οι τεχνικές αυτές, εκτός από την πρώτη, βασίζονται στην μικροσκοπική ανάλυση και μας δίνουν την δυνατότητα άντλησης πληροφοριών για την μορφολογία των ρύπων σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητο.

Οπτική μέτρηση με χρήση μικροσκοπίου

Το οπτικό μικροσκόπιο είναι πιθανότατα από τα πιο ευέλικτα όργανα παρακολούθησης της ρύπανσης καθώς όχι μόνο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη της καταμέτρησης και επισκόπησης του μεγέθους των σωματιδίων, αλλά και της εκτίμησης του είδους της ρύπανσης που υπάρχει στο ρευστό. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί, ότι η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται έπειτα από την εφαρμογή αναλύσεων παρακολούθησης των αποβλήτων.

Ο διαχωρισμός των ρύπων που εμπεριέχονται στο εργαζόμενο ρευστό γίνεται με διήθηση κενού και στη συνέχεια εναπόθεση σε ειδική μεμβράνη ανάλυσης. Το μέγεθος των πόρων και ο τύπος της μεμβράνης που χρησιμοποιούνται κάθε φορά εξαρτώνται από την εφαρμογή, αλλά συνήθως το μέγεθος των πόρων κυμαίνεται στα 1.2 μm.

Ύστερα από τη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας του δείγματος, μπορούμε να παρατηρήσουμε την επιφάνεια της μεμβράνης, αφού τη μεγεθύνουμε. Ακολουθεί ταξινόμηση των μεμονωμένων σωματιδίων με βάση το μέγεθος τους συγκρίνοντας τα με ένα βαθμονομημένο πλέγμα τετραγωνιδίων που υπάρχει στον προσοφθάλμιο φακό του μικροσκοπίου.

Η αξιολόγηση του μεγέθους των σωματιδίων γίνεται σύμφωνα με τη μεγαλύτερη διάσταση τους και δεδομένου ότι απαιτείται αρκετός χρόνος για τον έλεγχο όλης της μεμβράνης χρησιμοποιούνται τεχνικές στατιστικών κατανομών σε κάποια τμήματα αυτής.

Αν και τα σωματίδια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε οποιαδήποτε ζώνη μεγέθους, συνηθίζεται να λαμβάνουμε μετρήσεις των σωματιδίων για μεγέθη μεγαλύτερα από 5,15 ,25 ,50 και 100 μm. Από αυτές τις αθροιστικές μετρήσεις, η απόκλιση της μέτρησης προκύπτει με αφαίρεση, αν απαιτείται παρουσίαση με τυποποίηση NAS 1638.

Κατά την τυποποίηση ISO 4406 υπάρχουν δύο μέθοδοι: η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιεί εκπεμπόμενο φως ενώ η δεύτερη προσπίπτουσα δέσμη φωτός. Συνηθίζεται να εφαρμόζουμε την δεύτερη μέθοδο επειδή δεν απαιτείται πρόσθετη προετοιμασία της μεμβράνης πριν την διαδικασία της μέτρησης και έτσι ελαχιστοποιούμε την ρύπανση από άλλες πηγές. Επιπλέον παρέχει και ένα ακόμα πλεονέκτημα διότι μας δίνει την δυνατότητα πέρα από την καταμέτρηση της παρατήρησης της μορφολογίας των σωματιδίων.

Ηλεκτρονικός υπολογιστής ανάλυσης εικόνας (Image Analyzing Computer/IAC)

Ύστερα από προσπάθειες να μειωθεί ο έντονος φόρτος εργασίας που ενέχει η προαναφερθείσα τεχνική αναπτύχθηκαν τα IAC's.

Σε αυτήν την τεχνική μια βιντεοκάμερα σαρώνει την επιφάνεια της μεμβράνης, η εικόνα μετατρέπεται σε οπτικό σήμα και στη συνέχεια μεταφέρεται προς επεξεργασία σε υπολογιστή. Τα σωματίδια προσδιορίζονται σε σχέση με την επιφάνεια της μεμβράνης μέσω είτε της χρωματικής αντίθεσης τους είτε της χρωματικής κλιμάκωσης σε γκρι τόνο.

Η λογική που ακολουθείται από τον υπολογιστή είναι η καταμέτρηση και η επιμέτρηση των σωματιδίων χρησιμοποιώντας μια παράμετρο αναφοράς. Έτσι, η επεξεργασμένη εικόνα ξαναδημιουργείται και παρουσιάζεται εκ νέου σε οθόνη.

Η μέθοδος αυτή μπορεί εν δυνάμει να μειώσει την παρέμβαση του χρήστη στο πεδίο της μέτρησης και επίσης προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης πληθώρας παραμέτρων αξιολόγησης του μεγέθους όπως η μεγαλύτερη διάσταση, το προβλεπόμενο μήκος, το εμβαδό και η περιφέρεια. Ωστόσο, η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν επιτυγχάνεται πάντα εξοικονόμηση χρόνου λόγω διαφόρων μειονεκτημάτων, όπως περιπτώσεις όπου οι ρύποι παρουσιάζουν ίδιο χρώμα με τον φόντο και άλλες όπου η χρήση ακατάλληλων ή λιγοστών μεγεθύνσεων οδηγούν σε παραλείψεις ρυπαντών.

Μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων (Scanning Electron Microscope/SEM)

Αυτού του είδους τα μικροσκόπια βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον τομέα του ελέγχου της ρύπανσης των ρευστών συμπεριλαμβάνοντας την μέτρηση του μεγέθους, τον χαρακτηρισμό αλλά και την χημική ανάλυση της στοιχειώδους δομής των σωματιδίων-ρύπων.

Μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών, φτάνοντας μέχρι και τα 0.1 μm και εμπεριέχουν προγράμματα ανάλυσης της εικόνας, που μπορούν να μας δώσουν ακριβή καταμέτρηση των σωματιδίων μιας συγκεκριμένης, μικρής περιοχής της μεμβράνης, στην οποία έχει γίνει η εναπόθεση.

Εντούτοις, λόγω του υψηλού κόστους που απαιτείται για τέτοιου είδους αναλύσεις, συνήθως θεωρείται μια δεύτερης βαθμίδας μέθοδος, για ειδικές περιπτώσεις.

Αυτόματοι μετρητές σωματιδίων (Automatic Particle Counter/APC's)

Η εξέλιξη των APC's συνέβαλε καθοριστικά στην ανάπτυξη της έρευνας του ελέγχου της ρύπανσης των ρευστών εργαζόμενων μέσων τα τελευταία 20 χρόνια. Η σωστή χρήση τους, οδηγεί σε ακριβή αποτελέσματα και οικονομία στη λειτουργία. Στην αγορά, υπάρχουν τρία είδη βασικών τεχνολογιών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τα APC's: εξασθένησης ροής (flow decay), λευκού φωτός και τύπου laser.

Στα όργανα τύπου εξασθένησης της ροής (flow decay) χρησιμοποιούνται πολύ λεπτές μεμβράνες από τις οποίες διέρχεται το ρευστό και κατακρατούνται τα σωματίδια που μπορεί να υπάρχουν. Η ποσότητα των σωματιδίων υπολογίζεται μετρώντας την πτώση πίεσης στα άκρα της μεμβράνης και χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη προγραμματισμένη κατανομή ρύπανσης. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε μια εικόνα για την καθαρότητα του ρευστού, δηλαδή αν γίνεται πιο καθαρό ή πιο βρώμικο. Η ακρίβεια της μέτρησης μπορεί να είναι αμφισβητήσιμη καθώς το όργανο θέτει αυθαίρετα μια προκαθορισμένη κατανομή ρύπανσης, όμως ένα ισχυρό πλεονέκτημα είναι ότι δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη αέρα υπό μορφή φυσαλίδων.

Οι μετρητές σωματιδίων λευκού φωτός βασίζονται στο αξίωμα της εξάλειψης του φωτός. Σε αυτούς το δείγμα του ρευστού διέρχεται από μια πηγή φωτός και έναν φωτό-αισθητήρα. Τα σωματίδια που ενυπάρχουν στο ρευστό αλληλεπιδρούν με το φως που ακτινοβολείται διαμέσου μιας στενής, αισθητήριας διόδου και τελικά μειώνουν την ένταση του φωτός, φαινόμενο το οποίο εκφράζεται με δημιουργία ηλεκτρικών παλμών στον φωτό-αισθητήρα. Ο αριθμός και το μέγεθος των παλμών που ανιχνεύονται αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα μεγέθη και αριθμό σωματιδίων που υπάρχουν στο εργαζόμενο μέσο.

Οι μετρητές με laser λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με αυτόν τύπου λευκού φωτός, αλλά χρησιμοποιούν ως πηγή φωτός ένα laser. Αυτού του τύπου οι μετρητές παρουσιάζουν σταθερότητα και απαιτούν βαθμονόμηση μόνο μια φορά το χρόνο, ενώ μπορούν να ανιχνεύσουν με ακρίβεια σωματίδια μεγέθους μέχρι και 2 μm.

Ωστόσο, τα APC's υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς, που αν δεν εφαρμοστούν, οδηγούν στη λήψη εσφαλμένων μετρήσεων. Κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις που λαμβάνουμε είναι: (1) ο τύπος του ρευστού, (2) η κατάσταση και η αδιαφάνεια του ρευστού, (3) η συγκέντρωση και το μέγεθος των σωματιδίων. Επίσης, τα συγκεκριμένα όργανα μπορούν να λειτουργήσουν μόνο σε καθαρά, ομογενή ρευστά και δεν παρέχουν καμία πληροφορία σχετική με την μορφολογία των ρύπων.

Τα APC's, ανάλογα με τον τύπο τους, μπορούν να δώσουν δεδομένα για τα σωματίδια σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών. Σήμερα, είναι διαθέσιμοι στην αγορά φορητοί μετρητές που μπορούν να εργασθούν είτε με άμεση σύνδεση στο σύστημα που βρίσκεται υπό εξέταση ή σε δείγματα που έχουμε λάβει από αυτό και ενσωματώνουν πληθώρα χαρακτηριστικών όπως: δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων, δυνατότητα σύνδεσης με Η/Υ για ανταλλαγή δεδομένων.

Η δυνατότητα που μας δίνεται από την χρήση των APC's να λαμβάνουμε ταχύτατες μετρήσεις, υψηλής ακριβείας, τα καθιστά πλέον απαραίτητα όργανα σε εφαρμογές όπως οι δοκιμές φίλτρων, ο έλεγχος της ευαισθησίας στη ρύπανση των δομικών στοιχείων ενός συστήματος και η παρακολούθηση της εξέλιξης των διαδικασιών flushing.

3.4.2.2 Μέθοδοι ημι-ποσοτικής μέτρησης σωματιδίων

Σε αυτές τις μεθόδους περιλαμβάνονται τεχνικές που αντλούν δεδομένα για τα σωματίδια χρησιμοποιώντας φυσικές αρχές λειτουργίας. Γι' αυτό το λόγο δεν έχουν την δυνατότητα καταμέτρησης αλλά ούτε και ταξινόμησης βάσει του μεγέθους μεμονωμένων σωματιδίων. Οι δυο βασικές μέθοδοι αναλύονται ακολούθως:

Αναλυτές κατανομής (Distribution Analysers)

Οι αναλυτές κατανομής είναι μια κατηγορία σωματιδιακών αναλυτών διάχυσης φωτός που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σωματίδια μεγάλου εύρους μεγεθών (0.1 – 2000 μm) και μεγάλων συγκεντρώσεων.

Η αρχή λειτουργίας της ανίχνευσης βασίζεται στην περίθλαση λέιζερ, όπου διαστέλλεται μια δέσμη χαμηλής ενέργειας οπτικού λέιζερ. Στη συνέχεια, φιλτράρεται ώστε να προκύψει μια παράλληλη δέσμη φωτός, που διέρχεται μέσω της αισθητήριας διόδου.

Καθώς τα σωματίδια διέρχονται από τον αισθητήρα, το φως διαθλάται σε διαφορετικές γωνίες ανάλογα με το μέγεθος τους και παραλαμβάνεται από έναν πολλαπλών στοιχείων ανιχνευτή στερεάς κατάστασης.

Τα σήματα από τον ανιχνευτή αναλύονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και προκύπτει η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, βάσει ογκομετρικών μετρήσεων και μετρήσεων μάζας.

Η συγκεκριμένη τεχνική απαιτεί σχετικά υψηλά επίπεδα ποσότητας σωματιδίων στο ρευστό έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ανίχνευση επαρκών σημάτων διάθλασης. Δεδομένου ότι τέτοια επίπεδα ρύπανσης είναι τις περισσότερες φορές μη αποδεκτά στα σύγχρονα υδραυλικά συστήματα, η καταλληλότητα αυτού του τύπου οργάνων αμφισβητείται και η χρήση του έχει μειωθεί αρκετά.

Απόφραξη πλέγματος (Mesh Blockage)

Η τεχνική πλέγματος βασίζεται στην διέλευση ρευστού με σωματίδια-ρύπους διαμέσου μιας μεμβράνης ή ενός δίσκου που φέρουν πλέγμα πόρων συμμετρικού μεγέθους και στη συνέχεια προκαλείται έμφραξη των πόρων και ανάπτυξη διαφορικής πίεσης στον δίσκο.

Εφόσον ο αριθμός των πόρων (ή ανοιγμάτων) είναι γνωστός, γνωρίζοντας τον βαθμό έμφραξης του δίσκου, μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των σωματιδίων. Ο καθαρισμός του δίσκου επηρεάζεται από την αντιστροφή της ροής σε κάθε κύκλο λειτουργίας και η επιτυχία της διαδικασίας εξαρτάται από τον τύπο του δίσκου και μορφολογία των ρύπων.

Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε με διάφορες παραλλαγές, στην αρχή του 1990, από το πανεπιστήμιο του Bath και επίσης από τον J.C Fitch. Στη συνέχεια, οι διάφορες θεωρητικές παραλλαγές ενσωματώθηκαν σε προϊόντα της αντίστοιχης βιομηχανίας, όπως αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 3.2:



Εικόνα 3.2: Φορητός ελεγκτής ρύπανσης PCM400 (Pall Europe Ltd).

Τα όργανα που λειτουργούν με αυτήν την τεχνική, συνήθως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με άμεση σύνδεση στο σύστημα αλλά και με ξεχωριστή δειγματοληψία.

Το πλεονέκτημα αυτών των οργάνων είναι ότι μπορούν να αναλύσουν υδραυλικά ρευστά των οποίων η φύση αποκλείει την χρήση των APC's. Τέτοιες περιπτώσεις είναι: τα γαλακτώματα (μίξη νερού-λαδιού), υδραυλικά ρευστά που περιέχουν άλλα μη αναμίξιμα υγρά, υγρά δύο-φάσεων και υγρά που περιέχουν αέρα και καυστικά διαλύματα. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνικές αυτές είναι περισσότερο κατάλληλες για υψηλής ρύπανσης δείγματα, τα οποία περιέχουν μεγάλο αριθμό μικρών σωματιδίων, καθώς σε τέτοιου είδους περιπτώσεις οι αναλύσεις μέσω της άμεσης σύνδεσης με APC's επηρεάζονται από την τυχαιότητα.

3.4.2.3 Τεχνικές σύγκρισης

Οι τεχνικές σύγκρισης βασίζονται στη χρήση μεμβρανών και απαιτούν εξοπλισμό παραπλήσιο με αυτόν των τεχνικών οπτικής καταμέτρησης, καθώς πολλές φορές χρησιμοποιούν μικροσκόπια ή μεγεθύνσεις εικόνας. Οι ρυπαντές που περιέχονται στο ρευστό εναποτίθενται σε μια μεμβράνη και η πυκνότητα τους συγκρίνεται με μια σειρά προπαρασκευασμένων πρότυπων μεμβρανών που αντιπροσωπεύουν διάφορα επίπεδα ρύπανσης.

Η πρότυπη μεμβράνη που μοιάζει πιο πολύ με την δοκιμαστική μεμβράνη λαμβάνεται ως το αποτέλεσμα του ελέγχου. Εναλλακτικά, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε συγκρίσεις με φωτογραφίες από επιλεγμένα επίπεδα ρύπανσης. Η τεχνική αυτή συναντάται με τον όρο Τεστ Προσαρμογής (Test Patch).

Η χρήση των τεχνικών σύγκρισης συνηθίζεται σε περιπτώσεις όπου δεν δικαιολογούνται διορθωτικές παρεμβάσεις όταν τα επίπεδα ρύπανσης είναι κατώτερα από τα επίπεδα που έχουν τεθεί ως στόχος. Συχνά μπορούν να δράσουν συμπληρωματικά σε άλλες τεχνικές, προσφέροντας νέες πληροφορίες για την μορφολογία και την χημική σύσταση των ρυπαντών.

3.4.2.4 Βαρομετρική ανάλυση (Gravimetric Analysis)

Η βαρομετρική ανάλυση είναι μια τεχνική μέτρησης του βάρους των στερεών σωματιδίων που υπάρχουν σε έναν συγκεκριμένο όγκο ρευστού.

Αναλυτικά, μια καθορισμένη ποσότητα ρευστού (συνήθως 100ml) διέρχεται από μια μεμβράνη ανάλυσης (0.8μm), που έχουμε ζυγίσει, μέσω διήθησης κενού. Στη συνέχεια, η μεμβράνη καθαρίζεται από το πλεονάζον ρευστό, στεγνώνεται και ζυγίζεται μια ακόμα φορά. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει το βάρος των στερεών ρύπων και καταγράφεται σε mg/l του ρευστού.

Παρότι η εφαρμογή της βαρομετρικής ανάλυσης είναι εύκολη, συχνά τα σφάλματα της ζύγισης είναι σημαντικά, διότι πλέον, τα σύγχρονα υδραυλικά συστήματα φέρουν στο κύκλωμα τους φίλτρα και η ποσότητα των στερεών αποβλίττων που υπάρχει είναι πολύ χαμηλή (συνήθως 0.2 με 1 mg/l). Έτσι υπάρχει υψηλή μεταβλητότητα στα αποτελέσματα που λαμβάνουμε, καθώς τα στερεά απόβλιττα που κατακρατούνται είναι πολύ ελαφριά (0.0002g). Ο μόνος τρόπος για βελτιώσουμε την ακρίβεια είναι να αυξήσουμε τον όγκο του ρευστού, που χρησιμοποιούμε σαν δείγμα (περίπου σε 1l ή και περισσότερο).

Η τεχνική αυτή δεν ενδείκνυται για την παρακολούθηση των επιπέδων καθαρότητας των υδραυλικών υγρών, αλλά πολλές φορές είναι χρήσιμη για τον έλεγχο των επιπέδων καθαρότητας των δομικών στοιχείων ενός υδραυλικού συστήματος, όπου συνήθως συναντάμε συσσώρευση περισσότερων στερεών σωματιδίων.

3.4.2.4 Μαγνητικοί αναλυτές αποβλίττων (Magnetic Debris Analysers)

Οι αναλυτές αυτού του τύπου αποτελούν μια ακόμα κατηγορία οργάνων για την παρακολούθηση της δημιουργίας παραμαγνητικών και σιδηρομαγνητικών στερεών αποβλίττων φθοράς στα υδραυλικά συστήματα, αλλά δεν είναι δυνατό να γίνει ταξινόμηση των αποτελεσμάτων σε κωδικοποιημένη μορφή, όπως συνήθως επιδιώκουμε.

Ωστόσο, χρησιμοποιούνται όταν είναι απαραίτητο να βρούμε την ποσότητα αυτού του είδους των αποβλίττων στο σύστημα, όπως απαιτείται σε συστήματα μετάδοσης και στα κιβώτια ταχυτήτων. Πλεονέκτημα αυτών των οργάνων είναι ότι ο τρόπος διαχωρισμού των αποβλίττων φθοράς μπορεί να οδηγήσει σε ακριβή ταυτοποίηση του τύπου των αποβλίττων (ακριβής χημική σύσταση).

3.4.2.5 Χαρακτηρισμός σωματιδίων και παρακολούθηση των αποβλίττων

Τα απόβλιττα ή οι ρυπαντές που συναντάμε κατά τον έλεγχο των υδραυλικών ρευστών μπορούν να διακριθούν σε τρεις ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

- Οι υγροί ρυπαντές οφείλονται στην εισχώρηση άλλων υγρών, όπως καυσίμων ή νερού, που οδηγούν σε υποβάθμιση του συστήματος.
- Οι αέριοι ρυπαντές είναι συνήθως αέρας, ο οποίος έχει εισέρθει στο σύστημα λόγω χαμηλής στάθμης ή δημιουργία τύρβης στην επιφάνεια του ορυκτέλαιου στην δεξαμενή.
- Οι στερεοί ρυπαντές εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία στην μορφολογία τους (μέγεθος, μορφή) και αποτελούν τη βασική μορφή ρυπαντών που επιδρά με τον πιο καταστροφικό τρόπο στο υδραυλικό σύστημα. Ως πηγές στερεών σωματιδίων θεωρούμε οποιουδήποτε τύπου φθορά προκληθεί στο σύστημα που οδηγεί αντίστοιχα σε απόβλιττα φθοράς αλλά και οποιαδήποτε άλλη συνιστώσα μπορεί να οδηγήσει σε στερεούς ρυπαντές.

Η διαδικασία παρακολούθησης των ρυπαντών του συστήματος και ο χαρακτηρισμός των σωματιδίων ασχολείται με την ανάλυση όλων των στερεών σωματιδίων. Σήμερα, η παρακολούθηση της ρύπανσης του εργαζόμενου μέσου στα υδραυλικά συστήματα δεν περιορίζεται στην ανίχνευση της ποσότητας των αποβλίττων και σε διαπιστώσεις μη συμμόρφωσης στα επιθυμητά επίπεδα καθαρότητας αλλά επεκτείνεται στην διερεύνηση των αιτιών που οδηγούν σε αστοχίες και στην οριστική εξάλειψη τους.

Είναι γνωστό ότι οι μηχανισμοί ανάπτυξης της φθοράς επηρεάζονται καθοριστικά από την παρουσία στερεών σωματιδίων σε ένα υδραυλικό σύστημα και γνωρίζουμε αναλυτικά την εξέλιξη που ακολουθούν μέχρι να επέλθει ακόμα και ολική αστοχία του συστήματος.

Ωστόσο, η πηγή προέλευσης αυτών των σωματιδίων είναι συνήθως πιο σύνθετη υπόθεση καθώς μπορεί να δημιουργούνται από το σημείο που υπάρχει η φθορά ή να μεταφέρονται στο ρευστό από κάποιο άλλο απομακρυσμένο σημείο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Στοιχείο	Πιθανές Πηγές
Αλουμίνιο	Ατμόσφαιρα, ρουλεμάν, έμβολα
Βάριο	Πρόσθετα
Βόριο	Πρόσθετα, ψυκτικό νερό
Χρώμιο	Κυλίνδροι, δακτύλιοι εμβόλων, στεγανωτικά
Χαλκός	Ρουλεμάν, ψυκτικές ουσίες, χιτώνια κυλίνδρων, δακτύλιοι εμβόλων
Μόλυβδος	Ρουλεμάν, καύσιμο, γράσο, βαφές, στεγανωτικά, μεταλλικό κράμα συγκόλλησης
Μαγνήσιο	Πρόσθετα, άξονες, βαλβίδες
Φώσφορος	Πρόσθετα
Σιλικόνη	Πρόσθετα, ατμόσφαιρά, φλάντζες, γράσο
Άργυρος	Ρουλεμάν, άξονες
Νάτριο	Πρόσθετα, ψυκτικές ουσίες, γράσο
Κασσίτερος	Πρόσθετα, στεγανωτικά
Τιτάνιο	Ρουλεμάν, δίσκοι και πτερύγια στροβίλων
Ψευδάργυρος	Πρόσθετα, ρουλεμάν, ψυκτικές ουσίες, γράσο
Λάστιχο	'O'-ring βαλβίδων
Μπρούντζος	Έμβολα αντλιών, δακτύλιοι, οδηγοί εμβόλων

Πίνακας 3.3: Πιθανές πηγές ρύπανσης και αντίστοιχα χημικά στοιχεία.

Για παράδειγμα, η ανίχνευση μη επιθυμητών επιπέδων καθαρότητας (διαφορετικό αποτέλεσμα από τον στόχο που θέτουμε λόγω κατασκευαστή ή εμπειρίας) στο υδραυλικό σύστημα που εξετάζουμε μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αυξημένης φθοράς συγκεκριμένων συνιστωσών του συστήματος, παράγοντας που μπορεί να επιβεβαιωθεί από τον τύπο των αποβλίττων. Εναλλακτικά, η αύξηση αυτή μπορεί να έχει προκληθεί λόγω αυξημένης εισχώρησης ρυπαντών από το εργασιακό περιβάλλον που μπορεί να οφείλεται σε φθαρμένα στεγανωτικά, στην καταστροφή των φίλτρων του αναπνευστήρα της δεξαμενής, στην προσθήκη «βρώμικου» υδραυλικού υγρού ή ακόμα και σε λανθασμένη επανεγκατάσταση των ταπών της δεξαμενής.

Τελικά, οποιαδήποτε και αν είναι η αιτία θα πρέπει να διερευνηθεί εις βάθος και να διορθωθεί έτσι ώστε να διατηρούμε και να διασφαλίζουμε την ποιότητα του υδραυλικού υγρού.

Οι τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν αναφέρονται ακολούθως επιγραμματικά, καθώς κάποιες από αυτές έχουν ήδη αναλυθεί:

- Οπτικό μικροσκόπιο (βλέπε Κεφάλαιο 3.4.2.1).
- Μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων (βλέπε Κεφάλαιο 3.4.2.1).
- Φερρογραφία: είναι τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ευρέως τα τελευταία χρόνια για την ανίχνευση μεταβολών στα σιδηρούχα σωματίδια των ορυκτέλαιων. Ο διαχωρισμός των σωματιδίων που προκαλούν ρύπανση πραγματοποιείται με εφαρμογή μαγνητικού πεδίου και παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού σωματιδίων στο ρευστό διαστάσεων από 10 μέχρι 100 μm . Πέρα από τον καθορισμό της μορφής, του μεγέθους και του λόγου μεγέθους μεγάλο-προς-μικρό μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την πηγή των αποβλίττων χρησιμοποιώντας ειδικά εγχειρίδια που κυκλοφορούν στην αγορά όπως η βάση δεδομένων Wear Particle Atlas.
- Ανάλυση με ακτίνες-X.
- Ανάλυση με υπέρυθρη ακτινοβολία.
- Φασματογραφική ανάλυση: είναι μια τεχνική που δίνει τη δυνατότητα του εντοπισμού των διαφόρων συστατικών που υπάρχουν στα ρευστά, όπως για παράδειγμα διαβρωτικά και προσθετικά μέσω της καύσης του ελεγχόμενου δείγματος σε μια πηγή υψηλής ενέργειας (φλόγα ή σπινθήρα) προσδιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο εάν το εργαζόμενο μέσο διατηρεί τις λιπαντικές του ικανότητες και ανταποκρίνεται στις λοιπές λειτουργίες που απαιτούνται. Επιπλέον, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται και στην ανάλυση των λιπαντικών περιλαμβάνοντας ειδικές, ταξινομημένες κατηγορίες που φέρουν δύο ονομασίες: «ρυπαντές» και «μεταλλικά απόβλιττα» και δίνει αποτελέσματα σε ppm. Ωστόσο, έχει μόνο τη δυνατότητα ανίχνευσης διαλυμένων μεταλλικών στοιχείων -όπως ο χαλκός, ο μόλυβδος και ο σίδηρος- όπως αυτά που δημιουργούνται από τη χημική διάβρωση ή μικρά σωματίδια άμεσης παραγωγής ή μεγαλύτερα σωματίδια τα οποία διασπάστηκαν κατά την μετακίνησή τους στο κύκλωμα. Ωστόσο, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η τεχνική αυτή παρουσιάζει χαμηλή ικανότητα ανίχνευσης σε σωματίδια άνω των περίπου 5 με 8 μm . Είναι γεγονός ότι η συνολική ποσότητα όλων των μικρών σωματιδίων που ανιχνεύονται μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής, όμως υπάρχει και η πιθανότητα να ισοδυναμεί με τη συνολική μάζα ελάχιστων μεγάλων αποβλίττων που δεν ανιχνεύθηκαν. Γνωρίζοντας, λοιπόν, ότι η ύπαρξη «μεγάλων» αποβλίττων είναι πιο καθοριστική για τη διαδικασία της φθοράς η φασματογραφική ανάλυση θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές για την εξαγωγή συγκεκριμένων και εμπειριστατωμένων συμπερασμάτων.

3.4.2.6 Ανάλυση των λιπαντικών ιδιοτήτων

Δεδομένου ότι οι λειτουργίες του εργαζόμενου μέσου δεν περιορίζονται στην μεταφορά ισχύος αλλά επεκτείνονται και σε πολλές άλλες (βλέπε Κεφάλαιο 1.3.1) καθώς και το ότι οι εφαρμογές των υδραυλικών

συστημάτων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, η διατήρηση της σωστής σύνθεσης του ρευστού καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων είναι μια περίπλοκη διαδικασία.

Σήμερα, στα περισσότερα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται συνθετικά εργαζόμενα τα οποία εμπλουτίζονται με ειδικές πρόσθετες ουσίες, βελτιωτικά στοιχεία και διαλύτες για να διασφαλίζονται τα ακόλουθα:

- Ενίσχυση της ικανότητας μεταφοράς φορτίων του στρώματος λίπανσης για μείωση της φθοράς.
- Προστασία των επιφανειών καινούριων εξαρτημάτων και μείωση της αντιδραστικότητας τους.
- Εμπλουτισμός με ειδικές προσθετικές ουσίες κατάλληλες για τις ανάλογες εφαρμογές, όπως: αντισκωριακά, αντιοξειδωτικά, προσθετικά έναντι αφρίσματος, βελτιωτικά του δείκτη ιξώδους, βακτηριοκτόνα.

Ουσιαστικά, οποιαδήποτε υποβάθμιση της ποιότητας εργαζόμενου μέσου οδηγεί σε αύξηση της φθοράς στο υδραυλικό σύστημα και είναι επιτακτική ανάγκη η συνεχής παρακολούθηση και ο έλεγχος των ιδιοτήτων του. Στα πλαίσια ενός προγράμματος ελέγχου του υδραυλικού υγρού μπορούν να παρακολουθούνται οι ακόλουθες παράμετροι είτε από τους χρήστες του υδραυλικού συστήματος είτε από ειδικά εργαστήρια, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδικός εξοπλισμός:

Ιξώδες

Γενικά, οι μεταβολές στην πυκνότητα υποδηλώνουν κάποιο πρόβλημα. Η αύξηση του ιξώδους μπορεί να είναι αποτέλεσμα οξείδωσης ή προσθήκης λανθασμένης κατηγορίας υδραυλικού ρευστού. Προφανώς το αυξημένο ιξώδες επιφέρει αύξηση των απωλειών πίεσης στο σύστημα, όμως η προσθήκη ενός διαφορετικού τύπου λαδιού μπορεί να φέρει καταστροφικές συνέπειες, εάν δεν υπάρχει συμβατότητα μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο προκαλείται χημική αντίδραση που οδηγεί σε κατακρήμνιση των πρόσθετων και τελικά είτε σε τμηματική ή σε ολική απώλεια των ιδιοτήτων του υδραυλικού ρευστού και έμφραξη του φίλτρου.

Μειώσεις στο ιξώδες παρατηρούνται σπανίως στα υδραυλικά συστήματα και σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται υποδηλώνει συνήθως ρύπανση είτε από διαλυτικά μέσα, ή από λάδι με χαμηλότερο δείκτη ιξώδους ή ακόμα και από νερό. Οι δοκιμές συνήθως γίνονται στους 40°C και στους 100°C, ώστε να παρατηρούνται οι μεταβολές του ιξώδους.

Οξύτητα

Η γήρανση του ρευστού λόγω οξείδωσης συνήθως χαρακτηρίζεται από αύξηση της οξύτητας του. Συνήθως, τα ορυκτέλαια περιέχουν ανασταλτικά πρόσθετα, τα οποία εμποδίζουν την γρήγορη απορρόφηση του οξυγόνου. Εάν αυτά έχουν καταστραφεί, τότε επέρχεται περαιτέρω οξείδωση με την οποία τα προϊόντα της αρχικής οξείδωσης μετατρέπονται σε οξέα που διαβρώνουν τα μεταλλικά μέρη των εξαρτημάτων.

Η τεχνική περιλαμβάνει την ογκομετρική ανάλυση ενός υλικού (συνήθως) ώστε να φέρει το ορυκτέλαιο σε ουδέτερη κατάσταση. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης εκφράζεται με έναν αριθμό γραμμαρίων που απαιτείται για την ουδετεροποίηση 1g ορυκτέλαιου.

Πρόσθετα

Έχουμε ήδη αναφέρει την πολυπλοκότητα της σύνθεσης του ρευστού, με την έννοια ότι είναι απαραίτητο να διατηρείται συνεχώς μια σχετική ισορροπία των πρόσθετων ουσιών αυτού, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατάσταση λειτουργίας. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξακρίβωση της κατάστασης των πρόσθετων στο εργαζόμενο μέσο είναι η φασματογραφική και η υπέρυθη ανάλυση,

οι οποίες επειδή απαιτούν ειδικό εξοπλισμό, συνήθως πραγματοποιούνται από εξειδικευμένα εργαστήρια ή εταιρείες ορυκτέλαιων.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι και οι δυο τεχνικές δεν παρέχουν δυνατότητα εντοπισμού της αιτίας που επέφερε την αλλοίωση ή τη φθορά στο λιπαντικό και γι' αυτόν το λόγο θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές για την εξαγωγή συγκεκριμένων και εμπειριστατωμένων συμπερασμάτων.

Νερό

Η παρουσία νερού σε ορυκτά, συνθετικά και φυσικά έλαια μπορεί να είναι επιβλαβής και για το εργαζόμενο μέσο αλλά και για ολόκληρο το υδραυλικό σύστημα. Όχι μόνο μπορεί να προκαλέσει χημική διάβρωση σε περίπτωση που βρίσκεται σε αέρια μορφή, αλλά και να οδηγήσει σε μείωση της ικανότητας μεταφοράς φορτίου του λιπαντικού.

Έχει εκτιμηθεί γενικά ότι ακόμα και ποσότητα διαλυμένου νερού της τάξης των 400 ppm σε ορυκτέλαιο οδηγεί σε μείωση της ζωής των ένσφαιρων τριβών στο $2^{1/2}$ έναντι συγκέντρωσης 100 ppm και κατά 5 φορές σε συγκέντρωση 25 ppm.

Ένα ακόμα πρόβλημα δημιουργείται από την αλληλεπίδραση του νερού με τα προσθετικά των εργαζόμενων μέσων, που οδηγεί στον σχηματισμό ιζήματος. Σε αυτήν την περίπτωση, αφενός μεν χάνονται οι ιδιότητες των προσθετικών ουσιών, αφετέρου δε μπορεί να γίνει έμφραξη των ανοχών, των οπών (orifices) αλλά και των φίλτρων του υδραυλικού κυκλώματος.

Η διαδικασία της ανάλυσης των εργαζόμενων μέσων για ανίχνευση νερού είναι εύκολη και οικονομική. Περιλαμβάνει ειδική ογκομετρική ανάλυση και στην αγορά είναι διαθέσιμα ειδικά φορητά όργανα μέτρησης.

3.4.3 Λειτουργικές Παράμετροι

Ο σχεδιασμός ενός υδραυλικού συστήματος γίνεται πάντα στα πλαίσια της εξυπηρέτησης ενός συγκεκριμένου στόχου, γεγονός που συνεπάγεται τη συμμόρφωση και προσαρμογή του υπό σχεδίαση συστήματος σε συγκεκριμένες προδιαγραφές λειτουργίας. Ακόμα και στο στάδιο σχεδιασμού είναι δυνατή η καθιέρωση συγκεκριμένων επιθυμητών επιπέδων (στόχων) και καθορισμός της απόδοσης τους.

Η εγκατάσταση αισθητήρων για τη μέτρηση παραμέτρων, όπως η πίεση και η παροχή, σε στρατηγικά σημεία του κυκλώματος είναι από τις κυριότερες τεχνικές ελέγχου στα υδραυλικά συστήματα. Βασικό στοιχείο για την συλλογή των σωστών αποτελεσμάτων είναι η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα και η τοποθέτηση των αισθητηρίων στα κατάλληλα σημεία. Ακολούθως παρατίθενται οι πιθανές περιοχές που μπορούμε να παρακολουθήσουμε αυτές τις παραμέτρους:

Παροχή όγκου

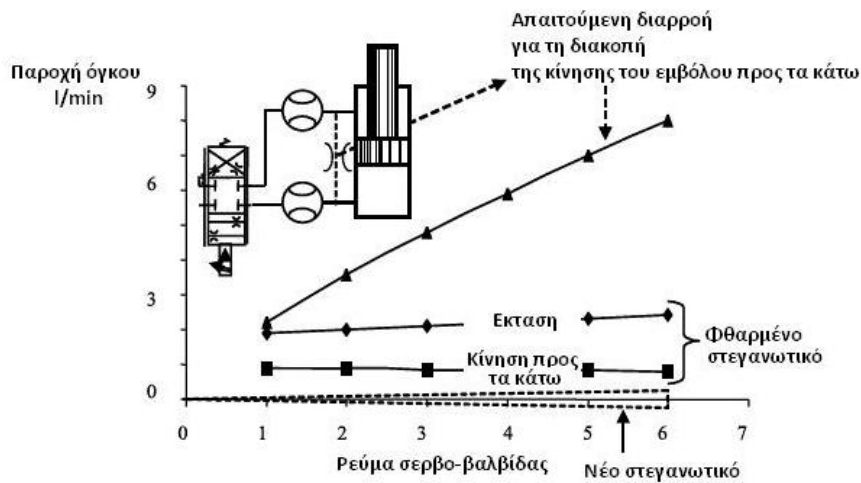
Βασική παράμετρος ενός υδραυλικού κυκλώματος αποτελεί η παροχή όγκου που εισέρχεται ή εξέρχεται από μια συνιστώσα του κυκλώματος αυτού.

Συχνά αποτελεί μια άμεση μέτρηση της απόδοσης του συστήματος, όπως για παράδειγμα η μέτρηση της ροής εξόδου της αντλίας ή μιας βαλβίδας ελέγχου ροής. Σε άλλες περιπτώσεις, η παροχή όγκου μπορεί να μετρηθεί έμμεσα, με τη μέτρηση άλλων βοηθητικών παραμέτρων που καθορίζουν την κατάσταση του εξαρτήματος, όπως η μέτρηση της ταχύτητας των επενεργητών.

Οι μετρήσεις παροχής όγκου της αντλίας, που λαμβάνουμε από ένα υδραυλικό σύστημα σε λειτουργία, αποτελούν ένα μέτρο ένδειξης του ποσοστού της πιθανής διαρροής και κατ'επέκταση της εσωτερικής φθοράς.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εγκατάστασης παροχόμετρων σε διάταξη κυλίνδρου που παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για το σύστημα παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.3. Παρουσιάζονται οι τιμές της

διαρροής που απαιτούνται για την διακοπή της κίνησης του εμβόλου προς τα κάτω σε λειτουργία χωρίς φορτίο. Μέσα από αυτό το διάγραμμα φαίνεται ότι όταν παρουσιάζεται φθορά στην στεγάνωση του κυλίνδρου, η παροχή όγκου που απαιτείται για την διακοπή της κίνησης του προς τα δεξιά αυξάνεται.



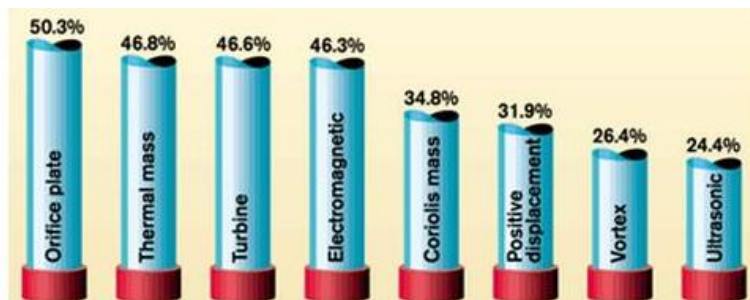
Διάγραμμα 3.3: Μέτρησις παροχής όγκου διαρροής κυλίνδρου με χρήση παροχόμετρων στην είσοδο και στην έξοδο.

Σε ένα σύστημα προβλεπτικής συντήρησης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση παροχόμετρων που εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία, της τάξης του 1 %, ώστε να μπορούν να ανιχνευθούν μικρές αλλαγές στην ροή του εργαζόμενου μέσου και να αποφεύγεται η ανάγνωση λανθασμένων σημάτων. Οι άμεσες μετρήσεις της παροχής θα πρέπει να πραγματοποιούνται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (ιξώδους). Οι δυο προαναφερθέντες παράγοντες επηρεάζουν το ποσοστό διαρροής και φυσικά την ταχύτητα εισόδου για αντλίες σταθερής παροχής. Αυτό είναι κάποιες φορές δύσκολο να επιτευχθεί και ιδιαίτερα για κάποιους συγκεκριμένους τύπους αντλιών με αξονικά έμβολα.

Τότε, ένας πιο βολικός τρόπος για την εκτίμηση της φθοράς είναι η μέτρηση της παροχής όγκου της αποστράγγισης που γίνεται μέσω της εσωτερικής διαρροής στο κέλυφος της αντλίας.

Σήμερα υπάρχουν πάρα πολλές επιλογές διαφορετικών τύπων παροχόμετρων που είναι διαθέσιμοι στην αγορά για κλειστά κυκλώματα σωληνώσεων. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια ενσωματώνουν διάφορες αρχές λειτουργίας και μπορούμε γενικά να τα ομαδοποιήσουμε σε δυο κατηγορίες: τα ροόμετρα νέας τεχνολογίας και τα ροόμετρα παραδοσιακής τεχνολογίας.

- Τα παραδοσιακής (κλασσικής) τεχνολογίας ροόμετρα είναι τα μεταβλητού όγκου (variable area flowmeters VAF), τουρμπίνας (Turbine-type meters), θετικής μετατόπισης (positive displacement) και τα διαφορικής πίεσης (orifice, pitot).
- Νέας τεχνολογίας ροόμετρα θεωρούμε τα ηλεκτρομαγνητικά, των υπερήχων, τα VORTEX, τα Coriolis και τα θερμικά. Παρότι υπάρχει μια γενικότερη στροφή της αγοράς προς τα νέας τεχνολογίας ροόμετρα η επιλογή του κατάλληλου ροόμετρου ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή.



Εικόνα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή χρήσης των ροομέτρων στην βιομηχανία ανάλογα με τον τύπο κατασκευής.

Μετρήσεις πίεσης/κενού

Πάρα πολλά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στα υδραυλικά συστήματα, και κυρίως οι βαλβίδες, φέρουν από τον κατασκευαστή τους ειδική σύνδεση για τη μέτρηση της πίεσης, που είναι αναγκαία για την αρχική ρύθμιση του εξαρτήματος. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται για παράδειγμα οι βαλβίδες ανακούφισης, άμεσης δράσης, διαδοχικής δράσης, ελέγχου ροής, οι αντεπίστροφες και οι κύλινδροι. Αυτά τα σημεία σύνδεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε γενικό έλεγχο και παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος αλλά και ως τμήμα μιας διαγνωστικής στρατηγικής σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να διερευνηθεί η αιτία κάποιας δυσλειτουργίας.

Ένας εναλλακτικός τρόπος αξιολόγησης της απόδοσης του συστήματος είναι η εισαγωγή ειδικών προσαρμογέων πίεσης, οι οποίοι μπορούν εγκατασταθούν μέσα σε ήδη εγκατεστημένα εξαρτήματα του κυκλώματος. Συνήθως, οι προσαρμογείς εισάγονται στο εσωτερικό των βαλβίδων.

Γενικά υπάρχουν οι δυο ακόλουθοι βασικοί τύποι μέτρησης της πίεσης που αντιστοιχούν και σε διαφορετική τεχνολογία οργάνων:

- Όργανα άμεσης - μέτρησης πίεσης: τα όργανα αυτά καθορίζουν την υπό μέτρηση πίεση από τη βασική εξίσωση που ακολουθεί και τα αποτελέσματα που εμφανίζουν προκύπτουν από τις σχέσεις αυτές:

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{ή} \quad \Delta p = \Delta h \cdot \rho_m \cdot g$$

- Όργανα έμμεσης - μέτρησης πίεσης: τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν την παραμόρφωση ενός ελαστικού υλικού ή κάποιου ηλεκτρικού, οπτικού ή χημικού φαινομένου για τον προσδιορισμό της μετρούμενης πίεσης. Οι μετρητικοί μεταλλάκτες είναι όργανα τα οποία μετατρέπουν την πίεση που επιδρά σε αυτά σε μια έξοδο που είναι γενικά είτε ένα ηλεκτρικό είτε ένα πνευματικό σήμα. Αυτή η έξοδος είναι λειτουργία της πίεσης εισόδου και μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή.

Γενικά τα περισσότερα αισθητήρια πίεσης χρησιμοποιούν κατά βάση κάποιο αισθητήριο δύναμης. Η παραμόρφωση του αισθητηρίου στοιχείου έχει ως αποτέλεσμα μετατοπίσεις και τάσεις τα οποία μπορούν να ανιχνευτούν και να προκύψει μια βαθμονομημένη μέτρηση της πίεσης. Για παράδειγμα, η μετατόπιση αυτή μπορεί να προκαλεί αλλοίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός πυκνωτή και άρα αλλαγή της χωρητικότητάς του ή αλλοίωση της μαγνητικής διαρροής που διαρρέει ένα ή δύο πηνία, και άρα αλλαγή της ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αυτά παρουσιάζουν στα άκρα τους. Σε αυτήν την λογική στηρίζονται όλοι οι αισθητήρες πίεσης που είναι διαθέσιμοι στην αγορά.

Συγκεκριμένα, οι βασικές απαιτήσεις που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας ενός αισθητηρίου στοιχείου πίεσης είναι ένα μέσο για την απομόνωση των δυο πιέσεων του ρευστού (η μια είναι η μετρήσιμη και η δεύτερη είναι η πίεση αναφοράς), το ελαστικό τμήμα για την μετατροπή της διαφοράς πίεσης σε παραμόρφωση του αισθητηρίου στοιχείου και τέλος η επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου ανίχνευσης για την μετατροπή της παραμόρφωσης σε ένδειξη πίεσης.

Τα κυριότερα είδη αισθητήρων πίεσης είναι τα ακόλουθα:

- Μανόμετρα υγρού και αερίου
- Χωρητικοί αισθητήρες
- Επαγωγικοί αισθητήρες
- Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες και αισθητήρες πιεζοαντίστασης
- Μετρητές μηχανικής τάσης και κυψελίδες φορτίου

Ως μετρητές κενού μπορούμε να ορίσουμε τα μανόμετρα υγρού και αερίου που δίνουν ενδείξεις ορατές αλλά όχι άμεσα μετατρέψιμες σε ηλεκτρικό σήμα. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα μανόμετρα υοειδούς σωλήνα, τα μανόμετρα κεκλιμένου σωλήνα, τα μανόμετρα με ελαστικό σωλήνα Bourdon και τα μανόμετρα με φυσητήρα. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των συνθηκών αναρρόφησης των αντλιών για την αποφυγή την αύξησης του ηχητικού θορύβου που εκπέμπεται από την αντλία σε περιπτώσεις σπηλαιώσης. Σε αυτούς περιλαμβάνονται τα μανόμετρα υοειδούς σωλήνα, τα μανόμετρα κεκλιμένου σωλήνα, τα μανόμετρα με φυση

Για δυναμικές μετρήσεις, όπως η μέτρηση των διαταραχών της πίεσης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση πιο σύγχρονων μεταλλακτών πίεσης, όπως οι υπόλοιποι που έχουν αναφερθεί, έτσι ώστε οι μεταβολές της πίεσης να μεταφράζεται σε ηλεκτρικό σήμα εξόδου και να διαβιβάζεται σε κατάλληλο κύκλωμα ρύθμισης σήματος ώστε να μπορεί να υποστεί στη συνέχεια επεξεργασία.

Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι από τις πιο εύκολες και οικονομικές μεθόδους παρακολούθησης των υδραυλικών συστημάτων. Η συστηματική παρακολούθηση της θερμοκρασίας σε κάποιο εξάρτημα ενός υδραυλικού κυκλώματος μας δίνει τη δυνατότητα να ελέγξουμε την απόδοση αυτού. Γενικά είναι επιθυμητό να διατηρείται η θερμοκρασία λειτουργίας μιας υδραυλικής εγκατάστασης μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή εργασίας και να μην σημειώνονται αυξήσεις στην θερμοκρασία εξαρτημάτων.

Στο επίπεδο του σχεδιασμού, μπορούμε να επιτύχουμε έναν κλειστού βρόχου θερμοκρασιακό έλεγχο εγκαθιστώντας είτε δοχεία ψύξης νερού ή ανεμιστήρες ψύξης στο κύριο σύστημα των αγωγών επιστροφής, ώστε να αποφύγουμε εξαρχής αυξήσεις της θερμοκρασίας.

Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του υδραυλικού υγρού είναι μια σημαντική παράμετρος καθορισμού της κατάστασης του, καθώς η υπερθέρμανση προκαλεί την σταδιακή υποβάθμιση των ιδιοτήτων του. Είναι γενικά αποδεδειγμένο ότι ο κύκλος ζωής του υδραυλικού υγρού μειώνεται κατά το ήμισυ για κάθε αύξηση της τάξης των 10°C όταν αναφερόμαστε σε θερμοκρασίες λειτουργίας πάνω από 50°C.

Αποτελεί επίσης έναν παράγοντα προς μελέτη σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η μέτρηση της ροής, αφού οι μεταβολές στο ιξώδες του υγρού επιδρούν στο ποσοστό διαρροής των εξαρτημάτων και επηρεάζουν τις μετρήσεις των παροχόμετρων που εξαρτώνται από το ιξώδες.

Οι περισσότερες υδραυλικές δεξαμενές κατασκευάζονται και καταλήγουν στον χρήστη με αισθητήρες θερμοκρασίας, που μπορεί να είναι είτε επιφανειακού ή ένθετου τύπου, αλλά θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι η μέτρηση που πραγματοποιούν αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία ή την θερμοκρασία της μάζας, η οποία στη συνέχεια ρυθμίζεται και παρουσιάζεται στον χρήστη.

Η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας σε ένα συγκεκριμένο σημείο μπορεί να μετρηθεί ικανοποιητικά και αρκετά εύκολα με την εγκατάσταση ενός θερμοζεύγους σε αγωγούς αλλά και σε υδραυλικά εξαρτήματα. Η ανίχνευση επιτυγχάνεται μέσω της σύνδεσης δυο ανόμοιων μετάλλων, που προκαλούν μεταβολές στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο συναρτήσει των μεταβολών της θερμοκρασίας. Στα πλεονεκτήματα τους συγκαταλέγονται το χαμηλό κόστος και η ταχεία απόκριση (συνήθως 0.5), αλλά εμφανίζουν περιορισμένη ακρίβεια της τάξης +1°C.

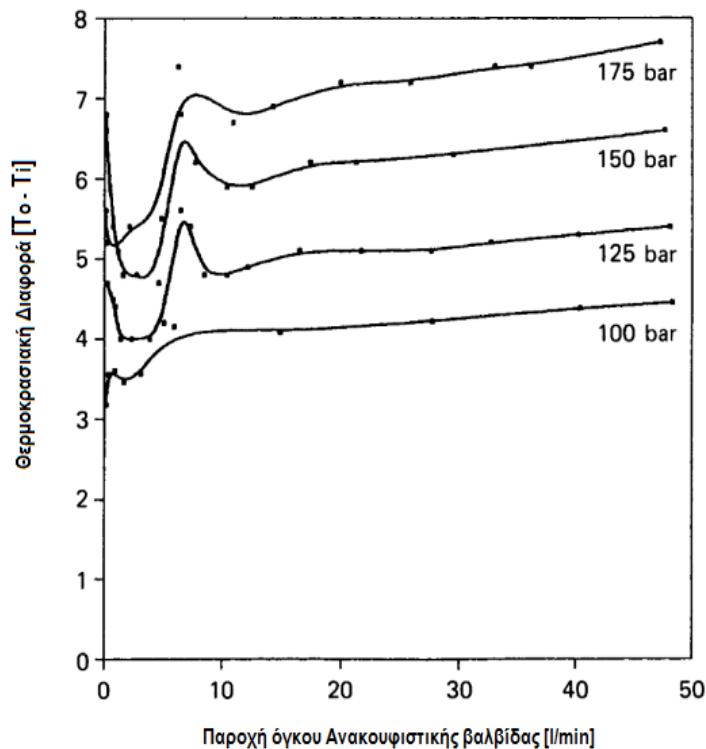
Βελτίωση στο χαρακτηριστικό της ακρίβειας μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση θερμομέτρων αντίστασης από λευκόχρυσο (PRTs) που αξιοποιούν την μεταβολή της αντίστασης για την παραγωγή ενός παλμού τάσης, όμως η απόκριση τους είναι χαμηλότερη.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγών έχει κάνει εφικτή τη χρήση αντιστάσεων λεπτών υμενίων, σε σχετικά χαμηλό κόστος για την λήψη άμεσων μετρήσεων της θερμοκρασίας. Παρέχοντας, επίσης, το πλεονέκτημα της εύκολης εγκατάστασης στο συγκεκριμένο εξάρτημα που θέλουμε να παρακολουθήσουμε.

Η αύξηση της θερμοκρασίας σε κάποιο εξάρτημα ενός υδραυλικού κυκλώματος μας δίνει τη δυνατότητα να ελέγξουμε την απόδοση αυτού.

Η αύξηση θερμοκρασίας του δικτύου εξαρτάται από τον ρυθμό ροής της μάζας διαμέσου αυτού, τις απώλειες στα επιμέρους δομικά στοιχεία και στην θερμότητα που απάγεται μέσω συναγωγής και αγωγής. Καθώς οι περισσότεροι από τους παραπάνω παράγοντες είναι μεταβλητοί, τις περισσότερες φορές είναι πολύ δύσκολο να ανιχνεύσουμε την ακριβή αιτία της δυσλειτουργίας.

Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μέτρησης της διαφορικής θερμοκρασίας σε μια ανακουφιστική βαλβίδα, που εκφράζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας Το εξόδου μείον την θερμοκρασία εισόδου Ti.



Διάγραμμα 3.4: Μεταβολές θερμοκρασιακής διαφοράς σε μια ανακουφιστική βαλβίδα για διαφορετικές πιέσεις και παροχές όγκου διαμέσου της βαλβίδας.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε θερμομέτρο PRT και πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικές πιέσεις και παροχές όγκου της βαλβίδας. Όπως φαίνεται, μετά από την παροχή όγκου στα 15 litres/min η θερμοκρασιακή διαφορά αυξάνεται με σχετικά σταθερό ρυθμό καθώς μεγαλώνει η παροχή όγκου.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η χρήση μιας τέτοιας τεχνικής για ανίχνευση δυσλειτουργιών μέσα σε μια βαλβίδα είναι συνήθως περιορισμένη αφού απαιτείται να γνωρίζουμε τις ακριβείς συνθήκες λειτουργίας και να συγκρίνουμε πολύ μικρές μεταβολές στη θερμοκρασία.

Μετατόπιση και ταχύτητα

Η μετατόπιση και η ταχύτητα των γραμμικών επενεργητών μπορούν εύκολα να υποστούν παρακολούθηση μέσω της χρονομέτρησης της έκτασης του βάρου του κυλίνδρου. Η κίνηση του βάρου είναι μια δυναμική, μηχανική κίνηση που εξαρτάται από την παροχή όγκου που εισέρχεται στον θάλαμο του κυλίνδρου, από τις διαστάσεις του κυλίνδρου (εμβαδό εμβόλου) και από το ποσοστό των πιθανών διαροών (είτε είναι αποτέλεσμα δυσλειτουργίας, είτε κατασκευαστικό χαρακτηριστικό).

Η συγκριτική παράθεση των κατασκευαστικών και λειτουργικών στοιχείων με τα δεδομένα που λαμβάνουμε από την χρονομέτρηση του κύκλου εργασίας του κυλίνδρου μπορεί να οδηγήσει σε προσδιορισμό προβλημάτων που σχετίζονται με την ροή και τις διαρροές. Για την ακρίβεια, γνωρίζοντας την εισερχόμενη ροή και την ταχύτητα του κυλίνδρου μπορούμε να εκτιμήσουμε το ποσοστό διαρροής. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει μια κατά προσέγγιση εκτίμηση της κατάστασης.

Σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, θα πρέπει να προχωρήσουμε σε εγκατάσταση μεταλλακτών μετατόπισης ή ταχύτητας, που μπορεί να είναι είτε απλές ποτενσιομετρικές συσκευές ή διαφορικοί μετασχηματιστές.

Η κατηγορία των αισθητήρων θέσης χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες. Πρόκειται για τους τερματικούς διακόπτες, τους αισθητήρες ταχύτητας και τους απόλυτους ή διαφορικούς αισθητήρες.

Οι τερματικοί διακόπτες είναι αισθητήρες πεδίου με μηχανισμό που φέρει ελεγκτή πεδίου σε μορφή διακόπτη on/off. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία πρόκειται για αισθητήρες που βασίζονται στο φαινόμενο της μαγνητοαντίστασης και έχουν μικρό κόστος μαζικής παραγωγής αλλά και χαμηλή ποιότητα.

Όσον αφορά τους απόλυτους/διαφορικούς γραμμικούς και γωνιακούς αισθητήρες η λειτουργία τους βασίζεται στην ανίχνευση της απόστασης μεταξύ δύο σημείων, που συνήθως αντιστοιχούν στα σημεία διέγερσης και λήψης του κυκλώματος. Παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων είναι οι διατάξεις MDL (μαγνητοσυστολική γραμμή καθυστέρησης), οι οποίες συνδυάζουν ανίχνευση χρόνου καθυστέρησης και τροποποίησης της τάσης όπως και οι διατάξεις τύπου LVDT (επαγωγικός αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης). Οι διαφορικοί μετασχηματιστές είναι διατάξεις αμοιβαίας αυτεπαγωγής που τροφοδοτούνται από πηγή εναλασσόμενης τάσης και αποτελούνται από έναν πυρήνα και μια ράβδο, που μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στο εσωτερικό ενός αγωγού που φέρει ενεργοποιημένα πηνία. Η μετατόπιση του μαγνητισμένου πυρήνα μετασχηματίζει την επαγωγή του πρωτεύοντος πηνίου και τα δευτερεύοντα πηνία που βρίσκονται στα δυο άκρα ανιχνεύουν την διαφορά ανάμεσα στο επαγόμενο, υψηλής συχνότητας, ημιτονοειδές κύμα (συνήθως 5 kHz) και σε αυτό που εκπέμπεται από το πρωτεύον. Στη συνέχεια το σήμα διαμορφώνεται στην κατάλληλη μορφή τάσης εξόδου. Ωστόσο, οι διαφορικοί αισθητήρες θέσης ανιχνεύουν την απόσταση την οποία διανύει μια αισθητήρια κεφαλή και όχι την απόλυτη θέση αυτής.

Οι αισθητήρες ταχύτητας καθώς και οι επιταχυντές είτε ανιχνεύουν άμεσα ταχύτητα και επιτάχυνση αντίστοιχα, είτε βασίζονται στον υπολογισμό της απόκρισης απόλυτων ή διαφορικών αισθητήρων θέσης. Οι μεταλλάκτες ταχύτητας παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες στη μορφή με τα LVDT's, αλλά στην περίπτωση τους το σήμα εξόδου είναι αυτοπαραγόμενο καθώς ο μαγνητισμένος πυρήνας κινείται διαμέσου της περιβάλλουσας μονάδας, που επάγει μια τάση ανάλογη με την ταχύτητα.

Σήμερα, η βιομηχανία των αισθητήρων διαθέτει μια ευρεία ποικιλία διαθέσιμων αισθητήρων μετατόπισης και γραμμικών κωδικοποιητών που ενσωματώνουν νέες τεχνολογίες και υλικά δίνοντας τη δυνατότητα εγκατάστασης αισθητήρων που αντέχουν καταστάσεις υψηλών πιέσεων και συνεχόμενης λειτουργίας σε αντίξοες συνθήκες, όπως απαιτείται στις περισσότερες εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων.

Τέλος, οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία των μετρήσεων ψηφιακής κίνησης οδήγησαν σε μια σειρά υδραυλικών κυλίνδρων που φέρουν εσωτερικά όργανα μέτρησης («έξυπνοι κύλινδροι»).

Οι κύλινδροι αυτού του τύπου ενσωματώνουν στο εσωτερικό τους έναν αναλογικό ή ψηφιακό αισθητήρα θέσης και η κίνηση ελέγχεται με μικροεπεξεργαστή μέσω μιας κάρτας ελέγχου. Οι ενδείξεις εξόδου είναι θέση και ταχύτητα και σε κλειστού βρόχου συστήματα το λάθος ελέγχου μπορεί να τροφοδοτήσει την σέρβο ή αναλογική βαλβίδα που ελέγχει την κίνηση.

Λαμβάνοντας υπόψιν την ταχύτητα, την θέση και το εμβαδό του κυλίνδρου, που είναι γνωστά, ο υπολογισμός της παροχής όγκου είναι ζήτημα απλού υπολογισμού. Έτσι λαμβάνουμε και μια μέτρηση για την εισερχόμενη ροή. Εναλλακτικά, όπου απαιτείται η πραγματοποίηση μέτρησης για διαρροή τα σήματα μπορούν να προσαρμοστούν διαφορετικά.

Ο έλεγχος και η παρακολούθηση της λειτουργίας μιας αντλίας ή ενός υδραυλικού κινητήρα συμπεριλαμβάνει ως βασικό στοιχείο την μέτρηση της περιστροφικής ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα που τους οδηγεί. Η μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής μπορεί να γίνει πολύ εύκολα με τη χρήση ενός ταχύμετρου χειρός.



Εικόνα 3.4: Ψηφιακά ταχύμετρα χειρός για εφαρμογές βαριάς βιομηχανίας δύο τύπων: επαφής και χωρίς επαφή (Paul N. Gardner Company, Inc).

Στρεπτική ροπή

Η μέτρηση της στρεπτικής ροπής στα βιομηχανικά συστήματα δεν είναι μια συνηθισμένη μέτρηση καθώς είναι μια σύνθετη διαδικασία. Επίσης σε κάποια στοιχεία-εξαρτήματα τα αποτελέσματα της ροπής μπορεί να καθορισθούν με άλλους τρόπους.

Για παράδειγμα μπορούμε να υπολογίσουμε την ροπή στρέψης ενός ηλεκτρικού κινητήρα που οδηγεί μια αντλία με ανάλυση της ροής ενέργειας.

Η ροπή περιστρεφόμενων αξόνων μπορεί να μετρηθεί άμεσα με την χρήση ενός κινητήρα ροπής ή πιο απλά συνδέοντας στον άξονα μετρητές τάσης, οι οποίοι δίνουν την δυνατότητα συσχέτισμού της μεταβολής της τάσης με τη ροπή. Η ανάπτυξη μετρητικών συσκευών τάσης χαμηλού κόστους, που δεν απαιτούν επαφή και μεταλλακτών μεταλλικής επίστρωσης, έχει δώσει την δυνατότητα μιας πιο ικανοποιητικής προσέγγισης στις μετρήσεις στρεπτικής ροπής.

3.4.4 Δυναμικές μέθοδοι

Οι μέθοδοι που αναλύονται σε αυτό το τμήμα βασίζονται στην δυναμική συμπεριφορά των μηχανολογικών εξαρτημάτων και περιλαμβάνουν: μεθόδους ανάλυσης κραδασμών, ακουστικών κυματομορφών, τασικών κυμάτων και έλεγχο των διαταραχών της ροής και της πίεσης που παράγονται συνήθως από τις αντλίες.

Βασικό πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι μπορούν να πραγματοποιηθούν κατα τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας και στις περισσότερες μετρήσεις επαρκεί η χρήση αισθητήρων. Επίσης, οι δυναμικές μέθοδοι παρουσιάζουν ένα σαφές συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τις μεθόδους ελέγχου της ρύπανσης του εργαζόμενου μέσου ιδιαίτερα στις περιπτώσεις φθοράς των ένσφαιρων τριβών.

Η ανάλυση των κραδασμών και η μέθοδος των κρουστικών παλμών (SPM) παρουσιάζουν υψηλότερη ευαισθησία στις βλάβες των ρουλεμάν καθώς τις περισσότερες φορές η ποσότητα των ρυπαντών που παράγονται είναι σχετικά μικρή και μπορούν να αφαιρεθούν από υψηλής απόδοσης και ικανότητας εγκατεστημένα φίλτρα, τα οποία διατηρούν το ρευστό σε αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης και δεν μπλοκάρουν. Τελικά, η ανίχνευση της βλάβης είναι αδύνατη ακόμα και αν υπάρχει ολοκληρωτική καταστροφή ενός κυλιόμενου σώματος, καθώς δεν επαρκεί για να διακοπεί η λειτουργία του φίλτρου και να αναγνωρίσουμε ότι υπάρχει κάποια δυσλειτουργία. Παρόλα αυτά, σε αυτήν την περίπτωση όπως και σε άλλες, παρατηρούνται μεταβολές στις λειτουργικές κυματομορφές του εξαρτήματος, είτε σε επίπεδο κραδασμών ή θορύβου ή χαρακτηριστικών της πίεσης που μπορούν να γίνουν αντιληπτές.

Το μειονέκτημα των δυναμικών μεθόδων έγκειται στην δυσκολία επεξεργασίας των δυναμικών σημάτων. Συγκεκριμένα απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός αλλά και αντίστοιχο λογισμικό που μπορεί να επεξεργάζεται τα δεδομένα λήψης σε πεδίο χρόνου αλλά και συχνότητας. Φυσικά, απαιτείται και άρτια καταρτισμένο προσωπικό που είναι ικανό να αποκρυπτογραφεί τις αναλύσεις, να αντιλαμβάνεται το είδος της βλάβης και να αξιολογεί το επίπεδο δράσης που πρέπει να επιλεγεί καθώς κανένα ηλεκτρονικό σύστημα δεν μπορεί να πάρει τέτοιου είδους πρωτοβουλίες.

3.4.4.1 Κραδασμοί

Σε μια ιδεατή κατάσταση λειτουργίας μιας μηχανής, το επίπεδο των κραδασμών θα ήταν ελάχιστο, καθώς όλες οι μηχανές κατά τη λειτουργία τους παράγουν κραδασμούς. Όμως, στην πραγματική κατάσταση, κατασκευαστικές ατέλειες ή βλάβες που αναπτύσσονται, οδηγούν σε αύξηση των κραδασμών.

Η παρακολούθηση και η ανάλυση των κραδασμών αποτελεί μια από τις παραδοσιακές και ακόμα κυρίαρχες τεχνικές δυναμικής παρακολούθησης των μηχανών. Χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπου διαφαινόμενες αστοχίες προκαλούν δυνάμεις εκτός ισορροπίας οι οποίες μεταφράζονται σε κυματομορφές δονήσεων.

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στις εντοπιζόμενες βλάβες συμπεριλαμβάνονται η κακή ή ελλιπής ευθυγράμμιση του περιστρεφόμενου εξοπλισμού για παραδειγμα στην μονάδα κινητήριου ηλεκτροκινητήρα και αντλίας και η ανίχνευση βλαβών λόγω κόπωσης στα κυλιόμενα σώματα των ένσφαιρων τριβών.

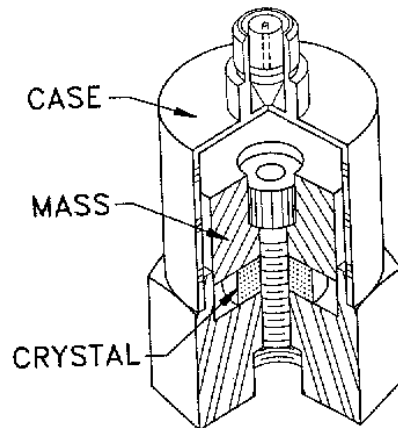
Όλα τα σύγχρονα αισθητήρια μέτρησης κραδασμών λειτουργούν μετατρέποντας το μηχανικό φυσικό μέγεθος που συνεπάγεται ο κραδασμός, σε ανάλογο ηλεκτρικό μέγεθος (ρεύμα ή τάση), το οποίο στη συνέχεια συλλέγεται από κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη για περαιτέρω επεξεργασία.

Γενικά ως αισθητήρια κραδασμών χρησιμοποιούνται οι γραμμικοί μετασχηματιστές μεταβλητού διαφορικού (LVDT), αισθητήρια προσέγγισης – δινορρευμάτων, αισθητήρια μεταβλητής επαγωγής (pickups) αλλά κυρίως στα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται τα επιταχυνσιόμετρα.

Το επιταχυνσιόμετρο αποτελείται από τρία τμήματα: το σώμα του μεταλλάκτη, το αισθητήριο στοιχείο και τη μάζα m (σεισμική μάζα).

Στα κινητά μέρη των εξαρτημάτων η δύναμη διέγερσης αποτελεί την πρώτη κινητήρια δύναμη, είτε είναι μια ασταθής δύναμη, ή τμήμα του κύκλου λειτουργίας της εγκατάστασης (πλήγμα, shock), ή μια κατεστραμμένη περιοχή, θα προκαλέσει στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία κραδασμού. Προφανώς, όσο πιο έντονη είναι η διεγερτική δύναμη (όπως συμβαίνει όταν το σύστημα υφίσταται φθορά), τόσο πιο υψηλά επίπεδα και συχνότητες κραδασμών σημειώνονται.

Στα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα το αισθητήριο στοιχείο είναι ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος, ο οποίος βρίσκεται ανάμεσα από το σώμα και τη μάζα του μεταλλάκτη. Η παρουσία επιτάχυνσης δημιουργεί μια δύναμη που υποχρεώνει το αισθητήριο στοιχείο να κινηθεί προς τη μάζα καταπονώντας τον κρύσταλλο και οδηγούμεσε τελικά στην παραγωγή ενός ηλεκτρικού φορτίου ανάλογου της δύναμης. Η μετατροπή του φορτίου σε τάση ανάλογη της επιτάχυνσης επιτυγχάνεται με κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη (ενισχυτής αντίστασης).



Εικόνα 3.5: Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο.

3.4.4.2 Διαταραχές ροής ή/και πίεσης

Σε συστήματα όπου η αντλία αποτελεί ένα ευαίσθητο και κρίσιμο δομικό στοιχείο, οι πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της λειτουργίας της μπορούν να ληφθούν μέσω της παρακολούθησης της δυναμικής απόδοσης της αντλίας.

Οι αντλίες και οι κινητήρες θετικής μετατόπισης αποτελούνται από έναν συγκεκριμένο και γνωστό αριθμό στοιχείων άντλησης ή λήψης ρευστού, ο οποίος εξαρτάται από τον κατασκευαστικό τύπο. Καθώς το ρευστό μεταβαίνει από την αναρροφητική, χαμηλής πίεσης ζώνη, στην ζώνη κατάθλιψης (και αντιστρόφως για τους κινητήρες), η ένταση και η κυματομορφή του τοπικού σήματος πίεσης μεταβάλλονται. Η ονομαστική του μορφή είναι ημιτονοειδής και ορίζεται ως διαταραχή ροής (flow ripple).

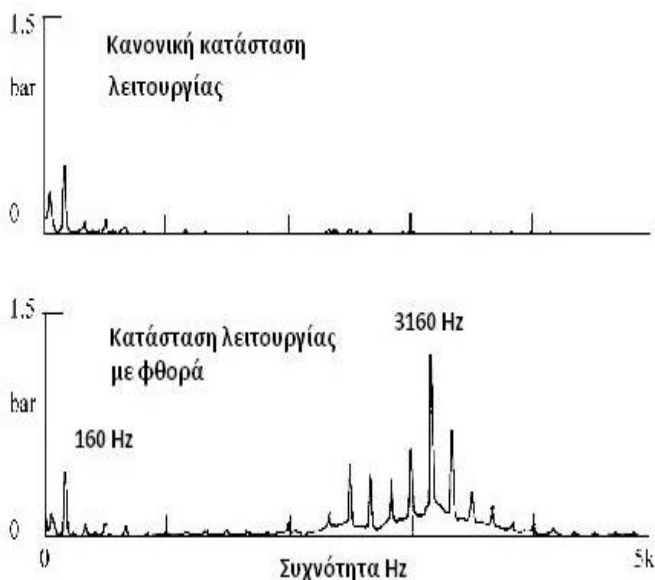
Ποικίλλει ανάλογα με τον σχεδιασμό και τον τύπο των αντλητικών δομικών στοιχείων, με τη σχετική γεωμετρία του τομέα εισόδου και των θυρών διανομής της παροχής και με την ύπαρξη χρονικών κενών (για τις πτερυγοφόρες αντλίες) ή αποσυμπίεστικών διαστημάτων στις περιπτώσεις των αντλιών με οδοντωτούς τροχούς.

Όταν πραγματοποιηθεί η σύνδεση με το υπόλοιπο σύστημα η διαταραχή της ροής τροποποιείται από την αντίσταση του συστήματος έτσι ώστε να παραχθεί αντίστοιχη διαταραχή πίεσης. Τελικά προκύπτει μια συνάρτηση του φορτίου ή της αντίστασης. Μεταβολές στο εμβαδό της εγκάρσιας διατομής στην αντλία αλλά και στο σύστημα, μαζί με τα εξαρτήματα που βρίσκονται κατάντι της αντλίας επηρεάζουν τη μορφή του σήματος, οδηγώντας στη λήψη σύνθετων σημάτων πίεσης στο πεδίο του χρόνου, που τελικά μπορούν να αναλυθούν με τη χρήση ενός αναλυτή φασματικών συχνοτήτων.

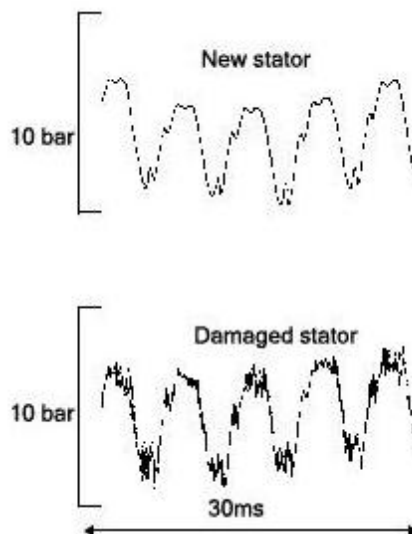
Φυσικά, σε περιπτώσεις όπου γνωρίζουμε την κυματομορφή της κυμάτωσης της πίεσης όταν λειτουργεί χωρίς προβλήματα μας δίνεται η δυνατότητα συγκρίσης αυτής με την κυματομορφή που λαμβάνουμε ύστερα από την συσσώρευση ωρών λειτουργίας και να αποκομίσουμε πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση αντλίας.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της αλλαγής των κυματομορφών παρουσιάζεται στις Εικόνες 3.1 και 3.2, όπου φαίνεται η επίδραση που έχει ένας χαλασμένος στάτορας μιας πτερυγιοφόρου αντλίας που εργάζεται στα 69bar με 60/40 γαλάκτωμα νερού στην κυμάτωση της πίεσης.

Επειδή συχνά η ανάλυση των δυναμικών σημάτων που λαμβάνουμε είναι μια σύνθετη διαδικασία και μπορεί να μην μας οδηγεί σε συμπεράσματα, προτιμούμε την ανάλυση του φάσματος των σημάτων και την αποδιαμόρφωση τους. Έτσι και σε αυτήν την περίπτωση που εξετάζεται μέσω του φάσματος ισχύος φαίνεται ξεκάθαρα η χαρακτηριστική αρμονική της βλάβης στα 3160 Hz.



Εικόνα 3.6: Σήματα διαταραχής της πίεσης από πτερυγιοφόρο αντλία με βλάβη στον στάτορα.



Εικόνα 3.7: Φάσμα ισχύος διαταραχής της πίεσης από πτερυγιοφόρο αντλία με βλάβη στον στάτορα.

3.4.4.3 Ακουστικά σήματα

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας όλα τα υδραυλικά δομικά στοιχεία εκπέμπουν θόρυβο ή ήχητικά κύματα που σχετίζονται με την λειτουργία και την κίνηση των υπο-εξαρτημάτων τους αλλά και με την κυκλοφορία του υδραυλικού υγρού.

Συχνά οι εκπεμπόμενοι ήχοι ορίζονται ως «κύματα τάσης» και παρουσιάζουν μεγάλο εύρος. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται ο περιοδικός θόρυβος σχετικά χαμηλής συχνότητας (τυπικά 100 Hz) όπως στην περίπτωση εμπλοκής των οδόντων των γραναζιών αλλά και οι θόρυβοι υψηλής συχνότητας (τυπικά 100 kHz) που εμφανίζονται σε περιπτώσεις αλληλεπίδρασης των δομικών στοιχείων των υδραυλικών εξαρτημάτων με το ρευστό και πιο συγκεκριμένα από σπηλαιώση, ροϊκά ρεύματα ή τυρβώδη ροή.

Συνεπώς, η παρουσία αστοχίας θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του θορύβου που εκπέμπεται από τα εξαρτήματα ενός υδραυλικού κυκλώματος και τα δομικά τους στοιχεία.

Ηχητικός θόρυβος

Τα επίπεδα θορύβου που εκπέμπονται από μια βιομηχανική υδραυλική εγκατάσταση στο περιβάλλον εργασίας είναι ένα σημαντικό θέμα που χρήζει προσοχής καθώς έχει άμεση επίδραση στην ασφάλεια και υγιεινή των εργαζομένων.

Συχνά γίνονται προσπάθειες μείωσης των μέσων επιπέδων θορύβου που προκαλείται από την υψηλή συγκέντρωση ισχύος και τις συνεπαγόμενες υψηλές εκπομπές θορύβου των υδραυλικών εξαρτημάτων, έτσι ώστε να υπάρχει συμμόρφωση της εγκατάστασης με τους καθιερωμένους κανονισμούς των επιτρεπόμενων επιπέδων θορύβου κάθε χώρας.

ΘΟΡΥΒΟΣ	
Db	Πηγή Θορύβου
140	Υδραυλική πρέσσα (3ft)
130	Πνευματικός καρφωτήρας (4ft)
110	Υψηλής ισχύος κινητήρας
100	
90	Δυνατή ομιλία
80	
70	Κανονική ομιλία
30	Ψίθυρος

Πίνακας 3.4: Ολικά επίπεδα ήχου από διαφορετικές πηγές.

Ο θόρυβος που εκπέμπεται από τα εξαρτήματα ή από ολόκληρό το υδραυλικό σύστημα συμπεριλαμβάνει τρεις τύπους: τον αερομεταφερόμενο θόρυβο (Air Borne Noise), που τον αντιλαμβανόμαστε με την ακοή και ακτινοβολείται στον αέρα, τον ρευστομεταφερόμενο θόρυβο (Liquid Borne Noise), που απορρέει από την λειτουργία των εξαρτημάτων όπως κυματώσεις πίεσης και τύρβη και τον θόρυβο της κατασκευής (Structure Borne Noise), ο οποίος προκύπτει έμμεσα από την παρουσία του περιοδικού σήματος του ρευστομεταφερόμενου θορύβου που επενεργεί στην κατασκευή δημιουργώντας τους κραδασμούς και τον θόρυβο. Επομένως, ο συνολικός ηχητικός θόρυβος αποτελείται από πολλές, διαφορετικές συχνότητες και πολλαπλάσια αυτών.

Οι μετρήσεις θορύβου πραγματοποιούνται με έναν μετρητή ανίχνευσης του ηχητικού επιπέδου, ο οποίος ενσωματώνει ένα υψηλής ποιότητας μικρόφωνο. Το μικρόφωνο μετατρέπει τις διακυμάνσεις της πίεσης του αέρα σε μια τάση ανάλογη με την πίεση του ήχου. Στη συνέχεια, το σήμα ενισχύεται και διαμορφώνεται, είτε από μια ενσωματωμένη μονάδα είτε ξεχωριστά μέσω φιλτραρίσματος του σήματος, έτσι ώστε τελικά να λάβουμε μια αναλογική έξοδο του θορύβου σε decibel (dB).

Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η διάταξη είναι φορητή και υπάρχει ευελιξία σχετικά με τις θέσεις λήψης μετρήσεων, δίνοντας έτσι μια οικονομική δυνατότητα παρακολούθησης του θορύβου. Ωστόσο, η σχετική ελευθερία που έχουμε ως προς το σημείο λήψης μετρήσεων, μπορεί να αποτελέσει και το μειονέκτημα της τεχνικής. Δεδομένου ότι το μικρόφωνο παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία ως προς τον προσανατολισμό και το σημείο τοποθέτησης υπάρχει περίπτωση να επηρεαστεί από τις ηχητικές εκπομπές άλλων πηγών του περιβάλλοντος.

3.4.4.4 Ανίχνευση τασικών κυμάτων

Τα προβλήματα που ενυπάρχουν στην προηγούμενη τεχνική που αναλύθηκε μπορούν να ξεπεραστούν εγκαθιστώντας έναν ακουστικό αισθητήρα, ο οποίος παρακολουθεί τα κύματα τάσης που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση των συνόρων και όχι τον θόρυβο που διαδίδεται διαμέσου των δομικών στοιχείων της εγκατάστασης.

Όλες οι μηχανολογικές διεργασίες συνοδεύονται από ενεργειακές απώλειες. Τμήμα της ενέργειας που παράγουν ή μεταφέρουν οι μηχανές, δεν διοχετεύεται στον τελικό αποδέκτη της λειτουργίας της μηχανής,

αλλά διεγείρει τα δομικά της στοιχεία και το κέλυφος της, με αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας, θορύβου και ήχου.

Η βάση της μεθόδου παρακολούθησης των τασικών κυμάτων είναι αυτός ο παραγόμενος ήχος, καθώς οποιαδήποτε αλλαγή στην λειτουργία ενός εξαρτήματος συνοδεύεται από μεταβολές των παραγόμενων εσωτερικών ήχων. Συνεπώς, μπορούμε μέσω των αλλαγών των ηχητικών κυματομορφών που προκύπτουν να λάβουμε προειδοποιητικά μηνύματα για επερχόμενες βλάβες.

Η τεχνική στηρίζεται στην ανίχνευση ηχητικών κυμάτων πίεσης υψηλής συχνότητας (κοντά στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων-RF) μεταξύ του εύρους 100KHz και 600KHz, τα οποία προέρχονται μέσα από τα μηχανολογικά εξαρτήματα και τα δομικά στοιχεία τους και διαδίδονται διαμέσου αυτών ως κύματα τάσης.

3.5 Επιλογή της κατάλληλης τεχνικής παρακολούθησης και ελέγχου

Η απόφαση για την επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός υδραυλικού συστήματος προϋποθέτει τον καθορισμό των επιπέδων δράσης για το σύστημα αλλά και για τα επιμέρους εξαρτήματα του και φυσικά την εξοικείωση με όλες τις σύγχρονες τεχνικές που υπάρχουν στην αγορά και συνεχώς ανανεώνονται. Αποτελεί την συμβιβαστική λύση ανάμεσα στο κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση αλλά και για την εφαρμογή τους και την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης του υδραυλικού συστήματος.

Είναι γεγονός ότι απόλυτοι κανόνες ή τυποποιημένες μέθοδοι για τον τρόπο επιλογής τεχνικής δεν υπάρχουν, καθώς κάθε σύστημα παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά, απαρτίζεται από πολλά επιμέρους εξαρτήματα, συχνά διαφορετικών προδιαγραφών και λειτουργεί σε διαφορετικό εργασιακό περιβάλλον. Εντούτοις, τις περισσότερες φορές είναι απαραίτητο να ενσωματωθεί στο πρόγραμμα συντήρησης των υδραυλικών συστημάτων συνδυασμός των τεχνικών που έχουν αναφερθεί, οι οποίες δρουν συμπληρωματικά μεταξύ τους.

Σε πρώτο επίπεδο μπορούμε να εντοπίσουμε ότι ο χειριστής ή το εργατικό δυναμικό που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υδραυλικό σύστημα αποτελούν την πρώτη βαθμίδα ελέγχου της κατάστασης λειτουργίας του. Σε οποιοδήποτε σύστημα θα πρέπει να ενθαρρύνονται και να εκπαιδεύονται οι άνθρωποι αυτοί, ώστε να μπορούν να διεκπεραιώνουν συνεχείς ελέγχους. Συχνά, αλλαγές στην κατάσταση λειτουργίας μπορούν να γίνουν αντιληπτές με την εφαρμογή τεχνικών που δεν απαιτούν εξειδίκευση, όπως οι οπτικές επιθεωρήσεις και την χρήση απλών οργάνων, όπως το ταχύμετρο.

Στη συνέχεια, έχοντας ήδη αναφέρει το πόσο σημαντικό είναι για τη λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων η διατήρηση της καθαρότητας του εργαζόμενου μέσου, συμπεραίνουμε ότι κομβικό κομμάτι ενός προγράμματος παρακολούθησης αποτελεί αφενός η εγκατάσταση των κατάλληλων οργάνων και εξαρτημάτων για την εξασφάλιση της καθαρότητας αυτού και αφετέρου η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής για τον έλεγχο της ρύπανσης του υγρού ώστε να μπορούν να εντοπιστούν οι πραγματικές αιτίες των αστοχιών.

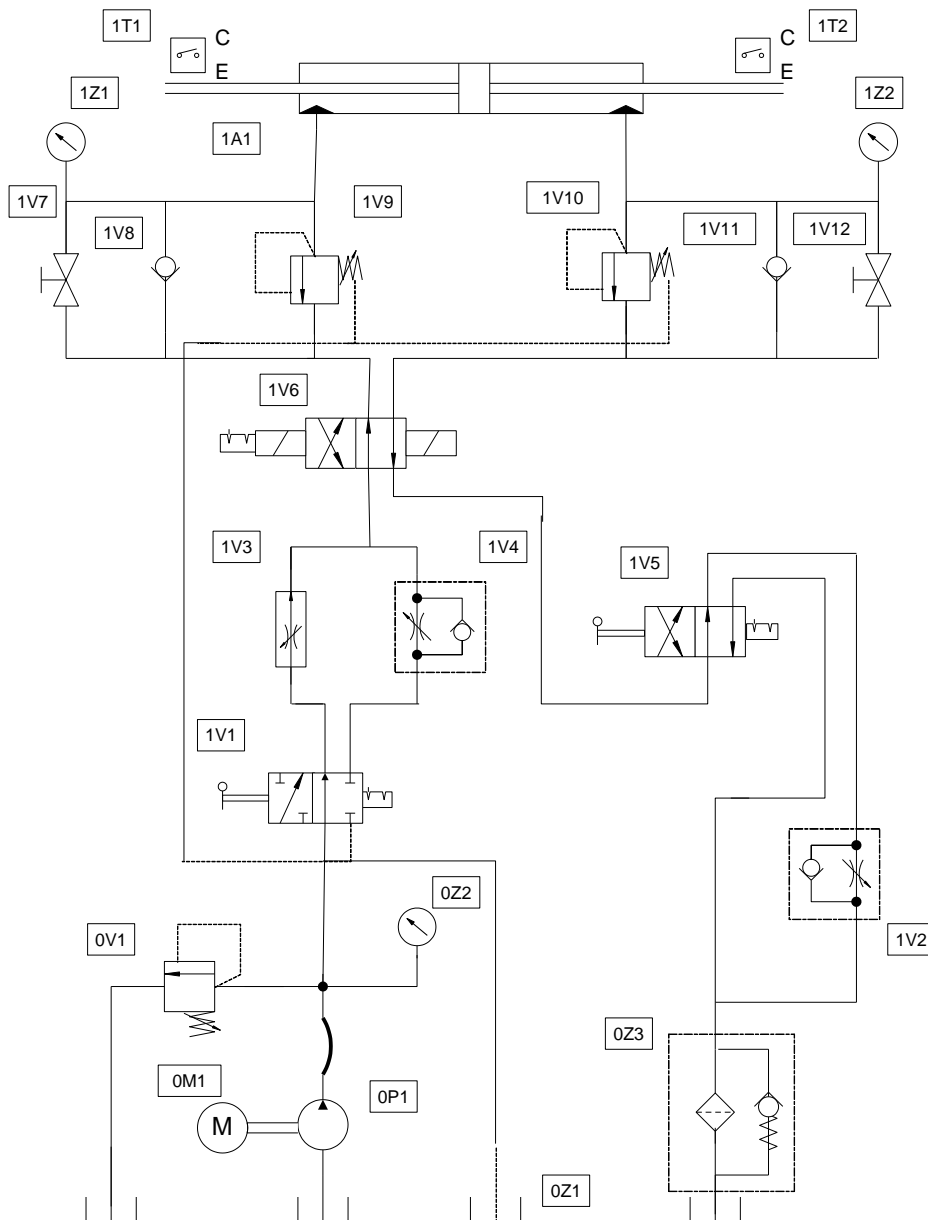
Τέλος, θα πρέπει να προστεθεί ότι η επιλογή μιας επιτυχημένης τεχνικής μπορεί να καθορισθεί μελετώντας την κυματομορφή και την συμπεριφορά των συχνά εμφανιζόμενων αστοχιών στο υδραυλικό σύστημα που μελετάτε σε συνδυασμό με την μελέτη της κατασκευαστικής διαμόρφωσης των επιμέρους δομικών στοιχείων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ HERION

4.1 Ανάλυση αρχικού κυκλώματος του υδραυλικού κυκλώματος

Το υδραυλικό σύστημα Herion που διαθέτει το Εργαστήριο των Στοιχείων Μηχανών του ΕΜΠ, το οποίο είναι υπό την επίβλεψη του κ. Θ. Ν. Κωστόπουλου, είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται στα πλαίσια του εργαστηρίου που πραγματοποιείται στο μάθημα «Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα», του 7^{ου} εξαμήνου, για την εξοικείωση των φοιτητών με τις υδραυλικές διατάξεις και τα υδραυλικά εξαρτήματα. Η πρώτη αναβάθμιση του συστήματος πραγματοποιήθηκε το 2003. Με αυτήν την αναβάθμιση εγκαταστάθηκαν αναλογικά μετρητικά όργανα και πρόσθετες βαλβίδες και διεξήχθησαν διαδικασίες καθαρισμού του κυκλώματος. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το μονογραμμικό διάγραμμα του υδραυλικού κυκλώματος:



Διάγραμμα 4.1: Μονογραμμικό διάγραμμα υδραυλικού κυκλώματος πριν την αναβάθμιση.

Το υδραυλικό κύκλωμα Herion είναι ένα απλό υδραυλικό κύκλωμα που αποτελείται από μια αντλία με παροχή $Q_{\max}=19 \text{ lt/min}$, τρεις βαλβίδες κατεύθυνσης ροής 4/2 διόδων και έναν κύλινδρο διπλής ενέργειας και διπλού βάκτρου. Όπως ορίζεται για όλες τις εργαστηριακές υδραυλικές διατάξεις η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας του κυκλώματος είναι 50 bar, γι' αυτό και υπάρχει στο κύκλωμα βαλβίδα ανακούφισης που είναι ρυθμισμένη σε πίεση $p_{\max,επ}=50\text{bar}$. Στο κύκλωμα υπάρχουν συνδεδεμένες επίσης βαλβίδες ρύθμισης της παροχής, βάννες και αντεπίστροφες βαλβίδες. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα εξαρτήματα του συστήματος και ο αντίστοιχος κωδικός τους στο μονογραμμικό Διάγραμμα 4.1:

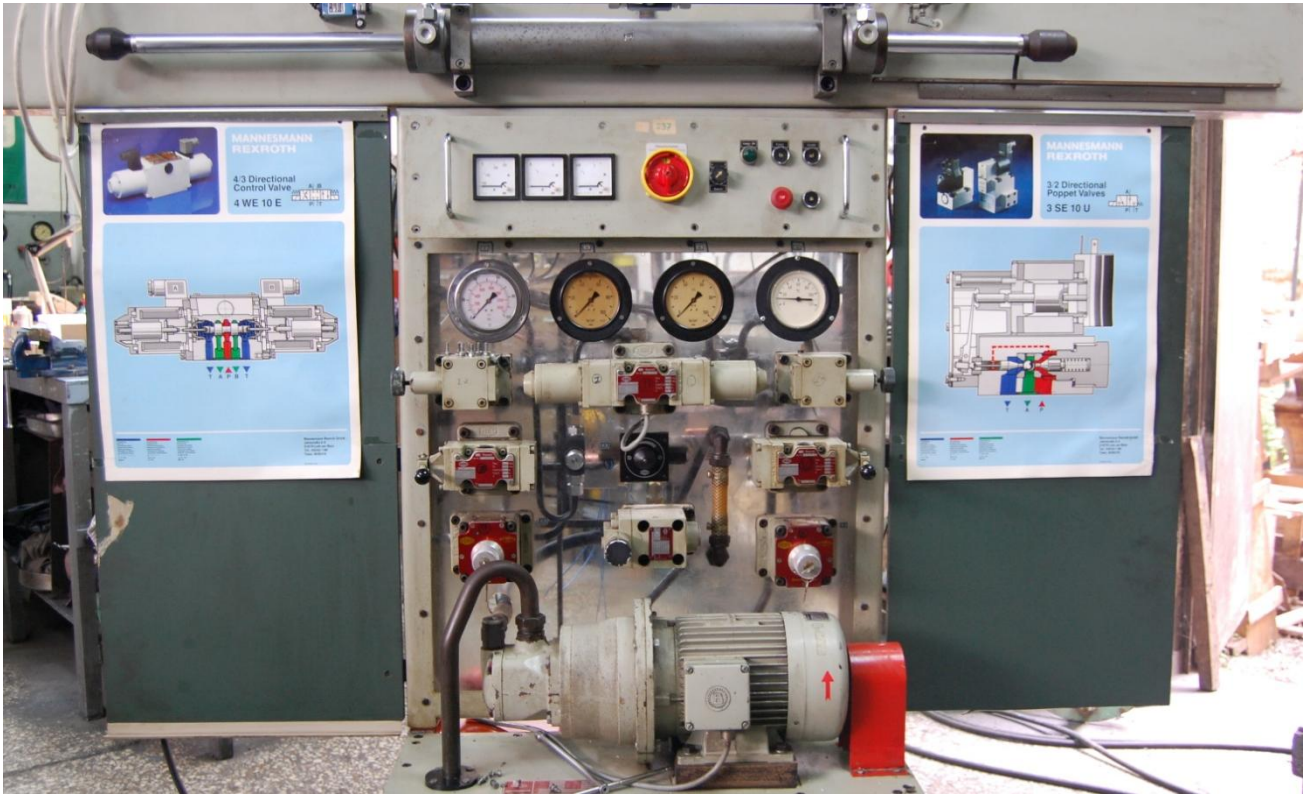
ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ HERION		
Κωδικός στο μονογραμμικό διάγραμμα	Περιγραφή	Κωδικός κατασκευαστή
0Z1	Δεξαμενή υδραυλικού υγρού	
0Z2, 1Z1, 1Z2	Μη διακοπτόμενο μανόμετρο	M100 B100 m
0Z3	Φίλτρο γραμμής επιστροφής χωρίς δείκτη φραξίματος με by-pass αντεπίστροφη βαλβίδα	FJ/HR 2A1
0Z4	Θερμόμετρο	K 120/0
0M1	Ηλεκτροκινητήρας	B3/B5-100Lx2,2x1500
0P1	Πτερυγιοφόρος Αντλία σταθερής παροχής	PD 2-14
0V1	Βαλβίδα περιορισμού πίεσης (ασφαλιστικό)	DB 10 LG 61
1V1	Βαλβίδα κατεύθυνσης ροής 4/2	S10 H021 9011
1V3	Βαλβίδα μεταβαλλόμενης ρύθμισης παροχής (λεπτού στραγγαλισμού)	FD 1094-2
1V2, 1V4	Διάταξη με βαλβίδα αντεπίστροφής & βαλβίδας ρύθμισης της παροχής	MR10 HG52
1V5	Βαλβίδα κατεύθυνσης ροής 4/2	S10 H23 9011
1V6	Βαλβίδα κατεύθυνσης ροής 4/2	S10 G01 G023 9011
1V7, 1V12	Διακόπτης παροχής (βάννα - gate valve)	94-134 BB 1212
1V8, 1V11	Βαλβίδα αντεπίστροφής	R HD 15-L
1V9, 1V10	Βαλβίδα περιορισμού της πίεσης (προπίεσης)	A 447.01
1A1	Υδραυλικός κύλινδρος διπλής ενέργειας με διπλό βάκτρο	9076/00017
1T1, 1T2	Τερματικός διακόπτης	ESB 111-1

Πίνακας 4.1: Υδραυλικά εξαρτήματα και παρελκόμενα υδραυλικού συστήματος Herion.

Ο συγκεκριμένος υδραυλικός κύλινδρος μπορεί να κινηθεί με ίσες ταχύτητες και κατά τις δύο κινήσεις, δηλαδή προς τα αριστερά και προς τα δεξιά, αφού είναι διπλής ενέργειας και δύο βάκτρων. Η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί, με βάση την γεωμετρία των διατομών του, που αντιστοιχεί φυσικά και σε μέγιστη παροχή είναι $u_{\max}=0.15 \text{ m/sec}$.

Οι καταστάσεις λειτουργίας του κυκλώματος Herion είναι δύο: κίνηση του κυλίνδρου προς τα δεξιά και προς τα αριστερά. Δεδομένου ότι η αλλαγή θέσης στις βαλβίδες 4/2 κατεύθυνσης ροής με κωδικό 1V1 και 1V5 δεν ασκούν καμία επιρροή στην φορά της κίνησης του κυλίνδρου, αλλά διοχετεύουν το ρευστό είτε προς τους στραγγαλισμούς 1V3 και 1V2, είτε προς την bypass διάταξη 1V4 και σε αγωγό ελεύθερης ροής, οι θέσεις εργασίας καθορίζονται από την βαλβίδα 4/2 1V6.

Ακολούθως παρουσιάζονται εικόνες της υδραυλικής μηχανής Herion, πριν τις παρεμβάσεις της αναβάθμισης:



Εικόνα 4.1: Πρόσοψη υδραυλικού συστήματος Herion.



Εικόνα 4.2: Πίσω όψη υδραυλικού συστήματος Herion.

4.2 Σκοπός αναβάθμισης

Η νέα αναβάθμιση του κυκλώματος έγινε σε συνεργασία με τις εταιρείες Telemetrics Ltd και Motion & Control Ltd και η μηχανή Herion μεταφέρθηκε στο μηχανουργείο της δεύτερης για την πραγματοποίηση των σχετικών εργασιών. Η αναβάθμιση περιλαμβάνει τροποποιήσεις που αφορούν στην προσθήκη σύγχρονου μετρητικού εξοπλισμού καθώς και παρεμβάσεις σε διάφορα σημεία του υδραυλικού κυκλώματος.

Η εγκατάσταση νέων μετρητικών οργάνων που έχουν την δυνατότητα μέτρησης με μεγαλύτερη ακρίβεια και ψηφιοποίησης των πληροφοριών, σε συνδυασμό με την μέτρηση μεγεθών που δεν είχαμε μέχρι σήμερα την δυνατότητα να ποσοτικοποιήσουμε με ακρίβεια, μετατρέπουν το υδραυλικό κύκλωμα σε ένα πλήρως ελεγχόμενο και παρακολουθούμενο σύστημα.

Οι παρεμβάσεις στο υδραυλικό κύκλωμα δρομολογήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε την δυνατότητα αλλαγής του όγκου της παροχής της αντλίας σε διαφορετικά σημεία και τελικά το κύκλωμα να εμφανίζει μεγαλύτερη ευελιξία.

Ο απώτερος στόχος της συγκεκριμένης αναβάθμισης είναι το υδραυλικό σύστημα Herion να χρησιμοποιηθεί ως μια πλατφόρμα μελέτης και η προσομοίωσης βλαβών που εμφανίζονται στα υδραυλικά συστήματα.

4.3 Συνοπτική παρουσίαση αναβάθμισης

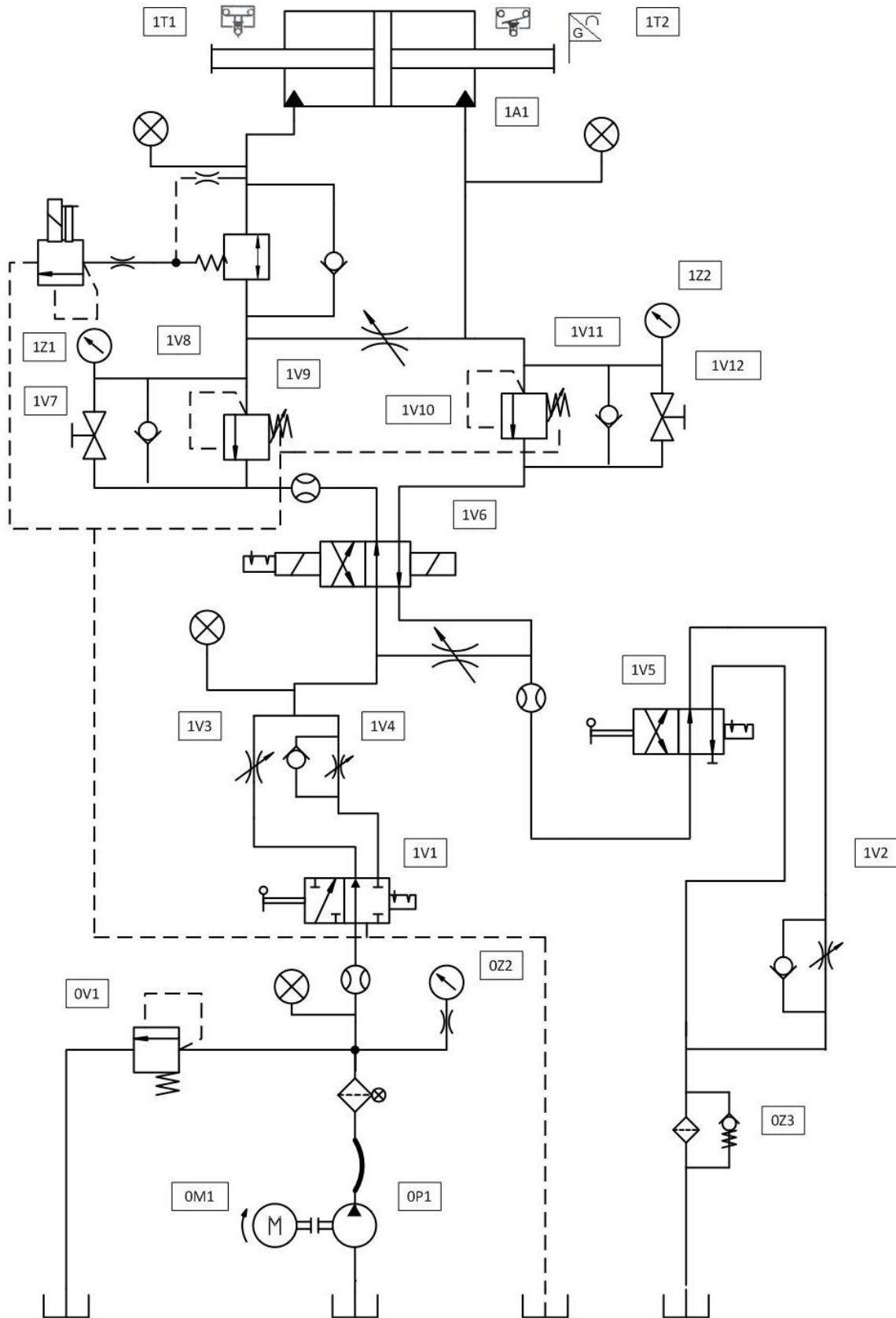
Στο υδραυλικό κύκλωμα Herion εγκαταστάθηκαν συνολικά 8 αισθητήρια όργανα. Συγκεκριμένα συνδέθηκαν τρία παροχόμετρα, τέσσερις μεταλλάκτες πίεσης και ένας αισθητήρας θέσης. Για την συλλογή των δεδομένων και την ψηφιοποίηση των σημάτων από τα αισθητήρια συνδέθηκε ειδικό σύστημα DAQ, το οποίο ακολούθως συνδέθηκε με Η/Υ που προϋπήρχε στο εργαστήριο.

Όσον αφορά το υδραυλικό κύκλωμα συνδέθηκαν δυο βαλβίδες ελέγχου ρυθμιζόμενης παροχής, βελονοειδούς τύπου, ένα νεό φίλτρο πίεσης και μια βαλβίδα επιβολής φορτίου.

Κωδικός Διαγράμματος	Ποσότητα	Περιγραφή	Κατασκευαστής	Κωδικός κατασκευαστή
A,K,D,G	4	Αισθητήρας πίεσης	KOBOLD Messring GmbH	SEN 8601/2 A115
B	1	Αισθητήρας παροχής	KOBOLD Messring GmbH	VKM-61100VR200R
C,J	2	Αισθητήρας παροχής	KOBOLD Messring GmbH	VKM-61120VR250R
E	1	Γραμμικός αισθητήρας θέσης	MTS Sensors	GPV0600MD601V0
	1	DAQ	Agilent Technologies	U2353A
I,H	2	Βαλβίδα ελέγχου ρυθμιζόμενης ροής	Parker Hannifin	9N800S
F	1	Κοιλότητα πολλαπλής σύνδεσης	SUN hydraulics	T-11A
F	1	Ένθετη ηλεκτροαναλογική βαλβίδα πλότος ανακούφισης	SUN hydraulics	RBAP-MDN
F	1	Ένθετη ηλεκτροαναλογική βαλβίδα ανακούφισης 3 διόδων	SUN hydraulics	RSDC-8DN
	1	ισορροπημένου εμβόλου κύριου		
	1	Βαλβίδα αντεπιστροφής	Εμπορίου	
	1	Φίλτρο με ένδειξη της ρύπανσης	Mahle Industrie filtration	PI-350

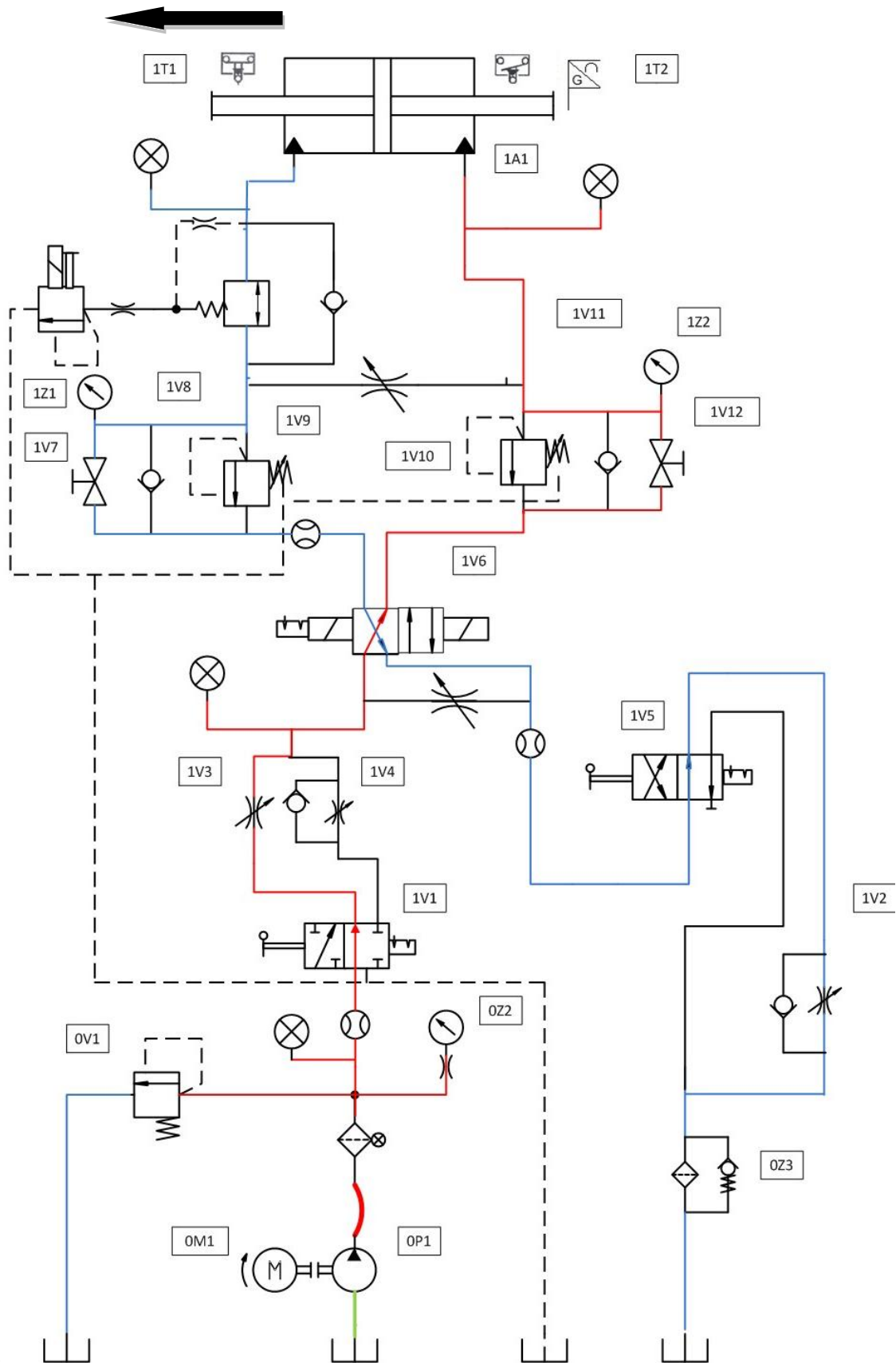
Πίνακας 4.2: Συνοπτικός κατάλογος των νέων εξαρτημάτων της αναβάθμισης.

Ακολουθώς παρουσιάζεται και το νέο σχέδιο του υδραυλικού κυκλώματος που προκύπτει μετά από την αναβάθμιση:



Διάγραμμα 4.2: Υδραυλικό κύκλωμα αναβαθμισμένου συστήματος Herion.

Ενώ κατά τη κίνηση του εμβόλου προς τα αριστερά, το διάγραμμα διαμορφώνεται ως εξής:



Διάγραμμα 4.4: Υδραυλικό κύκλωμα κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα αριστερά.

4.4 Ανάλυτική παρουσίαση μετρητικών οργάνων και λοιπού εξοπλισμού της αναβάθμισης

Τα αισθητήρια όργανα και γενικά τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν στην υδραυλική μηχανή Herion παρουσιάζουν έναν συνδυασμό βέλτιστου δυνατού κόστους και των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- Κατάλληλης απόκρισης και ακρίβειας.
- Απλού σχεδιασμού και υψηλής αντοχής κατασκευή.
- Δεν παρεμβαίνουν στη λειτουργία του κυκλώματος.
- Έχουν υψηλή αξιοπιστία.

Επίσης, το γεγονός ότι το υδραυλικό σύστημα παρουσιάζει σύνθετο κύκλωμα σωληνώσεων στο πίσω μέρος, λόγω παλαιότητας, που οδηγεί σε περιορισμό κινήσεων και μικρή ευελιξία του συστήματος αποτέλεσε καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή κάποιων αισθητήριων οργάνων, όπως τα παροχόμετρα.

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση όλων των καινούριων συνιστωσών που εγκαταστάθηκαν και που προμηθευτήκαμε για να ολοκληρωθεί η αναβάθμιση της υδραυλικής μηχανής Herion. Η κατηγοριοποίηση που ακολουθείται έχει γίνει με βάση το είδος των υδραυλικών εξαρτημάτων που εγκαταστάθηκαν και με βάση τον τύπο του αισθητηρίου οργάνου, καθώς τοποθετήθηκαν σε διαφορετικά σημεία ίδια τεμάχια. Σε αυτό το κομμάτι αναλύεται επίσης και η συσκευή συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων (DAQ).

4.4.1 Αισθητήρες παροχής

Ως μέτρηση ροής ορίζουμε την διαδικασία ποσοτικοποίησης της κίνησης του ρευστού. Η μέτρηση της ροής καθορίζεται επαγωγικά υπολογίζοντας την ταχύτητα του ρευστού ή την αλλαγή της κινητικής ενέργειας του. Αναλυτικά, η συγκεκριμένη μέτρηση έχει ως στόχο τον προσδιορισμό ενός από τα παρακάτω φυσικά μεγέθη:

- Της ταχύτητας ροής του ρευστού, u [m/s]
- Της παροχής μάζας του ρευστού, W [kg/s], που δίνεται από τη σχέση : $W = \rho \cdot u \cdot A$
- Της παροχής όγκου του ρευστού, Q [m³/s], που δίνεται από τη σχέση : $Q = u \cdot A$

Υπάρχουν επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την παροχή όγκου ενός ρευστού και καθιστούν την μέτρηση της ροής μια σύνθετη διαδικασία όπως το ιξώδες του, η πυκνότητα του και η τριβή μεταξύ αυτού και των εσωτερικών τοιχωμάτων της σωλήνωσης (βλέπε Κεφάλαιο 3.4.3).

4.4.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες

Η αναβάθμιση του υδραυλικού κυκλώματος περιλαμβάνει την προσθήκη τριών μετρητικών οργάνων για την παροχή του εργαζόμενου μέσου.



Εικόνα 4.3: Παροχόμετρο τύπου VKM (KOBOLD Messring GmbH).

Τα παροχόμετρα που τοποθετήθηκαν στο υδραυλικό κύκλωμα είναι της εταιρείας KOBOLD Messring GmbH και παραγγέλθηκαν δυο διαφορετικοί τύποι. Ο κωδικός για το παροχόμετρο Β είναι VKM61100VR200R, ενώ για τα άλλα δυο Β, J είναι αντίστοιχα VKM61120VR250R. Στους ακόλουθους πίνακες φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και αναλύονται οι κωδικοί των δυο παροχόμετρων:

ΤΥΠΟΣ 1 - ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ Β		
VKM-6110	Εύρος μέτρησης:	Από 5 L/min μέχρι 50L/min
	Πτώση πίεσης [Δp] σε ονομαστική ροή:	Ελάχιστη τιμή = 0.15 bar Μέγιστη τιμή = 1.10 bar
	Υλικό κατασκευής:	Ορείχαλκος
0V	Τάση εξόδου:	Από 0V έως 10V [αναλογική τάση V _{DC}]
R20	Σύνδεση:	Σπείρωμα G 3/4
0	Επιλογή ειδικής συνδεσμολογίας:	Χωρίς επιλογή
R	Κατεύθυνση ροής:	Από δεξιά

Πίνακας 4.3: Παροχόμετρο τύπου VKM-6110VR200R (KOBOLD Messring GmbH).

ΤΥΠΟΣ 2 - ΠΑΡΟΧΟΜΕΤΡΟ C, J		
VKM-6112	Εύρος μέτρησης:	Από 8 L/min μέχρι 72L/min
	Πτώση πίεσης [Δp] σε ονομαστική ροή:	Ελάχιστη τιμή = 0.15 bar Μέγιστη τιμή = 1.10 bar
	Υλικό κατασκευής:	Ορείχαλκος
0V	Τάση εξόδου:	Από 0V έως 10V [αναλογική τάση V _{DC}]
R25	Σύνδεση:	Σπείρωμα G 1
0	Επιλογή ειδικής συνδεσμολογίας:	Χωρίς επιλογή
R	Κατεύθυνση ροής:	Από δεξιά

Πίνακας 4.4: Παροχόμετρο τύπου VKM-6110VR200R (KOBOLD Messring GmbH).

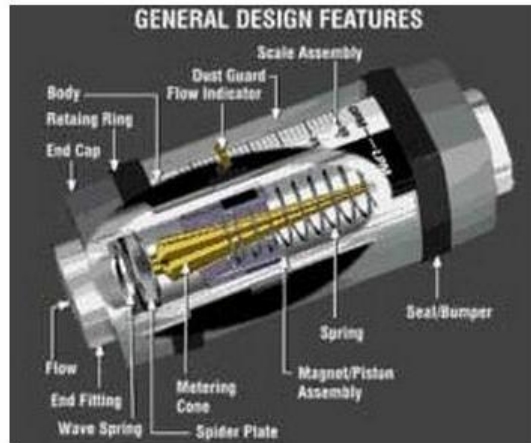
Η βασική διαφορά των δυο τύπων παροχόμετρων που τοποθετήθηκαν στο υδραυλικό κύκλωμα είναι το διαφορετικό εύρος μέτρησης. Στον τύπο No.02 υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης μεγαλύτερης παροχής όγκου, όπως φαίνεται και από τους πίνακες η μέγιστη τιμή παροχής είναι 72 L/min. Το μεγαλύτερο μέγεθος του παροχόμετρου οδηγεί και σε μεγαλύτερο σπείρωμα για την συνδεσή του στην σωλήνωση, γι' αυτό έχουμε και επιπλέον διαφορετικό στοιχείο στον κωδικό των προϊόντων.

Τα παροχόμετρα που επιλέχθηκαν λειτουργούν με αντιστάθμιση ιξώδους, έχουν αναλογική έξοδο και η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι 80 °C.

Αρχή λειτουργίας

Τα αισθητήρια παροχής που επιλέχθηκαν θα μπορούσαμε να πούμε ότι ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των μετρητών μεταβαλλόμενης επιφάνειας, τύπου πλωτήρα. Η βασική αρχή λειτουργίας αυτής της κατηγορίας στηρίζεται στην βαρύτητα, γι' αυτό και η εγκατάστασή τους θα πρέπει να γίνεται πάντα κάθετα ως προς την επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί και για να

ξεπεραστεί ο συγκεκριμένος περιορισμός αναπτύχθηκε ένα νέο όργανο στο οποίο ο πλωτήρας φέρει μια ή και περισσότερες οπές και φορτίζεται από ένα ελατήριο (variable orifice type).

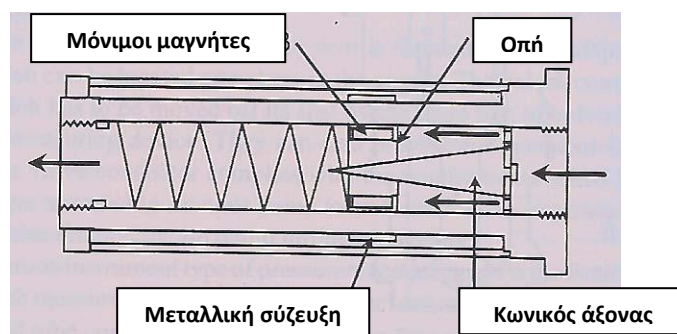


Εικόνα 4.4: Γενικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τυπικού παροχόμετρου τύπου variable orifice.

Το παροχόμετρο αυτού του τύπου φέρει εσωτερικά έναν πλωτήρα ο οποίος φορτίζεται από ελικοειδές ελατήριο και ολισθαίνει μέσα σε έναν κυλινδρικό, μετρητικό σωλήνα. Η διαδικασία της αντιστάθμισης του ιζώδους εξαρτάται από την μη γραμμική συμπεριφορά του ελατηρίου του πλωτήρα σε συνδυασμό με την εσωτερική οπή που φέρει ο ίδιος ο πλωτήρας στην επιφάνεια του. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ταυτόχρονα με τη λήψη των μετρήσεων αντιστάθμιση της πυκνότητας ενός μεγάλου μέρους του εργαζόμενου μέσου.

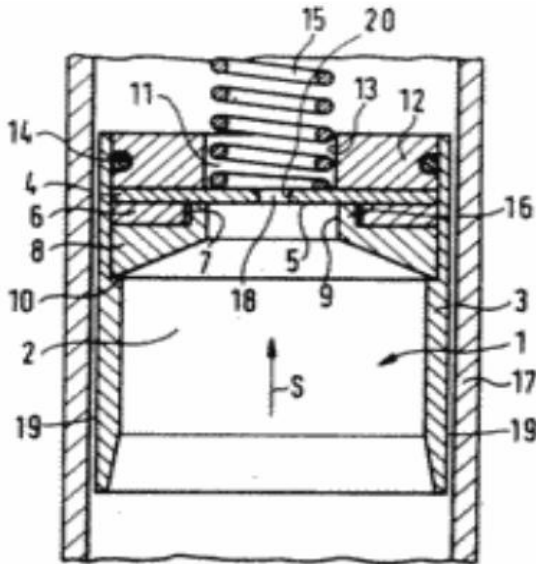
Οι μόνιμοι μαγνήτες που είναι ενσωματωμένοι στον πλωτήρα ενεργοποιούν μια ηλεκτρική, ερμητικά απομονωμένη επαφή που βρίσκεται τοποθετημένη σε ένα πρόσθετο εξωτερικό κομμάτι του παροχόμετρου. Η επαφή αυτή είναι ένας διακόπτης καλαμιού δηλαδή ένας ηλεκτρικός διακόπτης ο οποίος αποτελείται από δυο ελάσματα τα οποία είναι σφραγισμένα σε γυάλινο σωλήνα. Με την επιρροή του μαγνητικού πεδίου τα ελάσματα έλκονται και έρχονται σε επαφή επιτρέποντας τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Συνδυάζοντας την απομόνωση του ηλεκτρολογικού συστήματος από το βασικό κέλυφος του ροόμετρου με το συγκριτικό πλεονέκτημα του διακόπτη καλαμιού έναντι των μηχανικών διακοπών, που είναι η έλλειψη μηχανικών μερών, βελτιώνεται σημαντικά η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής του οργάνου.

Το εργαζόμενο μέσο πιέζει τον πλωτήρα αντίθετα προς την δύναμη του ελατηρίου. Όταν το μαγνητικό πεδίο φτάσει στους ακροδέκτες του διακόπτη, η επαφή ενεργοποιείται. Καθώς η ροή αυξάνεται, ο πλωτήρας συνεχίζει να κινείται ενάντια στο ελατήριο μέχρι να φτάσει στο τελικό σημείο του μηχανισμού. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η κίνηση του πλωτήρα εντός των ορίων του εύρους της επαφής του μαγνητικού διακόπτη και το αποτέλεσμα είναι ένας δισταθής διακόπτης που πραγματοποιεί τις μετρήσεις.



Εικόνα 4.5: Αρχή λειτουργίας παροχόμετρου τύπου variable orifice.

Αναλυτικότερα, η εσωτερική διαμόρφωση του τύπου των παροχόμετρων που εγκαταστάθηκαν στο υδραυλικό σύστημα Herion φαίνεται στην Εικόνα 4.6. Το παροχόμετρο αποτελείται από κυλινδρικό, σωληνοειδές κέλυφος προσαρμοσμένο με τέτοιο τρόπο διαμέσου του οποίου διέρχεται η προς μέτρηση παροχή του εργαζόμενου μέσου. Η κατεύθυνση της ροής σημειώνεται στο σχήμα με το τόξο S.



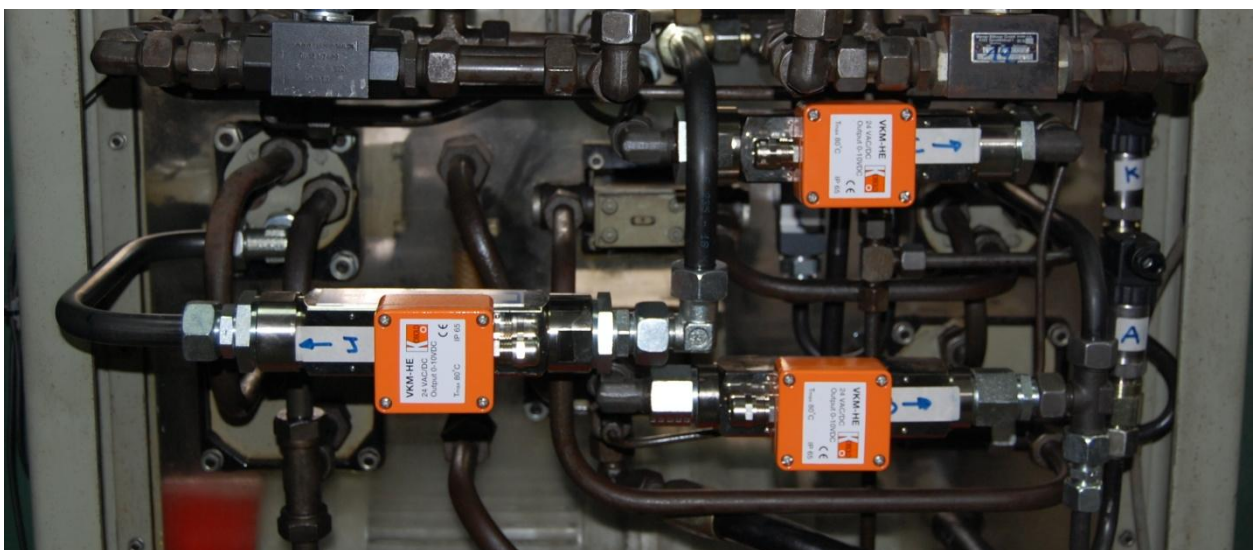
Η εσωτερική διάμετρος του κελύφους είναι σταθερή και μέσα σε αυτό έχει τοποθετηθεί αξονικά ο πλωτήρας (1), ο οποίος έχει εξωτερικά κυλινδρική επιφάνεια. Μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του πλωτήρα και της εσωτερικής του κελύφους έχει εξασφαλιστεί το κενό (19) δακτυλοειδούς μορφής. Ο πλωτήρας έχει προσαρμοστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ανυψώνεται αξονικά προς τα επάνω από το εργαζόμενο μέσο και αποτελείται από τον κοίλο κύλινδρο (3), που καθορίζει την εσωτερική ροή του καναλιού (2). Κάθετα στο κανάλι ροής (2) που σχηματίζεται έχει τοποθετηθεί η πλάκα 4 που φέρει διάτρητη οπή (18), δημιουργώντας σε αυτό το σημείο την στενότερη δέσμη ροής του καναλιού (2). Το κανάλι ροής καθώς και το στένωμα/οπή παραμένουν καθ' όλη την διάρκεια της αξονικής κίνησης του πλωτήρα ανοιχτά.

Εικόνα 4.6: Τομή κατασκευαστικού σχεδίου παροχόμετρου τύπου variable orifice.

4.4.1.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας αισθητήρων παροχής στο υδραυλικό κύκλωμα

Τα συγκεκριμένα όργανα μέτρησης επιλέχθηκαν διότι αποτελούσαν την πιο οικονομική λύση καλύπτοντας τις απαιτήσεις του υδραυλικού κυκλώματος του εργαστηρίου. Επίσης, το γεγονός ότι μπορούσαν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε θέση, χωρίς να υπάρχει περιορισμός ως προς την γωνία του άξονα τους, αποτέλεσε έναν επιπλέον καθοριστικό παράγοντα, δεδομένου ότι ο χώρος που υπήρχε στο κύκλωμα των σωληνώσεων ήταν περιορισμένος.

Η εγκατάσταση των τριών παροχόμετρων, που συμβολίζονται στο σχέδιο με τις ονομασίες Β, C, J τοποθετήθηκαν στα σημεία που φαίνονται στη παρακάτω στην φωτογραφία :



Εικόνα 4.7: Σημεία τοποθέτησης των παροχόμετρων στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Τέλος, επιλέξαμε το παροχόμετρο Β να είναι τύπου VKM-6120 ενώ τα C,J να είναι τύπου VKM-6130 δηλαδή μεγαλύτερης παροχής, έτσι ώστε αν υπάρξει μελλοντική επέμβαση στο κύκλωμα, όπως μια διαδικασία αναγέννησης, να μπορέσουν να καλυφθούν οι ανάγκες του συστήματος, χωρίς να χρειαστεί αντικατάσταση των υπαρχόντων παροχόμετρων.

Παροχόμετρο Β

Το παροχόμετρο Β έχει τοποθετηθεί στην σωλήνωση που συνδέει την αντλία OP1 του κυκλώματος με την βαλβίδα 1V1, μετά από τη διακλάδωση που υπάρχει με το ασφαλιστικό 0V1. Οι μετρήσεις του παροχόμετρου Β σε συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν:

- Θεωρητικά σε συνθήκες κενού φορτίου, δηλαδή κλείνοντας όλες τις στραγγαλιστικές διατάξεις και ανοίγοντας τους στραγγαλισμούς των νέων βαλβίδων Η,Ι, η αντλία του κυκλώματος θα πρέπει να αποδίδει τη μέγιστη παροχή. Σύμφωνα με το διάγραμμα του κατασκευαστή συσχέτισης των απωλειών πίεσης με την παροχή μπορούμε να βρούμε και την ακριβή τιμή της. Το σύνολο των απωλειών πίεσης του κυκλώματος προκύπτει αθροίζοντας (με τη σωστή φορά) το δρ κάθε εξαρτήματος από το οποίο διέρχεται το υδραυλικό ρευστό. Σε περίπτωση που η μέτρηση του παροχόμετρου δεν συμπίπτει με την αναμενόμενη τιμή θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ως πιθανή αιτία δυσλειτουργίας την ύπαρξη εσωτερικών διαρροών στην αντλία (φθορά στεγανωτικών).
- Σε περίπτωση αύξησης της πίεσης πάνω από τα 50 bar και ενεργοποίησης του ασφαλιστικού, μπορούμε επίσης έμμεσα να υπολογίσουμε και την ποσότητα του ρευστού, που έχει επιστρέψει στη δεξαμενή, αφού η αντλία είναι σταθερής παροχής.

Παροχόμετρο C

Το παροχόμετρο C έχει τοποθετηθεί στην σωλήνωση που συνδέει την βαλβίδα 1V6 με την τριών κλάδων διάταξη σωληνώσεων του κυκλώματος λίγο πριν το αριστερό μέρος του υδραυλικού κυλίνδρου. Οι μετρήσεις του παροχόμετρου C:

- Σε περίπτωση που έχουμε κλείσει τον στραγγαλισμό στην βαλβίδα Ι, η μέτρηση του παροχόμετρου C θα πρέπει να συμπίπτει με αυτήν του παροχόμετρου Β. Εάν οι τιμές δεν συμπίπτουν τότε τίθεται θέμα πιθανής διαρροής είτε στην βαλβίδα 1V1 ή στην 1V6.
- Σε περίπτωση που έχουμε ανοίξει τον στραγγαλισμό στην βαλβίδα Ι, ποσότητα του ρευστού διαφεύγει προς τα εκεί, και τελικά η μέτρηση που λαμβάνουμε θα είναι μικρότερη από αυτήν στο παροχόμετρο Β. Με αυτήν την μέτρηση γνωρίζουμε την ακριβή ποσότητα του υδραυλικού ρευστού που θα επιδράσει τελικά στον κύλινδρο εάν ο στραγγαλισμός της βαλβίδας Η είναι κλειστός.

Παροχόμετρο J

Το παροχόμετρο J έχει τοποθετηθεί στην γραμμή επιστροφής. Συγκεκριμένα συνδέθηκε στην έξοδο της βαλβίδα 1V6 αλλά μετά την στραγγαλιστική βαλβίδα Ι, δηλαδή στην σωλήνωση που οδηγεί στην βαλβίδα 1V5. Οι μετρήσεις του παροχόμετρου J καταγράφουν:

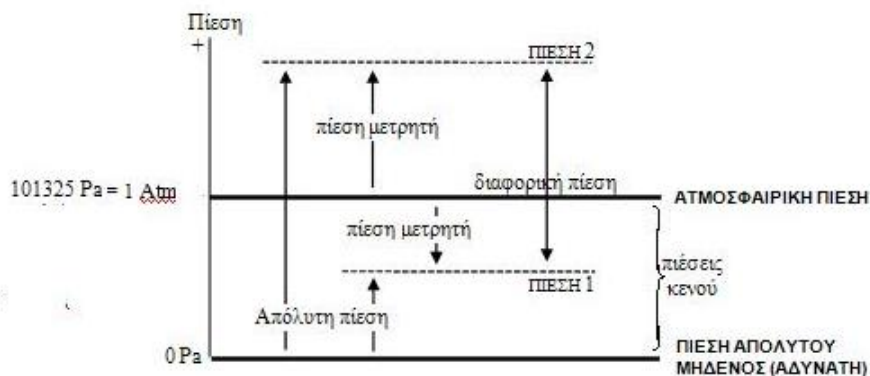
- Την ποσότητα του υδραυλικού ρευστού που επιστρέφει στην δεξαμενή.
- Την παροχή που διαφεύγει μέσω της διαρροής που μπορεί να υπάρξει από την στραγγαλιστική βαλβίδα Ι.

4.4.2 Αισθητήρες πίεσης

Ως πίεση ορίζεται η φυσική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που ασκείται από ένα ρευστό [υγρό ή αέριο] σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Η επιφάνεια μπορεί να είναι είτε ένα στερεό σύνορο που βρίσκεται σε επαφή με το ρευστό ή, για λόγους ανάλυσης, ένα φανταστικό επίπεδο που ορίζεται μέσω αυτού. Για τον καθορισμό της πίεσης είναι απαραίτητη μόνο η συνιστώσα της δύναμης που είναι κάθετη προς την επιφάνεια. Οι επαπτόμενες δυνάμεις που είναι υπεύθυνες για την πρόκληση της διάτμησης και της κίνησης του ρευστού δεν εμπίπτουν στην μέλετη της πίεσης.

Όλες οι μετρήσεις πιέσεων είναι σχετικές μετρήσεις, δηλαδή προκύπτουν θεωρώντας μια πίεση αναφοράς και συγκρίνοντας την με αυτήν του μετρούμενου σημείου. Στη συνέχεια αναλύονται τρεις τύποι πιέσης που μετρούνται συνήθως :

- Απόλυτη πίεση: είναι η μετρούμενη πίεση που προκύπτει από σχετικά με την μηδενική πίεση ή το απόλυτο κενό. Ουσιαστικά, είναι το άθροισμα της ατμοσφαιρικής πίεσης με την σχετική πίεση. Κάποιοι αισθητήρες μετρούν την απόλυτη πίεση σε σχέση με το κενό που δημιουργείται σε ένα ξεχωριστό στεγανοποιημένο θάλαμο του αισθητήρα.
- Σχετική πίεση: είναι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στο σημείο μέτρησης και στο περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία περιβάλλοντος [ατμοσφαιρική] μπορεί να ποικίλλει, όμως σε τέτοιου είδους μετρήσεις μόνο η διαφορά πίεσης παρουσιάζει ενδιαφέρον.
- Διαφορική πίεση: είναι η διαφορά πίεσης ανάμεσα σε δυο σημεία μέτρησης, εκ των οποίων το ένα έχει επιλεγθεί να είναι το σημείο αναφοράς. Για τη ακρίβεια, αμφότερες οι μετρήσεις μπορεί να ποικίλλουν, μα και σε αυτήν την περίπτωση το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην διαφορά πίεσης.



Διάγραμμα 4.5: Συγκριτική απεικόνιση των ειδών της πίεσης.

Οι μετρήσιμες πιέσεις μπορεί να ποικίλλουν από κλάσματα στήλης ύδατος (πολύ χαμηλή πίεση) μέχρι και πάνω από 6.500 bar (πολύ υψηλή πίεση). Οι βαθμίδες ακριβείας που απαιτούνται κάθε φορά, επίσης ποικίλλουν, ανάλογα με την εφαρμογή όπου είναι επιθυμητή η μέτρηση της πίεσης (βλέπε Κεφάλαιο 3.4.3).

4.4.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες

Η αναβάθμιση του υδραυλικού κυκλώματος περιλαμβάνει την προσθήκη τεσσάρων μετρητικών οργάνων για την πίεση.



Εικόνα 4.8: Μεταλλάκτες πίεσης SEN-8601/2 A115 (KOBOLD Messring GmbH).

Οι αισθητήρες πίεσης που τοποθετήθηκαν στο υδραυλικό κύκλωμα είναι της εταιρείας KOBOLD Messring GmbH και είναι όλοι ίδιου τύπου: SEN-8601/2 A115. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και αναλύεται ο κωδικός των αισθητηρίων:

ΜΕΤΑΛΛΑΚΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ		
SEN-8601 2 A115	Τάξη ακριβείας:	0.5
	Ηλεκτρική σύνδεση:	Σύνδεση με καλώδιο = IP68
	Σήμα εξόδου:	Από 0V έως 10V
	Εύρος μέτρησης:	Από 0bar έως 60bar

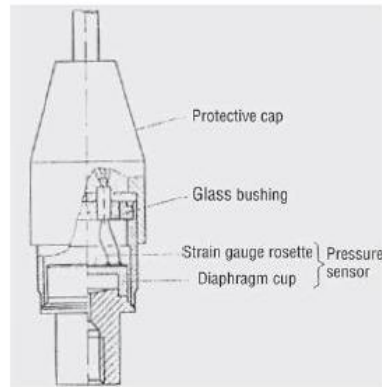
Πίνακας 4.5: Αισθητήρας πίεσης SEN-8601/2 A115 (KOBOLD Messring GmbH).

Η τεχνολογία τους βασίζεται στο εσωτερικό διάφραγμα και ως μετρητική αρχή χρησιμοποιείται η τεχνολογία παχείας επίστρωσης με μετρηση της καταπόνησης. Η πίεση που λαμβάνουμε στις μετρήσεις είναι η σχετική. Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του τύπου αισθητήρων είναι ότι δεν εμφανίζουν ευαισθησία σε εργαζόμενα μέσα με χημικά διαβρωτική συμπεριφορά και σε μηχανικά φορτία ή κραδασμούς. Τέλος, ενδείκνυνται για εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων, όπου εμφανίζονται υψηλές και ακαριαίες, ακραίες τιμές πιέσεων. Οι συγκεκριμένοι μεταλλάκτες πίεσης είναι συμπαγείς και έχουν το πλεονέκτημα της ευέλικτης τοποθέτησης και της εξοικονόμησης χώρου. Λειτουργούν με θερμοκρασιακή αντιστάθμιση σε εύρος -25 με 85 °C για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Αρχή Λειτουργίας

Τα αισθητήρια πίεσης που έχουμε εγκαταστήσει στο υδραυλικό κύκλωμα Herion είναι μηχανικοί αισθητήρες πίεσης παχείας επίστρωσης με πιεζοαντίσταση.

Το φαινόμενο της πιεζοαντίστασης περιγράφει την αλλαγή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού όταν ασκείται σε αυτό μηχανική τάση και αποτελεί την αρχή λειτουργίας των πιεζοαντιστατικών αισθητήρων παραμόρφωσης.



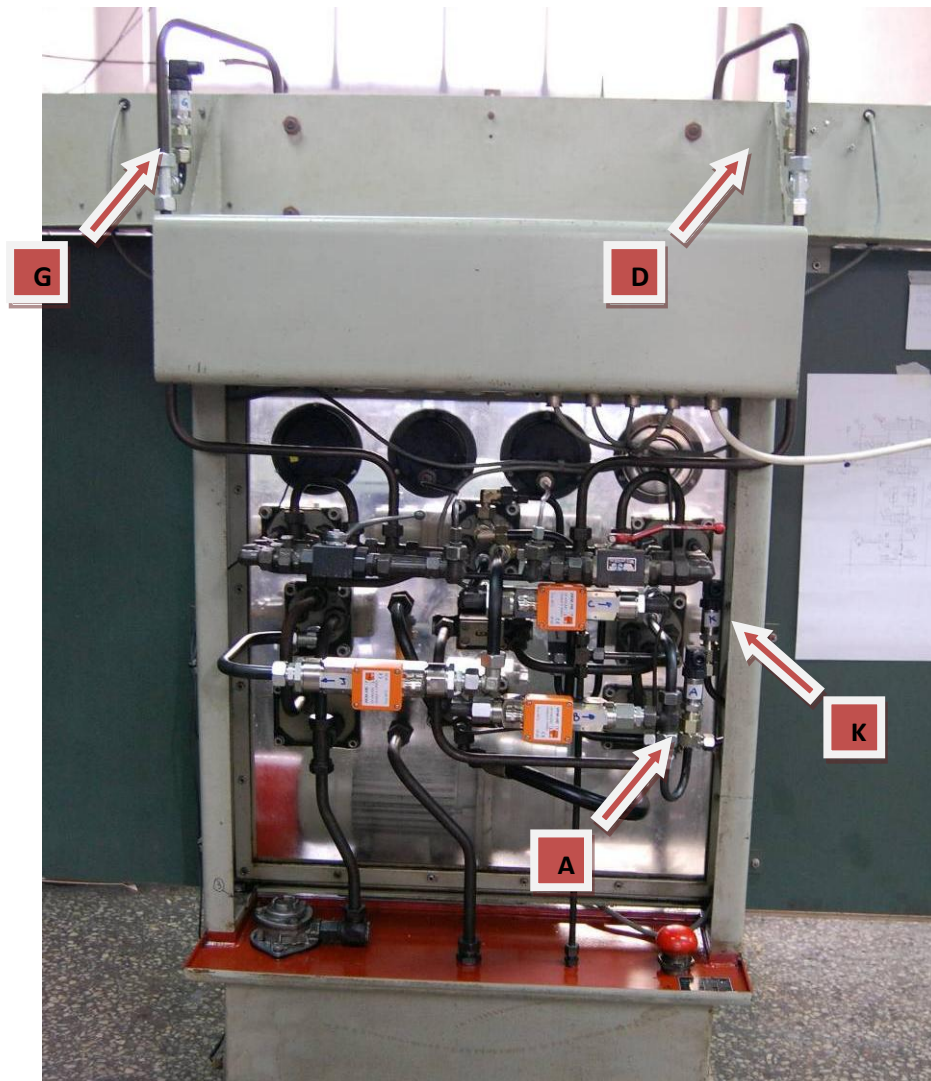
Εικόνα 4.9: Μεταλλάκτης πίεσης SEN-8601/2 A115 (KOBOLD Messring GmbH).

Το σώμα και το διάφραγμα του αισθητήρα πίεσης παχείας επίστρωσης κατασκευάζονται από κεραμικό υλικό. Συγκεκριμένα, το κεραμικό υλικό είναι το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) ή αλλιώς αλουμίνα, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην συγκεκριμένη τεχνολογία λόγω της υψηλής σταθερότητας που παρουσιάζει και της ευκολίας στην κατεργασία. Με την τεχνική εκτύπωσης μέσω πλέγματος τα τέσσερα όργανα μέτρησης της καταπόνησης εφαρμόζονται ως μια επικόλληση παχέος φιλμ στο πίσω μέρος του διαφράγματος. Αυτή η πλευρά δεν έρχεται σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο που βρίσκεται υπό πίεση ενώ η άλλη πλευρά που είναι ελεύθερη εκτίθεται σε αυτό και υποβάλλεται στην πίεση που τελικά υπολογίζεται.

Τα όργανα μέτρησης της καταπόνησης που πλέον έχουν εμφυτευτεί στο κεραμικό υλικό υπόκεινται σε θερμική κατεργασία υψηλής θερμοκρασίας και στη συνέχεια παθητικοποιούνται μέσω της επικάλυψης με προστατευτικό κάλυμμα. Σημαντικό χαρακτηριστικό για τη διασφάλιση της τελικής ποιότητας είναι λειτουργία της παραγωγικής μονάδας σε περιβάλλον πλήρως ελεγχόμενων επιπέδων καθαριότητας, ώστε να αποφευχθεί κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

4.4.2.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας αισθητήρων πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα

Η εγκατάσταση των τεσσάρων αισθητήρων πίεσης, που συμβολίζονται στο σχέδιο με τις ονομασίες A,D,G,K τοποθετήθηκαν στα σημεία που φαίνονται στη παρακάτω στην Εικόνα 4.10. Στα περισσότερα σημεία και συγκεκριμένα στα A, D, G υπάρχουν ήδη αναλογικά μανόμετρα τύπου Bourdon, όμως με τα νέα μετρητικά έχουμε την δυνατότητα ψηφιακής εξόδου της πληροφορίας και μεγαλύτερη ακρίβεια.



Εικόνα 4.10: Σημεία τοποθέτησης των αισθητήρων πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Αισθητήρας πίεση A

Ο αισθητήρας πίεσης A έχει τοποθετηθεί στον σωλήνα που συνδέει την αντλία OP1 του κυκλώματος με την βαλβίδα 1V1, μετά από τη διακλάδωση που υπάρχει με το ασφαλιστικό 0V1. Η μέτρηση αυτή:

- Δίνει την αρχική πίεση στην γραμμή εργασίας που αναπτύσσεται στο κύκλωμα και αντιστοιχεί στην επίσης αρχική παροχή που διοχετεύεται από την αντλία.

Αισθητήρας πίεση K

Ο αισθητήρας K έχει τοποθετηθεί στον σωλήνα της κοινής εξόδου από την βαλβίδα 1V3 και τη συνδυαστική διάταξη βαλβίδων 1V4. Με την μετρηση αυτή:

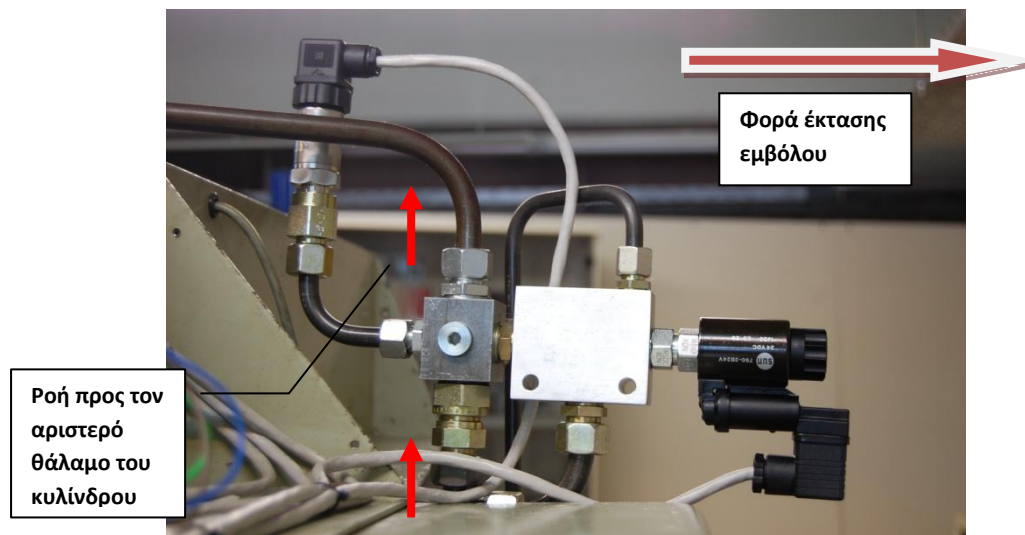
- Μπορούμε να βρούμε τη διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δυο προαναφερθέντες βαλβίδες αλλάζοντας απο τη μια θέση λειτουργίας στην άλλη στην βαλβίδα 1V1. Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι βαλβίδες στραγγαλισμού σημειώνουν μικρή πτώση πίεσης (σχεδόν αμελητέα) και συνήθως δεν εμφανίζουν διαρροές.

- Μπορούμε να βρούμε την διαφορά πίεσης που αναπτύσσεται στην βαλβίδα 1V1, συνδυάζοντας την με την μέτρηση από το αισθητήριο A.

Αισθητήρας πίεση D

Ο αισθητήρας D έχει τοποθετηθεί στην σωλήνωση που οδηγεί στον αριστερό θάλαμο του υδραυλικού κυλίνδρου. Στο σημείο εκείνο τοποθετήθηκε επίσης και η διάταξη επιβολής φορτίου, οπότε η αρχική σύνδεση του αισθητήρα (βλέπε Εικόνα 4.11) άλλαξε και συνδυάστηκε με την εγκατάσταση της διάταξης αυτής με τον τρόπο που φαίνεται στην Εικόνα 4.12. Η μέτρηση αυτή:

- Εφόσον η διάταξη της βαλβίδας φορτίου δεν έχει ενεργοποιηθεί ή είναι ρυθμισμένη σε μια σταθερή τιμή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την μέτρηση του αισθητηρίου K για τον υπολογισμό της διαφοράς πίεσης που αναπτύσσεται στην βαλβίδα 1V6.
- Δίνει την πίεση στο αριστερό θάλαμο του υδραυλικού κυλίνδρου.



Εικόνα 4.11: Τελικό σημείο εγκατάστασης αισθητήρα πίεσης D στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Αισθητήρας πίεση G

Ο αισθητήρας G έχει τοποθετηθεί στην σωλήνωση που οδηγεί στο δεξί μέρος του υδραυλικού κυλίνδρου. Με την μέτρηση αυτή:

- Σε περίπτωση ενεργοποίησης της βαλβίδας λαμβάνουμε μετρήσεις για την back-pressure του εμβόλου.

4.4.3 Αισθητήρας μετατόπισης

Ως αισθητήρα θέσης ή μετατόπισης θεωρούμε οποιαδήποτε συσκευή είναι ικανή να πραγματοποιήσει μετρήσεις θέσης. Οι αισθητήρες μέτρησης μπορεί να είναι γραμμικοί ή γωνιακοί. Ο καθορισμός της μετρούμενης θέσης γίνεται είτε με αισθητήρα απόλυτης θέσης ή με αισθητήρα σχετικής θέσης (αισθητήρας μετατόπισης).

Ακολουθως, αναλύονται επιγραμματικά οι βασικές φυσικές ιδιότητες και αρχές των στοιχείων που απαρτίζουν τους υψηλής ακριβείας αισθητήρες θέσης για βιομηχανικές εφαρμογές.

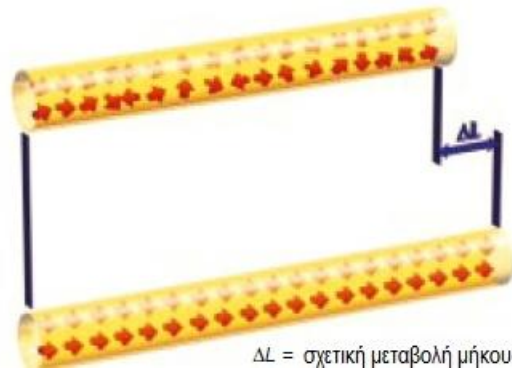
ΜΑΓΝΗΤΟΣΥΣΤΟΛΗ

Η αρχή της μαγνητοσυστολής βασίζεται σε συγκεκριμένες μαγνητομηχανικές ιδιότητες των σιδηρομαγνητικών υλικών όπως ο σίδηρος, το κοβάλτιο, το νικέλιο και τα κράματα τους και εμφανίζεται μόνο σε αυτά. Αναλυτικά, η εκτατική παραμόρφωση ενός σιδηρομαγνητικού υλικού, εφαρμόζοντας μια κατάλληλη τάση, κατά μήκος μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης, έχει ως αποτέλεσμα την διατάραξη της μικρομοριακής δομής αυτού σε κρυσταλλικό επίπεδο, όχι μόνο σε αυτήν την διεύθυνση αλλά και στις υπόλοιπες, καθώς και στο ενεργειακό επίπεδο του. Αυτή η μηχανική παραμόρφωση οδηγεί σε αλλαγή των μαγνητικών ιδιοτήτων του υλικού. Το αντίστροφο φαινόμενο, δηλαδή η εφαρμογή ενός μαγνητικού πεδίου σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό δημιουργεί αντίστοιχα παραμορφώσεις ή μεταβολές στις φυσικές διαστάσεις του. Ουσιαστικά, τα υλικά που εμφανίζουν το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής μετατρέπουν μαγνητική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια και αντίστροφα.

Το φυσικό αυτό φαινόμενο οφείλεται στη φύση των σιδηρομαγνητικών υλικών. Στα υλικά αυτά οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατομικών ροπών είναι τόσο ισχυρές ώστε μπορούν να ευθυγραμμίζονται μεταξύ τους σε μαγνητικές περιοχές ή περιοχές Weiss, ακόμη και χωρίς την παρουσία εξωτερικών πεδίων. Χωρίς κανένα εξωτερικό πεδίο, οι μαγνητίσεις των περιοχών έχουν τυχαίο προσανατολισμό. Όταν εφαρμόζεται κάποιο πεδίο οι μαγνητικές περιοχές τείνουν να προσανατολιστούν παράλληλα. Τα όρια των μαγνητικών περιοχών μετακινούνται και οι περιοχές εκείνες που η μαγνήτιση τους συμβαίνει να είναι παράλληλη στο πεδίο μεγαλώνουν, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες που συρρικνώνονται. Επίσης, το μαγνητικό πεδίο που παράγεται μπορεί να είναι από 100 έως 1000 φορές πιο δυνατό από το αντίστοιχο εξωτερικό. Για παράδειγμα εάν φέρουμε μια ράβδο σιδηρομαγνητικού υλικού μέσα σε μαγνητικό πεδίο, το οποίο είναι προσανατολισμένο παράλληλα με την διαμήκη κατεύθυνση της ράβδου, θα υπάρξει μηχανική μεταβολή του μήκους αυτής. Η σχετική αυτή αύξηση του μήκους, που είναι αποτέλεσμα του μαγνητοελαστικού.

Φαινόμενο Joule

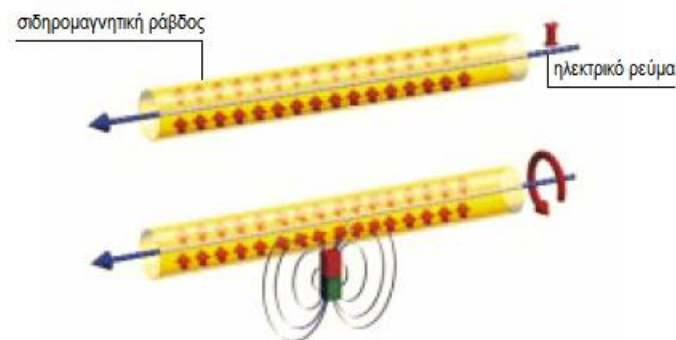
Το φαινόμενο Joule αποτελεί έναν από τους βασικούς μαγνητοσυστολικούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται στους επενεργητές αυτής της τεχνολογίας. Για παράδειγμα εάν φέρουμε μια ράβδο σιδηρομαγνητικού υλικού μέσα σε μαγνητικό πεδίο, το οποίο είναι προσανατολισμένο παράλληλα με την διαμήκη κατεύθυνση της ράβδου, θα υπάρξει μηχανική μεταβολή του μήκους αυτής. Η σχετική αυτή αύξηση του μήκους, που είναι αποτέλεσμα του μαγνητοσυστολικού φαινομένου ή φαινόμενο Joule είναι για την ακρίβεια πολύ μικρή, περίπου της τάξης των μμ.



Εικόνα 4.12: Φαινόμενο Joule και μαγνητοσυστολής.

Φαινόμενο Wiedemann

Ένα ακόμα αποτέλεσμα της μαγνητοσυστολής που χρησιμοποιείται από τα βιομηχανικά προϊόντα και βασίζεται σε αυτήν την μετρητική αρχή ονομάζεται φαινόμενο Wiedemann. Το φαινόμενο αυτό περιγράφει την μηχανική παραμόρφωση μιας λεπτής, μακριάς σιδηρομαγνητικής ράβδου που βρίσκεται μέσα σε ένα διαμήκες, εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Με την ανάπτυξη ροής ηλεκτρικού ρεύματος στη ράβδο παράγεται ένα ομόκεντρο μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 4.13: Φαινόμενο Wiedemann

Φαινόμενο Villary

Το φαινόμενο Villary ανήκει στην κατηγορία των μαγνητοελαστικών φαινομένων και αποτελεί το αντίστροφο φαινόμενο από το Joule. Σχετίζεται με την αλλαγή των μαγνητικών ιδιοτήτων στο διαμήκες επίπεδο, όπως η διαπερατότητα μιας σιδηρομαγνητικής ράβδου που μπορεί να μεταβληθεί λόγω μηχανικής παραμόρφωσης στο αντίστοιχο επίπεδο. Σε συνδυασμό με την αρχή της επαγωγής, αυτή η μεταβολή της διαπερατότητας του μαγνητικού πεδίου μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα και να επιτευχθεί τελικά ηλεκτρονική ρύθμιση.

4.4.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες

Η αναβάθμιση του υδραυλικού κυκλώματος περιλαμβάνει την προσθήκη ενός γραμμικού αισθητήρα θέσης της εταιρείας MTS System Corporation/TEMPOSONICS.

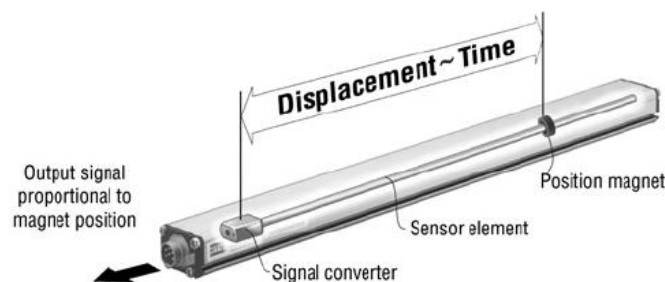


Εικόνα 4.14: Γραμμικός αισθητήρας θέσης τύπου GPV0600MD601V0 (MTS System Corporation).

Ο κωδικός του αισθητηρίου είναι GPV0600MD601V0 και αναλύεται ακολούθως :

ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΣΗΣ	
GP	Μοντέλο αισθητήρα: φέρει κάλυμμα κυματοδηγού κυλινδρικής μορφής
V	Μορφή κεφαλής : ολισθαίνων μαγνήτης με σύνδεση στο μπροστινό μέρος
0600M	Μετρούμενο μήκος : από 50mm μέχρι 600mm
D60	Τύπος σύνδεσης : 6 αρσενικοί υποδοχείς τύπου M16
1	Τάση εισόδου : 24 VDC
V0	Τάση εξόδου : από 0V έως 10V

Πίνακας 4.6: Γραμμικός αισθητήρας θέσης τύπου GPV0600MD601V0 (MTS System Corporation).



Εικόνα 4.15: Εσωτερική διαμόρφωση και επιμέρους συνιστώσες του αισθητήρα θέσης (MTS System Corporation).

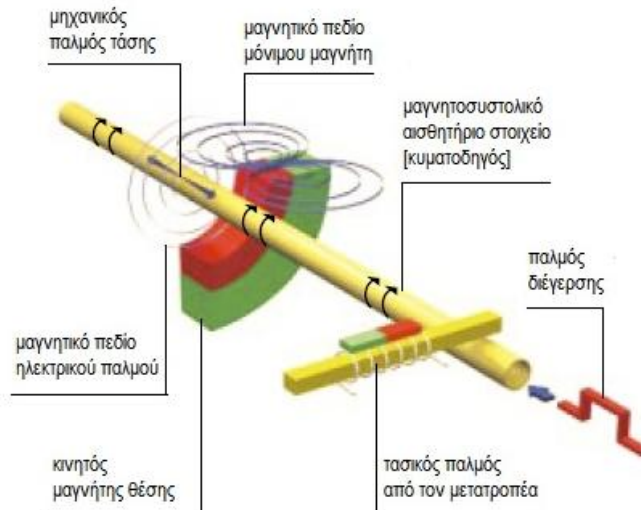
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο αισθητήρας περιλαμβάνει πέντε βασικά δομικά στοιχεία :

- αισθητήριο στοιχείο (κυματικός οδηγός)
- ηλεκτρονικό κύκλωμα του αισθητήρα
- μόνιμος μαγνήτης για τον καθορισμό θέσης
- σύστημα μετατροπής παλμού τάσης

- καπάκι απόσβεσης στο άκρο του αισθητήριου στοιχείου

Η ακόλουθη εικόνα που απεικονίζει σχηματικά την εσωτερική κατασκευαστική διαμόρφωση του αισθητήρα έχει επιλεγθεί για να επεξηγηθούν τα φυσικά φαινόμενα που περιγράφηκαν στην παράγραφο της θεωρίας. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η εφαρμογή ενός αξιόπιστου μετρητικού συστήματος.



Εικόνα 4.16: Αρχή λειτουργίας διέγερσης μαγνητοσυστολικής μέτρησης στον αισθητήρα θέσης.

Το αισθητήριο στοιχείο είναι μια λεπτή ράβδος κατασκευασμένη από σιδηρομαγνητικό υλικό και αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Συνήθως καλείται οδηγός κύματος, διότι λειτουργεί μέσα στην διάταξη ως αγωγός των διαφόρων κυματομορφών που απαιτούνται στην διαδικασία μέτρησης.

Ο οδηγός τοποθετείται μέσα σε προστατευτικό κάλυμμα και προσαρμόζεται στο σταθερό κομμάτι της εγκατάστασης. Γύρω από τον οδηγό αυτό τοποθετείται μαγνήτης θέσης. Είναι ένας μόνιμος μαγνήτης που παρέχει στην διάταξη το αξονικό μαγνητικό πεδίο. Ουσιαστικά, είναι το στοιχείο του αισθητήρα με το οποίο γίνεται ο εντοπισμός της θέσης, γι' αυτό και συνδέεται σταθερά με το βάκτρο (κινητό μέρος) του υδραυλικού κυλίνδρου.

Η ενεργοποίηση της πραγματικής μέτρησης προϋποθέτει την ακριβή θέση του κινητού, μόνιμου μαγνήτη που καθορίζεται με τη συμβολή του ηλεκτρονικού συστήματος της διάταξης. Σε αρχικό επίπεδο εκπέμπεται από αυτό προς τον οδηγό κύματος ένας ηλεκτρικός παλμός. Καθώς ο παλμός διαδίδεται διαμέσου του οδηγού φέρει ένα εγκάρσιο μαγνητικό πεδίο γύρω του. Την στιγμή που ο παλμός βρεθεί στην θέση του μαγνήτη, προκαλείται ελαστική παραμόρφωση του μαγνητοσυστολικού οδηγού λόγω του φαινομένου Wiedemann.

Η μηχανική αυτή στρέψη διαδίδεται στο υλικό του οδηγού ως υπερηχητικό κύμα, αφού η εφαρμογή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται με μορφή παλμού. Το κύμα που δημιουργείται στο συγκεκριμένο σημείο διαδίδεται με την ταχύτητα του ήχου (3000m/s) στο υλικό του οδηγού και διαχέεται στις δυο διευθύνσεις αυτού.

Η ενέργεια του ηχητικού κύματος που συνεχίζει προς το χαμηλότερο άκρο του οδηγού απορροφάται πλήρως από το καπάκι απόσβεσης που είναι τοποθετημένο στο τέλος, προκειμένου να αποφευχθεί οποιοδήποτε σήμα παρεμβολής στην μέτρηση. Αντιθέτως το κύμα που διαδίδεται προς την άλλη πλευρά ανιχνεύεται από την ειδική διάταξη που υπάρχει στο άνω άκρο και παρέχει τις πληροφορίες για την μέτρηση.

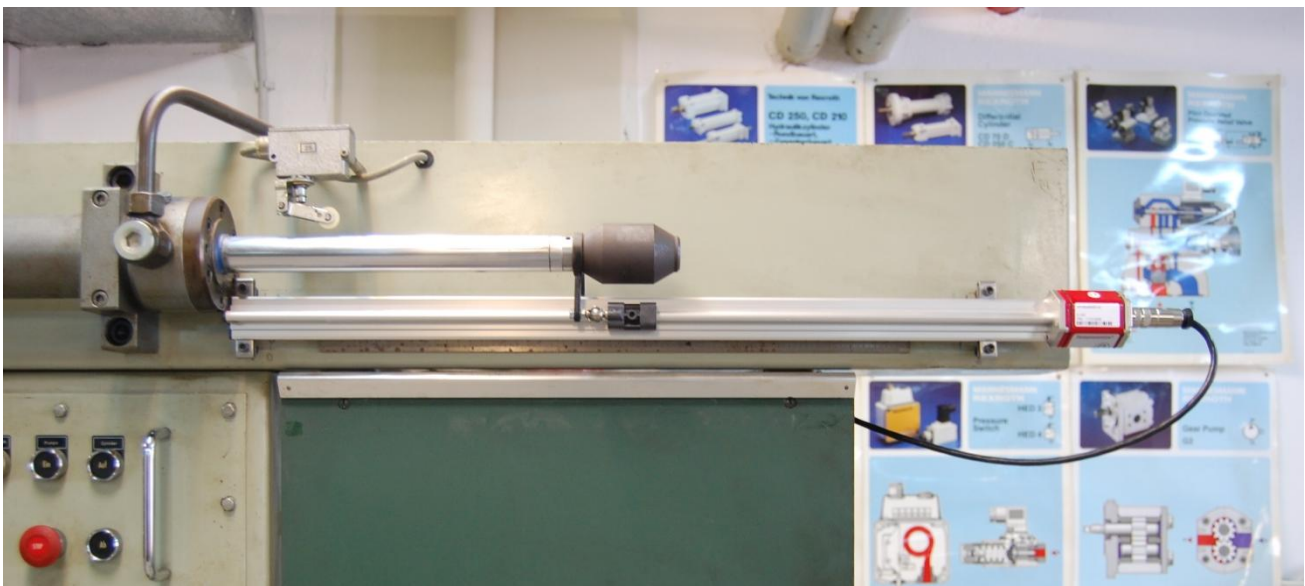
Η διάταξη αυτή είναι ένα ειδικό σύστημα μετατροπής παλμών, που χρησιμοποιεί για την λειτουργία του κυρίως το φαινόμενο Villary. Αποτελείται από ένα μικρό κομμάτι μαγνητοσυστολικού υλικού, που καλείται ταινία και έχει συγκολληθεί στην άκρη του κυματικού οδηγού. Γύρω από την ταινία τυλίγεται ένα επαγωγικό πηνίο, το οποίο μαγνητίζεται από έναν πολύ μικρό μόνιμο μαγνήτη, τον μαγνήτη πόλωσης. Η πορεία διάδοσης του ηχητικού κύματος ξεκινά από τον κυματικό οδηγό και τερματίζει στην ταινία, όπου η τάση που επάγεται από αυτό προκαλεί μεταβολή στη μαγνητική διαπερατότητα της ταινίας.

Με τη σειρά της, η μεταβολή αυτή προκαλεί αλλαγή στην πυκνότητα της μαγνητικής ροής της ταινίας και ως εκ τούτου παράγεται από το πηνίο ένας παλμός τάσης εξόδου, που εντοπίζεται από το ηλεκτρονικό κύκλωμα και ρυθμίζεται στην επιθυμητή έξοδο. Αναλυτικά, την στιγμή που εκπέμπεται ο παλμός διέγερσης εκκινεί ένας χρονομετρητής, ο οποίος σταματάει τη στιγμή ανίχνευσης του κύματος από το σύστημα μετατροπής παλμών. Ο χρόνος που έχει παρέλθει και φαίνεται στον χρονομετρητή αντιπροσωπεύει και την απόσταση μεταξύ του μαγνήτη θέσης και του μετατροπέα.

Τελικά, η διαδικασία ανίχνευσης της θέσης του κινητού μόνιμου μαγνήτη και κατ' επέκταση του βάκτρου καθορίζεται με ακρίβεια μετρώντας τον συνολικό χρόνο διάδοσης του υπερηχητικού κύματος.

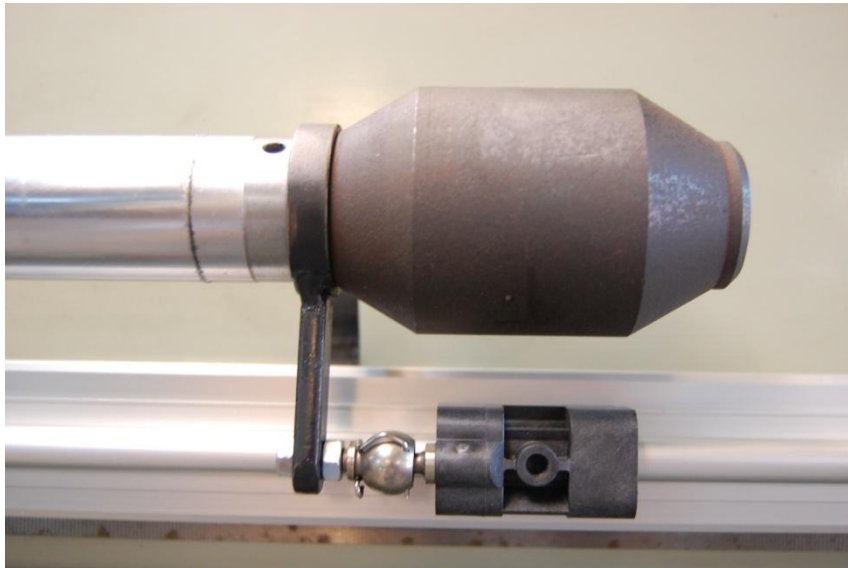
4.4.3.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας αισθητήρα μετατόπισης στο υδραυλικό κύκλωμα

Ο γραμμικός αισθητήρας θέσης τοποθετήθηκε στο δεξί μέρος του υδραυλικού κυλίνδρου. Μέχρι σήμερα οι μετρήσεις της κίνησης του βάκτρου γίνονταν με οπτικό τρόπο χρησιμοποιώντας έναν μεταλλικό κανόνα που βρισκόταν κολλημένος στην δεξιά προστατευτική προέκταση στο άνω μέρος του συστήματος.



Εικόνα 4.17: Σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα θέσης στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Αναλυτικά, η σταθερή ράβδος του αισθητήρα βιδώθηκε στο προστατευτικό πλαίσιο του συστήματος πάνω από τον μεταλλικό κανόνα και το κινητό μέρος προσαρμόστηκε με ειδικό έλασμα που προμηθευτήκαμε από τον κατασκευαστή στο άκρο του δεξιού βάκτρου του υδραυλικού κυλίνδρου. Δεδομένου ότι ο κύλινδρος είναι διπλού βάκτρου (μήκους 500mm) οι κινήσεις των βάκτρων εκατέρωθεν είναι συμμετρικές και ο αισθητήρας μας καλύπτει πλήρως.



Εικόνα 4.18: Σύνδεση κινητού εξαρτήματος αισθητήρα με το βάκτρο του υδραυλικού κυλίνδρου.

4.4.4 Βαλβίδες ρύθμισης παροχής

Σε οποιοδήποτε μηχανικό σύστημα είναι απαραίτητο να υπάρχει πλήρης και συνεχής έλεγχος της ενέργειας και της ισχύος που μεταφέρεται. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να μπορεί να καθορίζει συνεχώς τα διαφορετικά μεγέθη της δύναμης, την κατεύθυνση αυτής και την ταχύτητα στην οποία εφαρμόζεται η δύναμη. Σε ένα υδραυλικό σύστημα, όπου μεταφέρεται υδραυλική ισχύς, ο έλεγχος αυτός είναι μια συνάρτηση της πίεσης (δύναμης), της κατεύθυνσης της ροής και της παροχής (ταχύτητας).

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για τον έλεγχο της παροχής του ρευστού όπως για παράδειγμα η αλλαγή της ταχύτητας της κινητήριας αντλίας, η εγκατάσταση μίας αντλίας μεταβαλλόμενης παροχής ή ακόμα και η χρήση ενός σέρβο-κυκλώματος ελέγχου ή κυκλώματος κλειστού βρόχου. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε σύστημα προκύπτει από την βέλτιστη λύση μεταξύ του κόστους και του επιθυμητού αποτελέσματος.

Γενικά, όταν απαιτείται από την εγκατάσταση αλλαγή της παροχής του ρευστού, η πιο απλή μέθοδος είναι η προσθήκη μιας βαλβίδας ρύθμισης παροχής στο κατάλληλο σημείο του κυκλώματος. Η βαλβίδα αυτή είναι μια συσκευή που επιτυγχάνει τον έλεγχο της παροχής μέσω ενός περιορισμένου ανοίγματος (orifice). Στους απλούστερους τύπους αυτών των βαλβίδων, το στένωμα που υπάρχει στο σώμα τους και η αντίστοιχη πτώση πίεσης που προκαλείται επιφέρουν το στραγγαλιστικό αποτέλεσμα που είναι επιθυμητό. Σε άλλους τύπους, το στένωμα χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αλλαγών στην παροχή της ροής και η αλλαγή στην πτώση πίεσης ενεργεί σε μια ξεχωριστή συνιστώσα της βαλβίδας που ελέγχει την ροή.

Είδη ελέγχου ροής

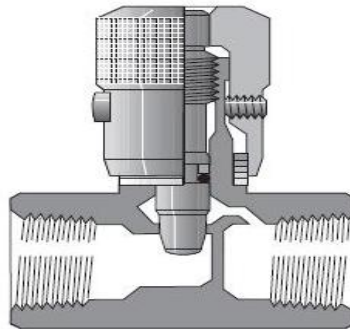
Ένας τρόπος ελέγχου της ροής του ρευστού μπορεί να γίνει εισάγοντας στο κύκλωμα των σωληνώσεων έναν περιοριστικό αγωγό μικρού μήκους, που φέρει μειωμένη εσωτερική διάμετρο. Ο περιορισμός αυτός θα μπορούσε επίσης να επιτευχθεί με μια πλάκα, που φέρει τρύπα και τοποθετείται σε κάποιο σημείο στο υπάρχον κύκλωμα των σωληνώσεων. Αυτό του τύπου οι μέθοδοι αποτελούν μια οικονομική λύση, αφού δεν αγοράζονται από εξωτερικό προμηθευτή και προσφέρουν μια ρύθμιση σταθερής παροχής, καθώς η διατομή του στενώματος μένει αμετάβλητη.

Βελονοειδής βαλβίδα

Η βελονοειδής βαλβίδα αποτελεί μια από τις πιο απλές μορφές βαλβίδας ελέγχου ρυθμιζόμενης παροχής. Αυτές οι βαλβίδες διατίθενται σε όλες τις μορφές και τα μεγέθη ενώ ταυτόχρονα κατασκευάζονται με ή χωρίς εσωτερική βαλβίδα αντεπιστροφής. Η ενσωμάτωση της αντεπιστροφής βαλβίδας επιτρέπει την ελεύθερη ροή προς την μια κατεύθυνση ενώ στραγγαλίζει ή ρυθμίζει την ροή προς την άλλη κατεύθυνση.

Γενικά, η γεωμετρία των βελονοειδών βαλβίδων ποικίλλει ανάλογα με την επιθυμητή αλλαγή της διατομής του στενώματος που απαιτείται. Η θέση της βελόνας σε σχέση με το στένωμα στο εσωτερικό της βαλβίδας αλλάζει μέσω ενός ρυθμιζόμενου στελέχους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερος ή μικρότερος βαθμός στραγγαλισμού της ροής.

Κάποια στελέχη φέρουν σχισμές μέσα στις οποίες εισάγονται βίδες, ενώ άλλα φέρουν ένα τύπο χειροτροχού για την ρύθμιση της βελόνας. Η πιο συνηθισμένη μορφή όμως είναι αυτή ενός βαθμονομημένου στελέχους που μοιάζει με κυλινδρικό κομμάτι του μικρόμετρου και με αυτό επιτυγχάνεται ακριβής ρύθμιση. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις τα στελέχη έχουν έναν πείρο ρύθμισης ή ένα παξιμάδι, το οποίο κλειδώνει τη βελόνα στο σημείο που έχει ρυθμιστεί.



Εικόνα 4.19: Σχέδιο και τομή βελονοειδούς βαλβίδας (Parker Hannifin GmbH & Co. KG).

4.4.4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες

Η αναβάθμιση του υδραυλικού κύκλωματος περιλαμβάνει την προσθήκη δυο βελονοειδών βαλβίδων για την ρύθμιση της παροχής του εργαζόμενου μέσου στο κύκλωμα και παραγγέλθηκαν από την εταιρεία Parker Hannifin GmbH & Co. KG.



Εικόνα 4.20: Βελονοειδής βαλβίδα 9N800S (Parker Hannifin Corporation).

Οι δυο βαλβίδες τοποθετήθηκαν σε δυο διαφορετικά σημεία στο κύκλωμα και είναι ακριβώς όμοιες. Η μέγιστη παροχή της βαλβίδας είναι 50 l/min και η θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας κυμαίνεται στους -40 με 121 °C. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας είναι 350bar ενώ η πίεση ανακοπής είναι 0.4bar. Ο κωδικός αγοράς τους είναι 9N800S και αναλύεται ακολούθως:

ΒΕΛΟΝΟΕΙΔΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑ		
9	Τύπος σύνδεσης :	BSPP (British Standard Parallel Pipe)
N	Τύπος βαλβίδας :	Βελονοειδής
800	Μέγεθος συνδετικού εξαρτήματος :	1/2
S	Υλικό σώματος :	Χάλυβας 350

Πίνακας 4.7: Βελονοειδής βαλβίδα 9N800S(Parker Hannifin Corporation).

Οι στραγγαλιστικές βαλβίδες αυτού του τύπου φέρουν στο εσωτερικό τους βελονοειδές κώνο δυο-βαθμίδων. Το πρώτο στάδιο ρύθμισης επιτυγχάνεται με τρεις περιστροφές του κυλινδρικού στελέχους και στη συνέχεια ακολουθεί το δεύτερο στάδιο με ακόμα τρεις περιστροφές, που παρουσιάζει και αυτό κανονικά χαρακτηριστικά στραγγαλισμού.



Εικόνα 4.20: Ρυθμιστικοί δακτύλιοι βελονοειδούς βαλβίδας 9N800S (Parker Hannifin Corporation).

Επίσης, ο κυλινδρικός κορμός του στελέχους φέρει πολύχρωμους δακτυλίους, έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερη και ακριβέστερη η ρύθμιση του στραγγαλισμού της ροής. Η ροή του εργαζόμενου μέσου εξαρτάται από την πίεση και από την πυκνότητα, όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα του κατασκευαστή (βλέπε παράρτημα Β).

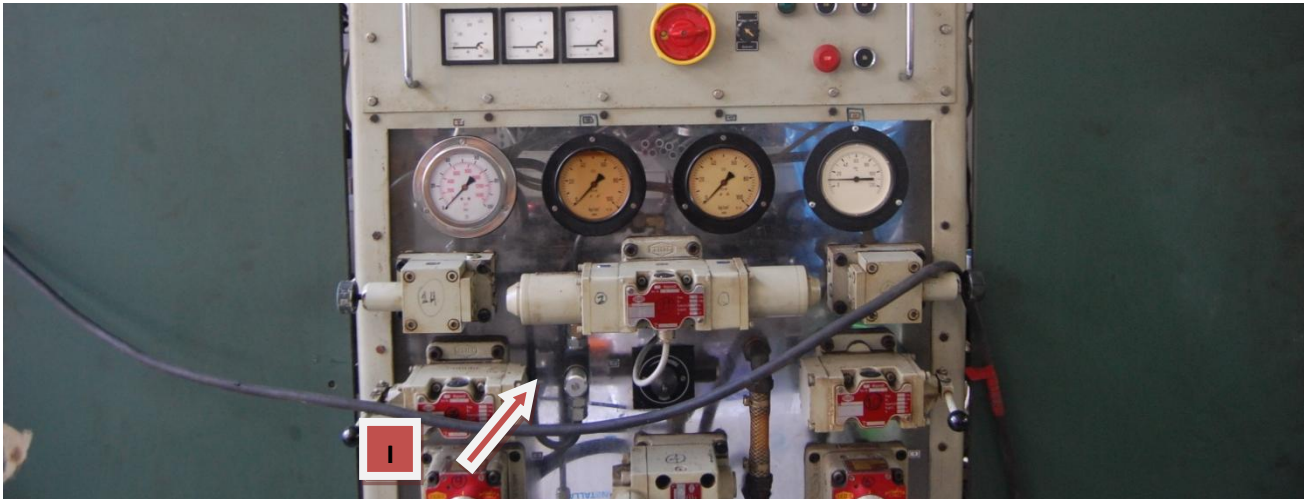
Οι συγκεκριμένες βαλβίδες παρέχουν άριστο έλεγχο της ταχύτητας του συστήματος και στραγγαλισμό της ροής σε υδραυλικές εφαρμογές όπου δεν είναι απαραίτητη βαλβίδα ελέγχου αντεπίστροφης ροής.

4.4.4.2 Αναλυτική επεξήγηση τοπολογίας βαλβίδων στο υδραυλικό κύκλωμα

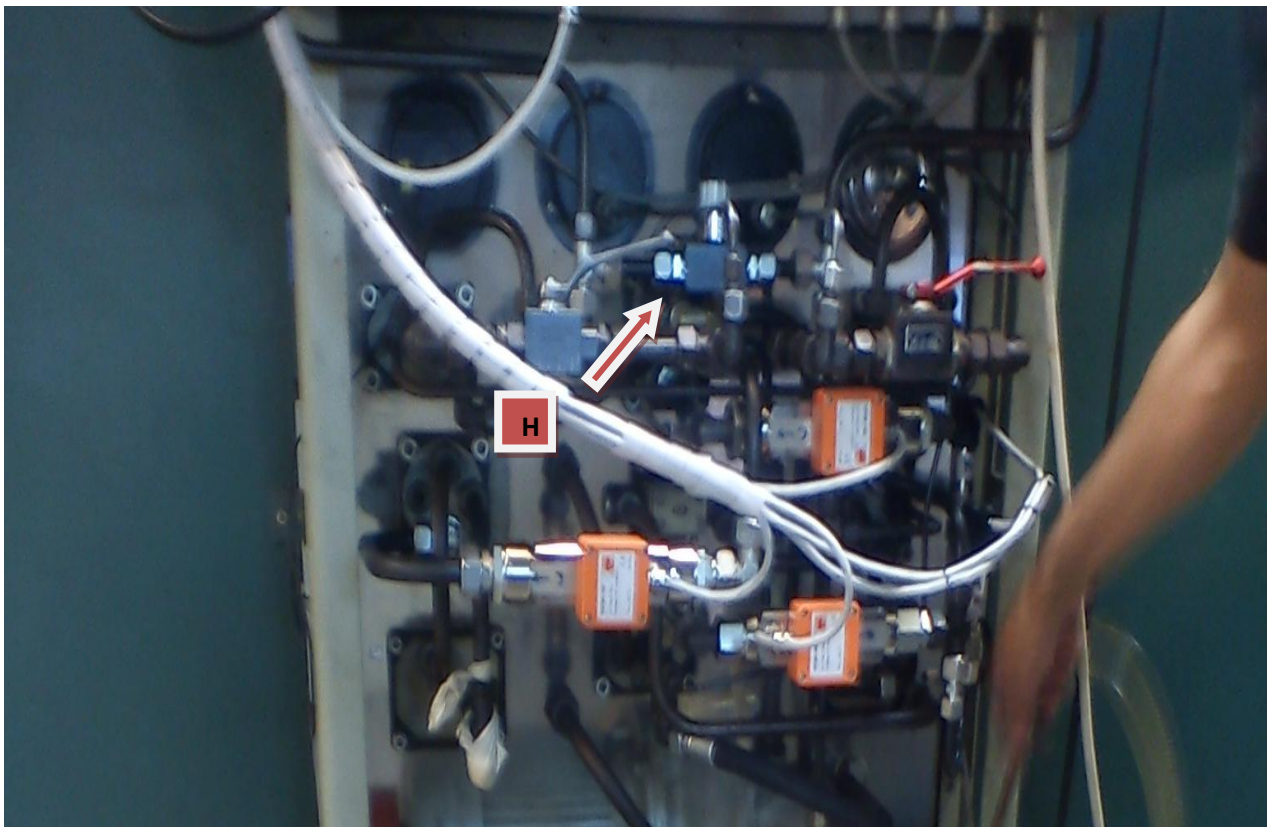
Η αναβάθμιση του υδραυλικού κυκλώματος περιλαμβάνει την προσθήκη δυο βελονοειδών βαλβίδων στραγγαλισμού που συμβολίζονται με H,I για τη δημιουργία διαρρών ανάλογα με την υπό μελέτη κατάσταση. Οι διαρροές αυτές θα μπορούσαν να θεωρηθούν «εικονικές» στα πλαίσια της προσομοίωσης

βλαβών με το υδραυλικό σύστημα Herion, υπό την έννοια ότι έχουμε την δυνατότητα να δημιουργήσουμε διαρροές παρόμοιες με εκείνες που μπορεί να προκαλούνται λόγω αστοχιών σε διάφορα εξαρτήματα, όπως στον κύλινδρο, και στη συνέχεια να μελετήσουμε σε ένα ελεγχόμενο πλαίσιο τη συμπεριφορά των λειτουργικών παραμέτρων (παροχή, όγκος).

Βασικό πλεονέκτημα των συγκεκριμένων βελονοειδών βαλβίδων αποτέλεσε το μέγεθος τους και η ευελιξία στην τοποθέτησή τους. Για την εγκατάστασή τους απαιτήθηκε ελάχιστος χώρος, στοιχείο που ήταν απαραίτητο για το υδραυλικό κύκλωμα Herion, λόγω της παλαιότητας του κυκλώματος οι σωληνώσεις στο πίσω μέρος σχηματίζουν σύνθετες διακλάδωσεις και υπάρχει περιορισμένος χώρος και εναλλακτικές επιλογές παρεμβατικών κινήσεων στην υπάρχουσα διαμόρφωση.



Εικόνα 4.21: Σημείο τοποθέτησης βελονοειδούς βαλβίδας "I" στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.



Εικόνα 4.22: Σημείο τοποθέτησης βελονοειδούς βαλβίδας "H" στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Βελονοειδής βαλβίδα I

Η βελονοειδής βαλβίδα I έχει τοποθετηθεί ως βραχυκύκλωμα στην είσοδο P και στην έξοδο T της βαλβίδας 1V6. Ανοίγοντας τον στραγγαλισμό, δηλαδή αυξάνοντας το άνοιγμα της βαλβίδας δημιουργούμε μια «εναλλακτική» πορεία για το ρευστό, πριν την είσοδο του στην βαλβίδα 1V6 και η ποσότητα που διαφεύγει από εκεί διοχετεύεται στην γραμμή επιστροφής, πριν την βαλβίδα 1V5.

- Σε περίπτωση που ανοίξουμε στο τέρμα τον στραγγαλισμό προφανώς το ρευστό θα επιλέξει να διέρθει εξ'ολοκλήρου από εκεί καθώς η διαφορά πίεσης είναι μικρότερη από αυτήν της βαλβίδας 1V6.
- Σε περίπτωση που ρυθμίσουμε τον στραγγαλισμό σε μικρότερο άνοιγμα, μπορούμε να μειώσουμε την παροχή του εργαζόμενου μέσου που θα συνεχίσει προς το υπόλοιπο κύκλωμα.

Η δημιουργία διαρροών με την συγκεκριμένη βαλβίδα σε συνδυασμό με το σύνολο των αισθητήριων οργάνων αλλά κυρίως με το παροχόμετρο J μας δίνουν την δυνατότητα να προσομοιώσουμε πιθανές βλάβες της βαλβίδας 1V6, όπως η διαρροή του spool.

Βελονοειδής βαλβίδα H

Η βελονοειδής βαλβίδα H έχει τοποθετηθεί ως βραχυκύκλωμα πριν τον υδραυλικό κύλινδρο, ενώνοντας τους σωλήνες που οδηγούν ή απομακρύνουν το εργαζόμενο μέσο από το δεξί και το αριστερό μέρος αντίστοιχα, ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας που έχουμε.

- Σε περίπτωση που ανοίξουμε στο τέρμα τον στραγγαλισμό το ρευστό παρακάμπτει τον υδραυλικό κύλινδρο και διέρχεται εξ'ολοκλήρου από την διαρροή.
- Σε περίπτωση που ρυθμίσουμε τον στραγγαλισμό σε μικρότερο άνοιγμα, μπορούμε να μειώσουμε την παροχή του εργαζόμενου μέσου που θα συνεχίσει προς τον κύλινδρο, μειώνοντας κατευθείαν και την ταχύτητα του.

Με την προσθήκη αυτής της διάταξης μας δίνεται η δυνατότητα να προσομοιώσουμε πιθανές βλάβες του επενεργητή, όπως οι διαρροές από το στεγανωτικό του εμβόλου.

4.4.5 Διάταξη επιβολής φορτίου

Η επιβολή φορτίου με τεχνητό και ελεγχόμενο τρόπο σε ένα υδραυλικό κύκλωμα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως με την προσθήκη στο εξωτερικό μέρος του κυλίνδρου ενός ελατηρίου με γνωστή σταθερά k και ρυθμιζόμενη προφόρτιση.

Επιλέξαμε την εγκατάσταση μιας υδραυλικής διάταξης στο κύκλωμα που μπορεί να δημιουργήσει μια αντιστάμενη στην κίνηση του εμβόλου δύναμη, στραγγαλίζοντας τη ροή του ρευστού και αποτελείται από έναν συνδυασμό ένθετων ηλεκτροαναλογικών βαλβίδων, που τοποθετήθηκαν στην σωλήνωση που οδηγεί στο αριστερό άκρο του εμβόλου. Με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε την δυναμική του ρευστού που ήδη ρέει στο κύκλωμα, εξοικονομώντας ενέργεια και επιτυγχάνουμε βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια. Για παράδειγμα, στην εναλλάκτικη περίπτωση του ελατηρίου, οι απαιτήσεις συντήρησης θα ήταν μεγαλύτερες καθώς η σταθερά του ελατηρίου μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα έχανε την προκαθορισμένη τιμή της και θα οδηγούσε σε απώλεια ακρίβειας.

Συνοπτικά η υδραυλική διάταξη επιβολής φορτίου αποτελείται από μια ηλεκτροαναλογική βαλβίδα, ισορροπημένου εμβόλου διαδοχικών δράσεων, με διάδραση εντολής που δίνεται από μια άλλη ηλεκτροαναλογική βαλβίδα ανακούφισης, που λειτουργεί ως βαλβίδα πιλότος. Για την εγκατάσταση τους στο υδραυλικό κύκλωμα χρησιμοποιήθηκε μπλοκ κάθετης σύνδεσης και στην διάταξη προστέθηκε αναλογικός ενισχυτής. Η τελική, συναρμολογημένη μορφή της διάταξης των βαλβίδων, όπου οι δυο συνδυαζόμενες βαλβίδες έχουν συνδεθεί και τοποθετηθεί στο μπλοκ παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2:



Εικόνα 4.23: Διάταξη ηλεκτροαναλογικών βαλβίδων για την επιβολή φορτίου.

Ακόμα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην τελική μορφή της υδραυλικής διάταξης επιβολής φορτίου προστέθηκε και μια αντεπίστροφη βαλβίδα ως by-pass στη διάταξη των βαλβίδων, ενώ επανατοποθετήθηκε ο αισθητήρας πίεσης G , ώστε να βρίσκεται στο επιθυμητό σημείο, όπως φαίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα του υδραυλικού κυκλώματος. Επίσης, διαμορφώθηκε ειδική κατασκευή με μορφή κύβου για τη σύνδεση των σωληνώσεων, ώστε να αποφευχθεί η χρήση κοχλιωτών συναρμολογών τύπου σταυρού ή πολλαπλών ταυ, με στόχο τη μείωση των εντοπισμένων απωλειών, την οικονομία στην κατασκευή και την καλύτερη λειτουργικότητα της διάταξης.

4.4.5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και εγκατάσταση

Η συνολική διάταξη της υδραυλικής επιβολής φορτίου, έτσι όπως διαμορφώθηκε τελικά παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3 και όπως έχει αναφερθεί συνδέθηκε στον αγωγό που οδηγεί στον αριστερό θάλαμο του υδραυλικού κυλίνδρου.



Εικόνα 4.24: Διάταξη για την επιβολή φορτίου.

Οι ένθετες ηλεκτροαναλογικές βαλβίδες και τα απαραίτητα εξαρτήματά τους είναι προϊόντα της εταιρείας SUN hydraulics ενώ η αντεπίστροφη βαλβίδα είναι μια απλή βαλβίδα εμπορίου. Ο συγκεντρωτικός πίνακας των κωδικών τους ακολουθεί:

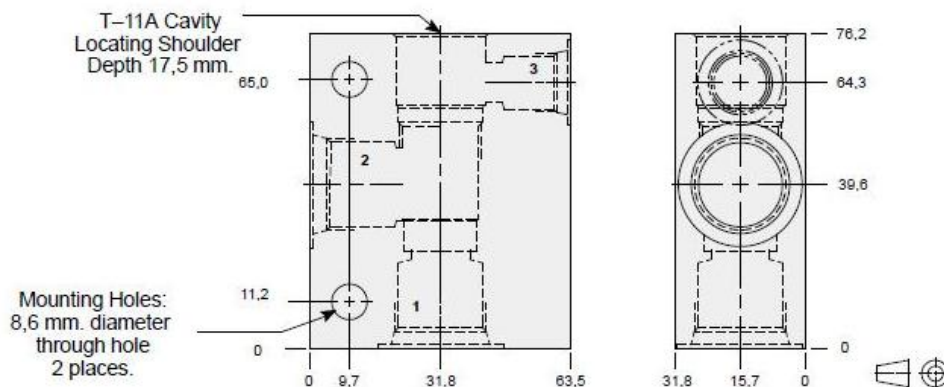
ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΠΙΒΟΛΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	
Κωδικός κατασκευαστή	Περιγραφή
ECU 1KXO-AA	Μπλοκ σύνδεσης
RSDC-8DN	Ηλεκτροαναλογική βαλβίδα
RBAP-MDN	Ηλεκτροαναλογική βαλβίδα πιλότος
790-2B24V	Αναλογικός ενισχυτής
Εμπορίου	Αντεπίστροφη βαλβίδα

Πίνακας 4.8: Στοιχεία διάταξης επιβολής φορτίου.

ΜΠΛΟΚ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Το μπλοκ σύνδεσης που έχει χρησιμοποιηθεί είναι ουσιαστικά μια κατασκευή ορθογώνιου σχήματος, από αλουμίνιο με μέγιστη πίεση λειτουργίας 210 bar, που φέρει εσωτερικά ειδική διαμορφωμένη κοιλότητα τριών διόδων, έτσι ώστε να μπορούν να βιδωθούν κάθετα οι ένθετες βαλβίδες. Το συγκεκριμένο μπλοκ είναι συμβατό με τις απαιτήσεις των βαλβίδων και προτείνεται από τον κατασκευαστή για την χρήση αυτή. Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται η τομή του και ακολούθως παρουσιάζονται οι συνδέσεις που έγιναν αναλυτικά:

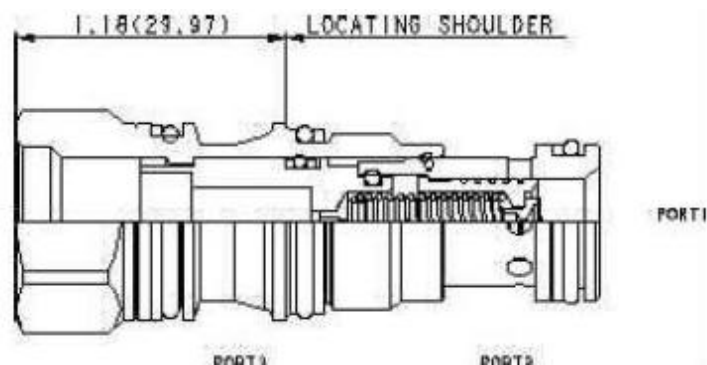
- Θύρα 1: σύνδεση των βαλβίδων
- Θύρα 2: σύνδεση με την σωλήνωση του υδραυλικού κυκλώματος.
- Θύρα 3: σύνδεση με την «νέα» σωλήνωση διαρροής (drain) που οδηγεί το ρευστό στην δεξαμενή.



Εικόνα 4.25: Τομή κάθετου μπλοκ σύνδεσης ECU 1KX0AA (SUN hydraulics).

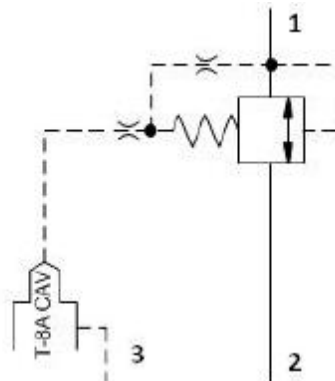
ΗΛΕΚΤΡΟΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ

Η βαλβίδα RSDC-8DN είναι μια βαλβίδα τριών διόδων και αποτελεί το βασικό κομμάτι της διάταξης επιβολής φορτίου, ως προς το ότι η κίνηση αυτής οδηγεί στην επιβολή του φορτίου στο έμβολο. Βάσει του κατασκευαστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση της πίεσης σε ένα υδραυλικό σύστημα αντικαθιστώντας μια ανακουφιστική βαλβίδα δυο διόδων. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωματώση μιας εσωτερικής βαλβίδας εντολής, τύπου T-8A, όπως αυτή που τοποθετήσαμε και αναλύεται στη συνέχεια.



Εικόνα 4.26: Βαλβίδα RSDC-8DN (SUN hydraulics).

Η συγκεκριμένη ηλεκτροαναλογική βαλβίδα έχει εξωτερική αποστράγγιση και η κατασκευή της είναι ισορροπημένου εμβόλου. Η μέγιστη παροχή όγκου που μπορεί να διέρθει από αυτήν είναι 60 l/min και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας είναι 350 bar. Το κυκλωματικό της σύμβολο φαίνεται ακολούθως:

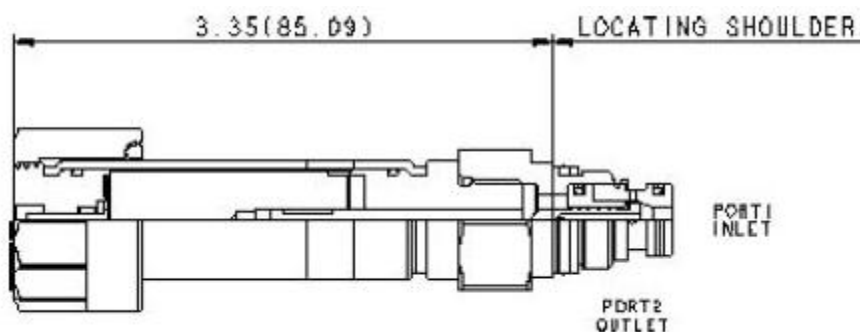


Εικόνα 4.27: Κυκλωματικός συμβολισμός της βαλβίδα RSDC-8DN (SUN hydraulics).

Αναλυτικά, η λειτουργία της στο κύκλωμα βασίζεται στο ότι είναι μια κανονικά κλειστή βαλβίδα, δηλαδή δεν επιτρέπει τη ροή του ρευστού από τη θύρα 2 προς τη θύρα 1, ενώ η ροή από τη θύρα 1 στη θύρα 2 είναι ελεύθερη. Όταν η πίεση στην είσοδο (θύρα 1) εξισωθεί με την πίεση της βαλβίδας ελέγχου που έχουμε ρυθμίσει, τότε το ρυθμιστικό στοιχείο της βαλβίδας κινείται στραγγαλίζοντας τη ροή και δημιουργώντας αύξηση της πίεσης.

ΗΛΕΚΤΡΟΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

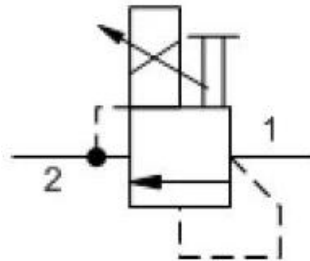
Η βαλβίδα με κωδικό RBAP-MDN είναι μια βαλβίδα δύο διόδων, κανονικά κλειστή που δρα ως βαλβίδα εντολής για τη ρύθμιση της πίεσης. Χαρακτηρίζεται, επίσης ως ανακουφιστική βαλβίδα άμεσης δράσης και ελέγχεται ηλεκτροαναλογικά. Ο αναλογικός έλεγχος μας επιτρέπει οποιαδήποτε ρύθμιση μέσα στο πεδίο πιέσεων που έχει επιλεχθεί.



Εικόνα 4.28: Τομή κάθετου μπλοκ σύνδεσης ECU 1KX0AA (SUN hydraulics).

Η βαλβίδα ελέγχου εντολής χρησιμοποιεί την κοιλότητα/μπλοκ T-8A για να επιτευχθεί ο συνδυασμός της με το στοιχείο ελέγχου της πίεσης, κύριου σταδίου(βαλβίδα RSDC-8DN). Η μέγιστη παροχή όγκου που μπορεί να διέρθει από τη βαλβίδα είναι 1 l/min και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας είναι 350 bar.

Αναλυτικά, όταν η πίεση στην είσοδο (θύρα 1) είναι τόση ώστε να μπορεί να αντισταθεί στις δυνάμεις του πηνίου, που έχουν καθορισθεί από το σήμα της αναλογικής εισόδου, τότε το έμβολο της βαλβίδας μετακινείται και επιτρέπει τη ροή από τη θύρα 1 προς τη θύρα 2 (έξοδο). Το κυκλωματικό σύμβολο της βαλβίδας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3



Εικόνα 4.29 Κυκλωματικός συμβολισμός της βαλβίδα RBAP-MDN (SUN hydraulics).

ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η ενεργοποίηση και η ρύθμιση της ηλεκτροαναλογικής βαλβίδας RBAP-MDN θα πρέπει να γίνει με τον ειδικό ηλεκτρονικό ενισχυτή με κωδικό 790-2B24V.



Εικόνα 4.30: Αναλογικός ενισχυτής σήματος 790-2B24V (SUN hydraulics).

Ο αναλογικός ενισχυτής είναι μια συμπαγής κατασκευή. Αποτελεί έναν συνδυασμό πηνίου/ελεγκτή και η επικοινωνία επιτυγχάνεται μεταξύ δυο υπέρυθρων παραθυρών επικοινωνίας που φαίνονται στην Εικόνα 4.30. Ο ενισχυτής παρέχει στο πηνίο ρεύμα το οποίο είναι ανάλογο με το σήμα εισόδου που δέχεται, δηλαδή αυτό που του στέλνουμε εμείς μέσω του DAQ (βλέπε Κεφάλαιο 4.4.6.1). Το εύρος του σήματος εισόδου που μπορεί να δεχθεί κυμαίνεται στα 0-10V και αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο στραγγαλισμό της ροής του εργαζόμενου μέσου και ακολούθως αύξησης της πίεσης. Η ανάλυση του κωδικού παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3:

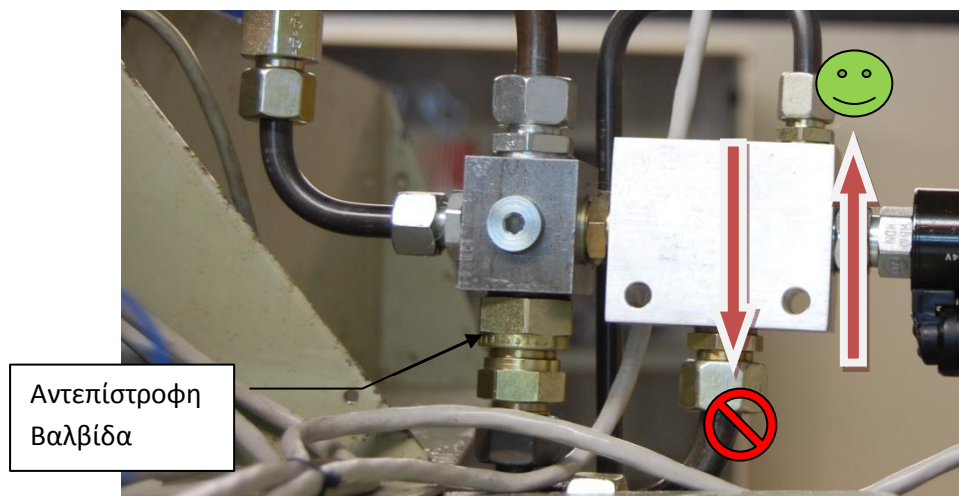
ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	
790	Ενσωματωμένη ηλεκτρονική εγκατάσταση
2	Σύνδεση μορφής A κατα DIN 43650
B	Επιλογή ελέγχου του πηνίου με PLC ή με Joystick
24	Πηνίο με έξοδο 24 V και μέγιστου ρεύματος 600 mA
V	Τάση εισόδου εντολής: Από 0 έως 10 V

Πίνακας 4.9: Αναλογικός ενισχυτής σήματος 790-2B24V (SUN hydraulics).

Επίσης, ο ενισχυτής φέρει στο κάλυμμα της μονάδας του δυο φωτεινούς δείκτες LED που παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση λειτουργίας του. Ο πρώτος δείκτης διακρίνεται από την ονομασία STATUS, που βρίσκεται από κάτω του και σε περίπτωση που σε αυτόν αναβοσβήνει κόκκινο φως, σημαίνει ότι έχει συμβεί κάποιο σφάλμα, ενώ ο δεύτερος διακρίνεται με την ονομασία ACTIVE και παρέχει μια ένδειξη του ρεύματος που διοχετεύεται στις εξόδους του πηνίου.

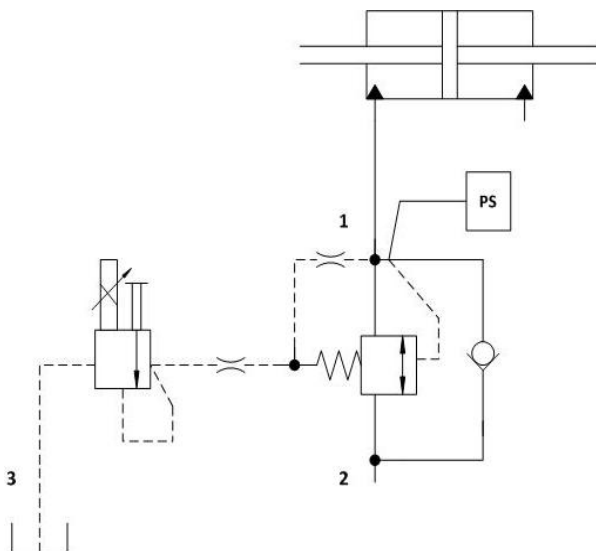
ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ

Η βαλβίδα αντεπιστροφής τοποθετήθηκε σε παράλληλη σύνδεση με τη διάταξη των ηλεκτροαναλογικών βαλβίδων, παρέχοντας στο εργαζόμενο μέσο μια παρακαμπτήρια δίοδο κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα δεξιά. Η βαλβίδα αυτή είναι μια απλή αντεπίστροφη βαλβίδα του εμπορίου.



Εικόνα 4.31: Αντεπίστροφη βαλβίδα εμπορίου της διάταξης για την επιβολή φορτίου.

Τελικά η διάταξη επιβολής φορτίου διαμορφώνεται σύμφωνα με τα αντίστοιχα σύμβολα των επιμέρους υδραυλικών στοιχείων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.32



Κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα δεξιά το ρευστό κατευθύνεται στον αριστερό θάλαμο του κυλίνδρου από την παρακαμπτήρια όδο της αντεπίστροφης βαλβίδας με ελεύθερη ροή, δηλαδή εισέρχεται από το σημείο 2 και εξέρχεται από το σημείο 1.

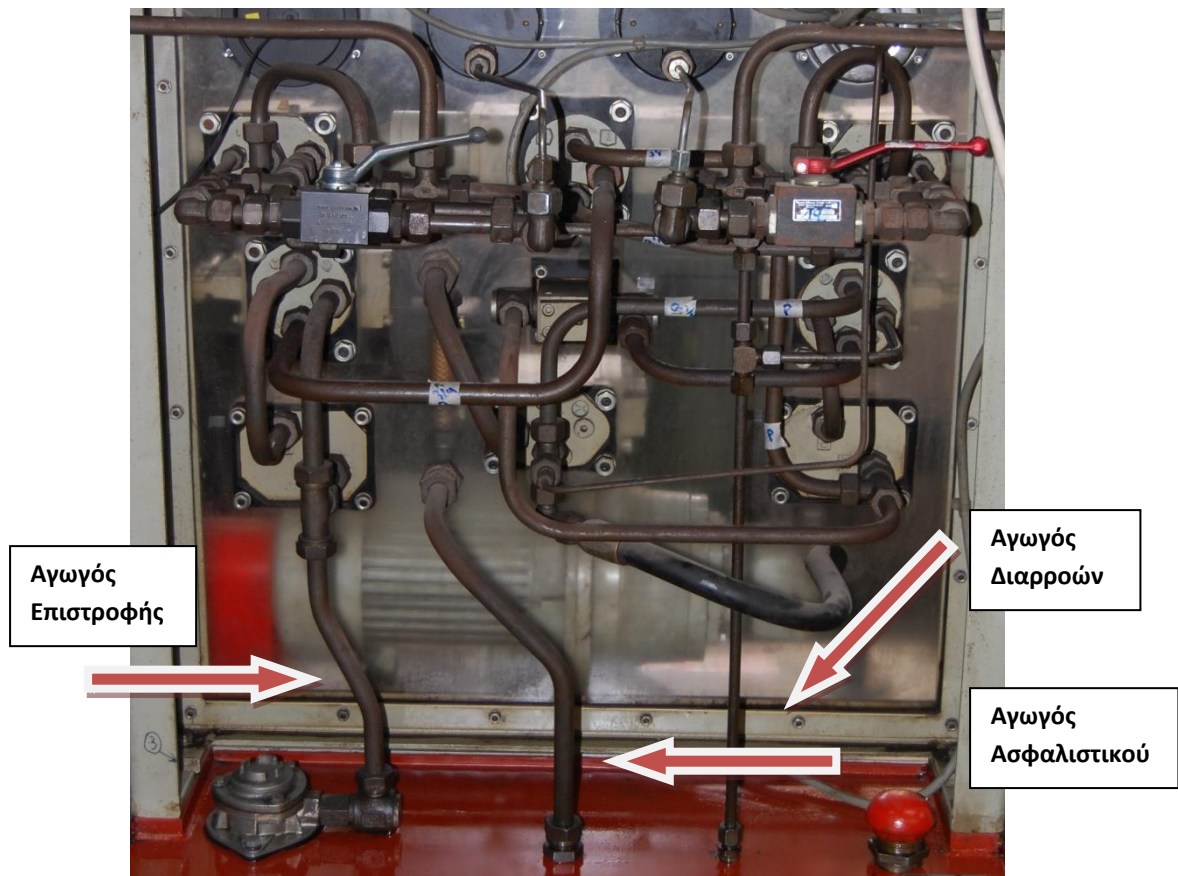
Κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα αριστερά το ρευστό διέρχεται μέσα από τη βαλβίδα RSDC-8DN με ελεύθερη ροή, σε περίπτωση που δεν έχει ενεργοποιηθεί ή όταν η πίεση στο σημείο 1 δεν είναι η απαιτούμενη για την ενεργοποίηση της βαλβίδας πιλότου. Σε περίπτωση ενεργοποίησης της βαλβίδας, ανοίγει ο στραγγαλισμός και ποσότητα του ρευστού διαφεύγει μέσω της διαδρομής 2-3, κατευθυνόμενο προς τη δεξαμενή του κυκλώματος.

Εικόνα 4.32: Κυκλωματικός συμβολισμός διάταξης επιβολής φορτίου.

4.4.6 Φίλτρο πίεσης

Ο καθοριστικός ρόλος των φίλτρων στην αξιοπιστία των υδραυλικών συστημάτων αλλά και στην διασφάλιση της μέγιστης διάρκειας των υδραυλικών εξαρτημάτων έχουν ήδη αναλυθεί όπως και η τεχνολογία τους (βλέπε Κεφάλαιο 1.3.7 & 3.1.2).

Το υδραυλικό κύκλωμα Herion έχει ένα φίλτρο στη γραμμή επιστροφής, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.22. Στον αγωγό επιστροφής, τελικά, καταλήγουν όλες οι σωληνώσεις, εκτός από τις διαρροές των βαλβίδων 1V1,1V9 και 1V10, που είναι πολύ μικρές, και την παροχή του ρευστού που περνάει από το ασφαλιστικό όταν ανοίγει.



Εικόνα 4.33: Διάταξη σωληνώσεων και φίλτρο επιστροφής στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Έχοντας λάβει υπόψη την ειδική διάταξη επιβολής φορτίου που απαρτίζεται από βαλβίδες με υψηλές απαιτήσεις καθαρότητας εργαζόμενου μέσου, αλλά και το γεγονός ότι γενικά τα υδραυλικά συστήματα προβλέπεται να φέρουν φίλτρο στην γραμμή πίεσης τοποθετήθηκε ένα φίλτρο ανάντι της αντλίας δηλαδή λίγο μετά την κατάθλιψη της αντλίας.

Για λόγους πληρότητας της διπλωματικής εργασίας η διαδικασία της τοποθέτησης αναλύεται σε αυτό το σημείο. Θα πρέπει όμως να τονισθεί ότι στην πραγματικότητα το φίλτρο συνδέθηκε αφού ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση των υπόλοιπων εξαρτημάτων, έγιναν οι πρώτες δοκιμαστικές μετρήσεις και ολοκληρώθηκε η διαδικασία flushing (βλέπε Κεφάλαιο 5). Η εγκατάσταση του φίλτρου έγινε στο τέλος, ώστε να μη λειτουργήσει με βρώμικο εργαζόμενο μέσο και να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής για αυτό.

4.4.6.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και εγκατάσταση

Το φίλτρο πίεσης που συνδέθηκε στη γραμμή κατάθλιψης του κυκλώματος είναι της εταιρείας Mahle και ο κωδικός του είναι Pi 3502-12-M-NBR.



Εικόνα 4.34: Σημείο τοποθέτησης φίλτρου πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Το φίλτρο έχει ονομαστική παροχή όγκου ίση με 20lt και η πτώση πίεσης που εμφανίζεται δίνεται από τον κατασκευαστή σε συνάρτηση με την παροχή όγκου. Επίσης, φέρει στο εσωτερικό του ενσωματωμένη αντεπίστροφη βαλβίδα και εξωτερικά είναι εφοδιασμένο στην κεφαλή του με ηλεκτρονική ένδειξη, η οποία δείχνει την κατάσταση ρύπανσης του φίλτρου. Σε περίπτωση κόκκινης ένδειξης το φίλτρο πρέπει άμεσα να αντικαταστεί.

ΦΙΛΤΡΟ	
Πίεση λειτουργίας:	315 bar
Θερμοκρασιακό εύρος:	Από -10 μέχρι 20°C
Υλικό κεφαλής:	GGG
Υλικό κελύφους:	Χάλυβας
Υλικά στεγανωτικών:	NBR/PTFE/AL

Πίνακας 4.10: Φίλτρο κωδικού Pi 3502-12 (Mahle Industriefiltration).

4.4.7 Συσσκευή συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DAQ)

Ο όρος απόκτηση δεδομένων (Data Acquisition) αναφέρεται σε οποιαδήποτε διαδικασία μετατροπής των μετρητικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, έτσι ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν από έναν Η/Υ. Ως συστήματα DAQ θεωρούμε τις συσκευές, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στη χρήση Η/Υ και έχουν την δυνατότητα συλλογής και καταγραφής δεδομένων που περιγράφουν μετρήσεις φυσικών ή ηλεκτρικών φαινομένων, όπως η τάση, το ρεύμα, η θερμοκρασία, η πίεση ή ο ήχος.

Σήμερα, τα συστήματα DAQ παρουσιάζουν υψηλή εξειδίκευση των λειτουργικών δυνατοτήτων τους για την εξυπηρέτηση εργαστηριακών αλλά και βιομηχανικών εφαρμογών, συγκεκριμένων απαιτήσεων. Εντούτοις, όλα τα συστήματα απαρτίζονται από κοινές συνιστώσες που συμπεριλαμβάνουν σήματα, αισθητήρες, μορφοποίηση σημάτων, υλικό εξοπλισμό και ηλεκτρονικούς υπολογιστές με κατάλληλο λογισμικό.



Εικόνα 4.35: Τρόπος απόκτησης δεδομένων από αισθητήρες.

Αισθητήρες, μεταλλάκτες και σήματα

Οι μετρήσεις των φυσικών μεγεθών γίνονται με τη βοήθεια αισθητήρων ή αλλιώς μεταλλακτών. Οι αισθητήρες είναι διατάξεις που διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους και παρέχουν στην έξοδο τους ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα, όπως ρεύμα ή τάση. Έτσι η μέτρηση της ιδιότητας του αισθητήρα επιτρέπει τον άμεσο ποσοτικό υπολογισμό της τιμής του φυσικού μεγέθους.

Η μετατροπή που πραγματοποιούν οι μεταλλάκτες είναι ένα μετρήσιμο σήμα, όμως υπάρχουν δυο κατηγορίες σημάτων που απαιτούν και διαφορετικό τρόπο μέτρησης:

- Το αναλογικό σήμα, που είναι κάθε συνεχές σήμα το οποίο μεταβάλλεται και λαμβάνει συνεχείς τιμές κατά την διάρκεια εξέλιξης του χρόνου. Παραδείγματα αναλογικών σημάτων αποτελούν η πίεση, η τάση, ο ήχος, η θερμοκρασία και το φορτίο. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός αναλογικού σήματος είναι η στάθμη, η μορφή και η συχνότητα.
- Το ψηφιακό σήμα, που μπορεί να είναι ένα σήμα διακριτού χρόνου το οποίο μπορεί να πάρει διακριτές τιμές στον άξονα του ή μια κυματομορφή συνεχούς χρόνου σε ένα ψηφιακό σύστημα το οποίο μπορεί να αναπαρασταθεί σε μια αλληλουχία από bits. Και στις δυο περιπτώσεις το σήμα μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ δυο σταθερών καταστάσεων: υψηλή και χαμηλή. Οι χρήσιμες πληροφορίες που λαμβάνουμε από αυτά στην κατάσταση τους και στον ρυθμό (rate).

Μορφοποίηση σημάτων

Κάποιες φορές τα σήματα εξόδου των μεταλλακτών είναι πολύ δύσκολο και επικίνδυνο να μετρηθούν απευθείας από τα συστήματα DAQ. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι μετρήσεις υψηλών τάσεων, η ταυτόχρονη μέτρηση σημάτων καθώς και η εργασία σε περιβάλλον με θορύβους. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η μορφοποίηση των σημάτων, έτσι ώστε το σύστημα να είναι ασφαλές, να έχει την επιθυμητή ακρίβεια και τα αισθητήρια όργανα να λειτουργούν σωστά.

Κατά κύριο λόγο, η μορφοποίηση των σημάτων χρησιμοποιείται σε συστήματα DAQ, όπου τα σήματα των αισθητήρων πρέπει να κανονικοποιηθούν και να φιλτραριστούν σε κατάλληλα επίπεδα για να πραγματοποιηθεί η αναλογικοψηφιακή μετατροπή. Ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα και του σήματος η διαδικασία διαμόρφωσης του σήματος συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες διεργασίες:

- Ενίσχυση σήματος
- Απόσβεση σήματος
- Χρήση φίλτρων
- Διέγερση σήματος
- Γραμμικοποίηση σήματος
- Ολοκλήρωση με γέφυρα (bridge completion)
- Αντιστάθμιση ψυχρού κόμβου (cold-junction compensation)

Υλικός εξοπλισμός DAQ

Ο υλικός εξοπλισμός ενός συστήματος DAQ λειτουργεί ως ένας διαμεσολαβητής μεταξύ του ηλεκτρονικού υπολογιστή και των σημάτων που λαμβάνονται από όλα τα υπόλοιπα μετρητικά όργανα. Τα ηλεκτρικά σήματα των αισθητήρων οδηγούνται σε μια διάταξη πολλαπλής μεταβίβασης δεδομένων (πολύπλέκτης, κλέμα), της οποίας ο σκοπός είναι να συνδέει τους αισθητήρες με τον αναλογικοψηφιακό μετατροπέα (ADC).

Ο ADC χρησιμοποιείται για την ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων καθώς και για την μετάδοση τους προς τον Η/Υ και αποτελεί το κύριο στοιχείο των συσκευών DAQ. Σε περιπτώσεις όπου οι αποκρίσεις των αισθητήρων είναι σε ψηφιακή μορφή μπορεί να γίνει και απευθείας σύνδεση με τον Η/Υ.

Σε αρκετές συσκευές DAQ ενσωματώνεται και ο ψηφιαοαναλογικός μετατροπέας (D/A), ο οποίος δίνει την δυνατότητα μετατροπής ψηφιακών πληροφοριών που παρέχει ο Η/Υ σε αναλογικά σήματα προκειμένου με αυτά για παράδειγμα να τροφοδοτηθούν επενεργητές.

Οι συσκευές DAQ ενσωματώνουν τις ακόλουθες διαμορφώσεις για την συλλογή, την μέτρηση και την καταγραφή των διαφορετικών τύπων σημάτων που μπορεί να απαιτείται:

- Αναλογικές εισοδοι (AI).
Είσοδοι που έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν αναλογικά σήματα.
- Αναλογικές έξοδοι (AO).
Κανάλια εξόδων που έχουν την δυνατότητα παραγωγής αναλογικών σημάτων.
- Ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι (DIO).

Τα κανάλια ψηφιακών εισόδων/εξόδων συχνά αναφέρονται και ως δυαδικά. Έχουν την δυνατότητα μέτρησης αλλά και παραγωγής ψηφιακών, δηλαδή διακριτών σημάτων. Τα σήματα αυτά μπορεί να είναι μιας ή δυο καταστάσεων, όπως υψηλό/χαμηλό, 1/0 ή on/off.

- Απαριθμητές (Counter)

Καταχωρητές οι οποίοι δρουν ως όργανα αυτόματης ανίχνευσης και μέτρησης συμβάντων ή επαναλήψεων φαινομένων. Επίσης έχουν την δυνατότητα παραγωγής παλμών.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα διατίθενται στην αγορά συσκευές DAQ πολλαπλών χρήσεων που συνδυάζουν όλες τις προαναφερθείσες λειτουργίες σε μια συσκευή καθώς και άλλες που περιλαμβάνουν ενσωματωμένο σύστημα βελτίωσης σημάτων για συγκεκριμένους τύπους αισθητήρων.

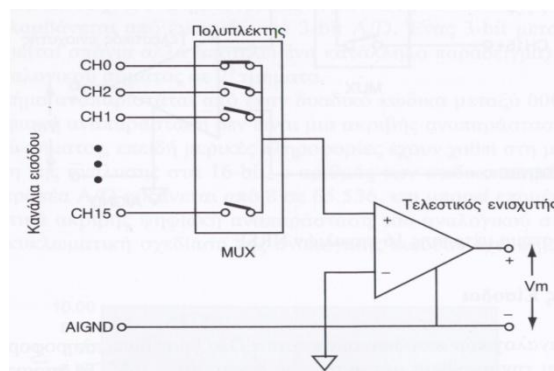
Ακόμα, υπάρχουν οι ακόλουθοι τρεις τρόποι για την ηλεκτρική σύνδεση των καλωδίων των σημάτων εισόδων που μεταφέρονται στο τερματικό μπλοκ μιας συσκευής DAQ. Σε πολλές περιπτώσεις οι συσκευές DAQ υποστηρίζουν και τις τρεις διαμορφώσεις και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει:

- Διαφορική είσοδος (DI)

Οι διαφορικές εισόδους έχουν ξεχωριστή σύνδεση υψηλής και χαμηλής τάσης για κάθε κανάλι. Ουσιαστικά, χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα διαφορικού ενισχυτή παράγεται σήμα στην έξοδο του, ίσο με τη διαφορά των δυο σημάτων στην είσοδο του. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μέτρηση της διαφοράς τάσης μεταξύ των δυο σημάτων, τα οποία είναι συνδεδεμένα στην ίδια γείωση και έτσι μειώνεται ο πιθανός θόρυβος.

- Είσοδος μονής-εξόδου (SE)

Σε αυτήν την περίπτωση σύνδεσης κάθε αναλογική είσοδος έχει μια ξεχωριστή σύνδεση υψηλής τάσης αλλά υπάρχει μόνο ένα καλώδιο χαμηλής τάσης, έτσι όλα τα κανάλια μοιράζονται την ίδια γείωση. Σε αυτήν την κατηγορία διακρίνονται δυο επιπλέον επιμέρους συνδέσεις: η μονοσημιακή σύνδεση με αναφορά (Referenced Single – Ended/RSE) και η αυτή χωρίς αναφορά (Non Referenced Single – Ended/NRSE). Σε μια σύνδεση με μοναδικά τερματισμένη αναφορά των δυναμικών, οι τελεστικοί ενισχυτές των συσκευών DAQ ορίζονται σε συνδεσμολογία μη αναστρέφοντος ενισχυτή που συνδέεται εσωτερικά με τον ακροδέκτη AI_GND. Ένα RSE σύστημα μέτρησης είναι αποδεκτό όταν το μέγεθος των σφαλμάτων μέτρησης λόγω θορύβων είναι μικρότερο από την απαραίτητη ακρίβεια των δεδομένων.



Εικόνα 4.36: Σύστημα μέτρησης 16 καναλιών RSE.

Τέλος, αναφέρουμε ακολούθως κάποια ακόμα χαρακτηριστικά των συστημάτων DAQ, που είναι καθοριστικά για την συμπεριφορά τους και την ποιότητα των μετρήσεων που λαμβάνουμε:

- Αριθμός Καναλιών: ο αριθμός των αναλογικών εισόδων, όπου μπορούν να συνδεθούν σήματα μετρήσεων. Προσδιορίζεται ξεχωριστά για τις συνδεσμολογίες RSE, NRSE σημάτων και για την συνδεσμολογία διαφορικής μέτρησης (DIFF).

- Συχνότητα Δειγματοληψίας: όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα δειγματοληψίας τόσο περισσότερα δεδομένα συλλέγονται μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο, με αποτέλεσμα την καλύτερη αναπαράσταση του αρχικού σήματος.
- Ανάλυση: ο αριθμός των bit που χρησιμοποιεί ο ADC για να αναπαραστήσει το αναλογικό σήμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός υποδιαϊρέσεων του εύρους και τόσο μικρότερη είναι η αλλαγή τάσης στην είσοδό του.
- Εύρος: είναι το ανώτατο και το κατώτατο επίπεδο τάσης που ο μετατροπέας A/D μπορεί να κβαντίσει. Οι συσκευές DAQ πρέπει να προσφέρουν δυνατότητα επιλογής εύρους, έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί το εύρος του σήματος σε εκείνο του μετατροπέα A/D.
- Πλάτος Κώδικα: είναι η μικρότερη ανιχνεύσιμη αλλαγή στο σήμα εισόδου, η οποία καθορίζεται από την ανάλυση και το εύρος μιας συσκευής DAQ. Όσο μικρότερο είναι το πλάτος κώδικα τόσο ακριβέστερες είναι οι μετρήσεις και ο τύπος που υπολογίζουμε το πλάτος κώδικα είναι ο εξής:

$$\text{Πλάτος κώδικα} = \frac{\text{εύρος}}{2^{\text{ανάλυση}}}$$

- Αντίσταση Εισόδου: οι συσκευές DAQ έχουν υψηλή αντίσταση εισόδου έτσι ώστε να μην προκαλείται σφάλμα μέτρησης.

Ηλεκτρονικός Υπολογιστής και λογισμικό

Ένα από τα στοιχεία της σωστής λειτουργίας ενός συστήματος DAQ είναι ο Η/Υ, ο οποίος επηρεάζει σημαντικά τις ταχύτητες με τις οποίες μπορούμε να αποκτήσουμε δεδομένα. Η συλλογή δεδομένων γίνεται με μεγάλες ταχύτητες στα σημερινά συστήματα, με τη βοήθεια γρήγορων επεξεργασιών και διαύλων υψηλής απόδοσης.

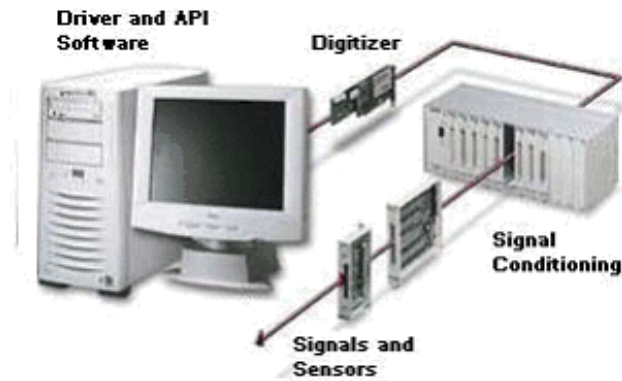
Ο υλικός εξοπλισμός των συστημάτων DAQ μπορεί να συνδεθεί με διάφορους διαύλους επικοινωνίας με έναν Η/Υ, γεγονός που καθορίζεται από τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής:

- Ασύρματη επικοινωνία
- Επικοινωνία ενιαίου σειρικού δίαυλου (USB)
- Σειριακή επικοινωνία με τυποποιημένα πρωτόκολλα τύπου RS232, RS485
- Κάρτες διασύνδεσης

Συγκεκριμένα ο δίαυλος PCI και η θύρα USB είναι οι δημοφιλέστεροι και οι επικρατέστεροι δίαυλοι των σημερινών επιτραπέζιων υπολογιστών. Η επιλογή μιας συσκευής DAQ και της κατάλληλης αρχιτεκτονικής διαύλων θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη και τις μεθόδους μεταφοράς δεδομένων που υποστηρίζονται από τη συσκευή και από το δίαυλο προς επιλογή. Διαφορετικά μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά η απόδοση του συστήματος DAQ.

Μια σειρά τεχνικών μπορεί να βοηθήσει στη γρηγορότερη διακίνηση και επεξεργασία των δεδομένων. Μια από αυτές είναι η «απευθείας πρόσβαση» στην μνήμη (Direct Memory Access/DMA) που χρησιμοποιείται στους περισσότερους σύγχρονους υπολογιστές και αυξάνει την απόδοση του συστήματος. Με αυτήν την μέθοδο ο επεξεργαστής δεν επιβαρύνεται με δεδομένα που μετακινούνται και χρησιμοποιείται για άλλες λειτουργίες.

Για την απόκτηση δεδομένων υπάρχουν κάποιοι περιοριστικοί παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι ο σκληρός δίσκος, ο οποίος μειώνει σημαντικά το χρόνο απόκτησης και κατανομής δεδομένων σε αυτόν. Για συστήματα τα οποία πρέπει να αποκτήσουν υψηλής συχνότητας σήματα ο σκληρός δίσκος θα πρέπει να είναι υψηλής ταχύτητας. Το ίδιο ισχύει και για τον επεξεργαστή, ο οποίος θα επεξεργάζεται τα σήματα.



Εικόνα 4.37: Σύνδεση αισθητήριων οργάνων με Η/Υ.

Το ψηφιακό σήμα στέλνεται στον Η/Υ και στην συνέχεια το λογισμικό που έχουμε εγκαταστήσει αναλαμβάνει την επεξεργασία του σήματος. Ουσιαστικά, το λογισμικό μεταμορφώνει τον υπόλοιπο υλικό εξοπλισμό (Η/Υ, συσκευή DAQ) σε ένα ολοκληρωμένο εργαλείο ανάλυσης, επεξεργασίας και παρουσίασης αποτελεσμάτων και είναι απαραίτητο για την σωστή λειτουργία του συστήματος.

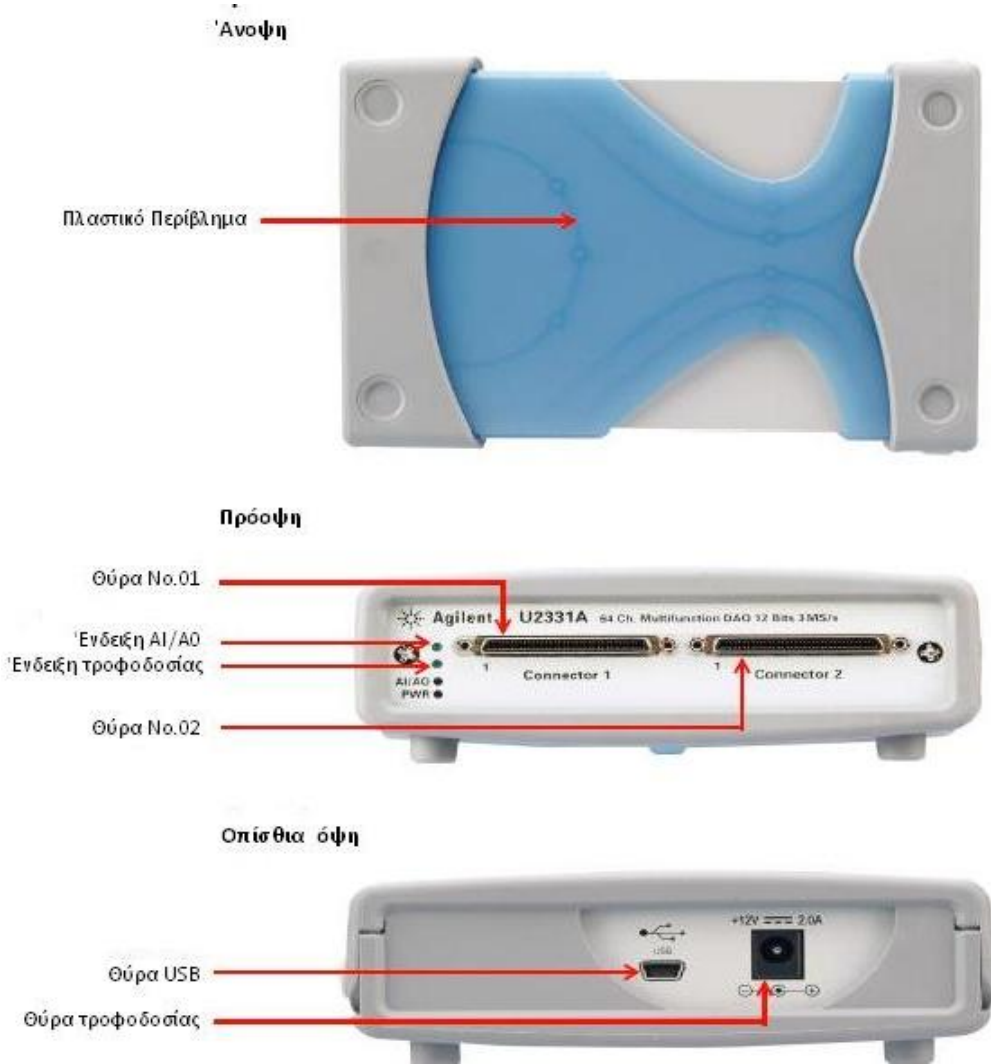
Διακρίνουμε δυο κατηγορίες λογισμικού:

- Το λογισμικό συστήματος, που είναι το τμήμα του λογισμικού που διασφαλίζει την εύκολη επικοινωνία με τον υλικό εξοπλισμό και τις λειτουργίες του χωρίς να απαιτείται η εμπλοκή του χρήστη σε επίπεδο προγραμματισμού. Το λογισμικό αυτό διασυνδέει το υλικό για να μπορεί να παρέχει τις αναγκαίες υπηρεσίες στο λογισμικό εφαρμογών, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης.
- Το λογισμικό εφαρμογής μπορεί να είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης προγραμματισμένο έτσι ώστε να εξυπηρετεί συγκεκριμένα κριτήρια ή μια βάση δεδομένων με προκαθορισμένη λειτουργικότητα. Με αυτό το λογισμικό επιτυγχάνεται η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων.

4.4.7.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες

Στα πλαίσια της αναβάθμισης του υδραυλικού κυκλώματος ήταν απαραίτητη η διαμόρφωση ενός συστήματος DAQ, που να έχει την δυνατότητα συλλογής των αναλογικών σημάτων από τα εγκατεστημένα αισθητήρια όργανα και στη συνέχεια προσαρμογής τους με στόχο να ακολουθεί η διαδικασία επεξεργασίας και ανάλυσης τους στον Η/Υ αλλά και να μας δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της βαλβίδας φορτίου.

Επιλέξαμε την συσκευή U2353A της εταιρείας Agilent Technologies που αποτελεί μοντέλο της ευρύτερης σειράς αρθρωτών πολυλειτουργικών συσκευών DAQ, U2300A και παρουσιάζεται ακολούθως:



Εικόνα 4.38: Συσσκευή DAQ U2353A (Agilent Technologies).

Η συσκευή U2353A ενσωματώνει δυνατότητες λειτουργίας πολλαπλών χρήσεων με αναλογικές και ψηφιακές εισόδους και εξόδους. Η σύνδεση της συσκευής με τον Η/Υ γίνεται μέσω USB 2.0 εξασφαλίζοντας υψηλή ταχύτητα στην επικοινωνία του εξοπλισμού. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των αναλογικών εισόδων και εξόδων στις οποίες και συνδέσαμε τα αισθητήρια:

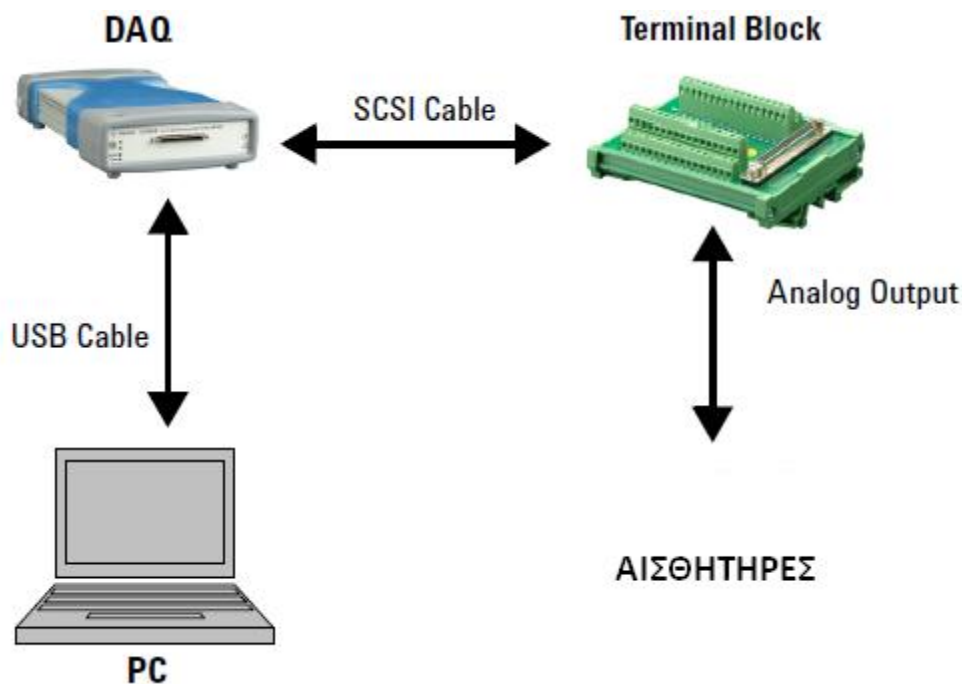
ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΕΙΣΟΔΟΙ (AI)	
Χαρακτηριστικά Αναλογικών Εισόδων (AI)	
Διακριτική ικανότητα	16bits
Αριθμός καναλιών	16 SE / 8 DI (επιλογή μέσω λογισμικού ανά κανάλι)
Μέγιστος ρυθμός δειγματοληψίας	500kSa/s
Προγραμματιζόμενο μονοπολικό εύρος εισόδου	0 με 10 V, 0 με 5 V, 0 με 2.5 V, 0 με 1.25 V
Προγραμματιζόμενο διπολικό εύρος εισόδου	±10 V, ±5 V, ±2.5 V, ±1.25 V
Σύζευξη εισόδου	DC
Εμπέδηση εισόδου	1 GΩ / 100 pF

Πίνακας 4.11: Χαρακτηριστικά αναλογικών εισόδων DAQ U2353A.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΟΔΟΙ (Α0)	
Χαρακτηριστικά Αναλογικών Εξόδων (Α0)	
Διακριτική ικανότητα	16bits
Αριθμός καναλιών	2
Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης	1 MSa/s
Περιοχή λειτουργίας εξόδου	0 με 10 V, ± 10 , 0 με A0_EXT_REF, \pm A0_EXT_REF
Σύζευξη εξόδου	DC
Εμπέδηση εξόδου	0.1 Ω
Ευστάθεια	οποιοδήποτε παθητικό φορτίο μέχρι 1500pF

Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά αναλογικών εξόδων DAQ U2353A.

Για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του συστήματος DAQ προμηθευτήκαμε επίσης από την εταιρεία Agilent Technologies το τερματικό μπλοκ U2902A, το οποίο συνδέεται με την κύρια συσκευή με καλώδιο 68-ακίδων SCSI-II.



Εικόνα 4.39: Σύνδεση συστήματος DAQ.

Συγκεκριμένα, το τερματικό μπλοκ είναι μια διάταξη βιδωτής κλέμας που απλοποιεί την ταυτόχρονη δρομολόγηση των σημάτων προς την συσκευή DAQ. Δεδομένου ότι τα σήματα εξόδων των αισθητήριων οργάνων έχουν ως περιοχή λειτουργίας, τάση 0 έως 10 V και δεν απαιτείται καμία περαιτέρω τροποποίηση των σημάτων, συνδέθηκαν όλα στις αναλογικές εισόδους, εκτός από τη βαλβίδα φορτίου, για την οποία χρησιμοποιήσαμε επιπλέον και μια αναλογική έξοδο. Με αυτήν την σύνδεση επιτυγχάνεται ο έλεγχος της βαλβίδας μέσω του Η/Υ.

Η συσκευή DAQ συνοδεύεται από ειδικό λογισμικό συστήματος, που ονομάζεται Agilent Measurement Manager. Το συγκεκριμένο λογισμικό διαθέτει ειδικά διαμορφωμένο περιβάλλον για την γρήγορη συλλογή, καταγραφή και παρακολούθηση των δεδομένων. Η γραφική απεικόνιση των δεδομένων από τα αισθητήρια γίνεται σε ειδικό παράθυρο αποτελεσμάτων, όπου φαίνονται οι μεταβολές όλων των μεγεθών ταυτόχρονα, με τη δυνατότητα και ξεχωριστής παρακολούθησης μεμονωμένων συνιστωσών.

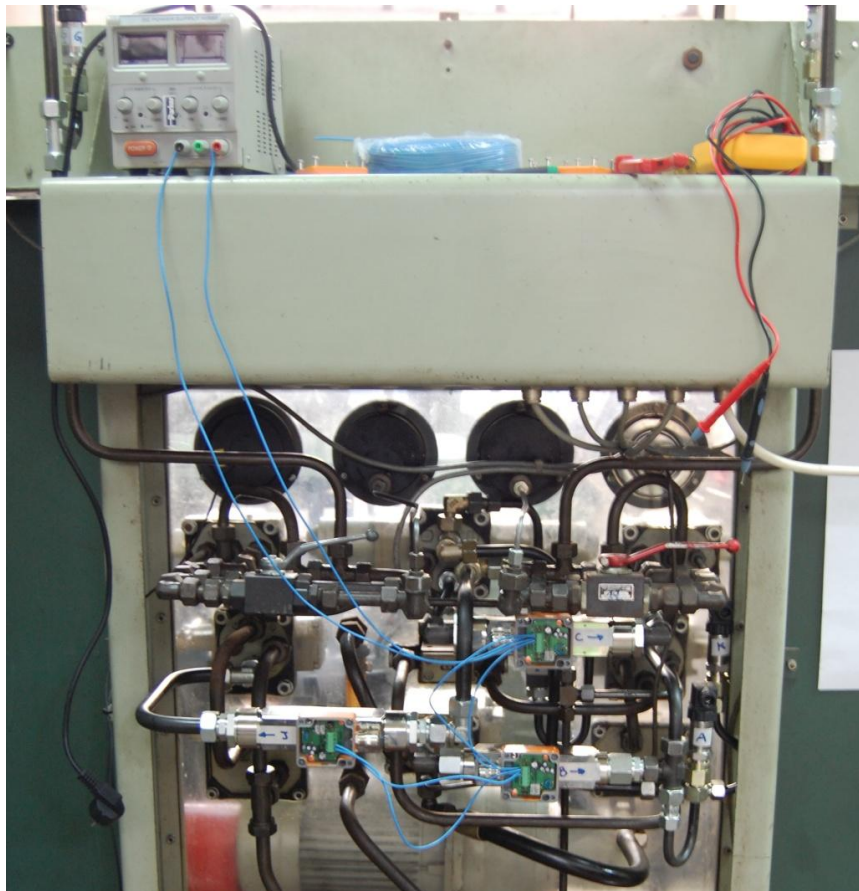
Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής του ρυθμού δειγματοληψίας και εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε διάφορες μορφές αποθήκευσης, όπως σε φύλλα εργασίας του Excel. Βέβαια, υπάρχει συμβατότητα του λογισμικού και με άλλα περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών όπως το LabView, το Matlab και το IIVI.

4.5 Επισκόπηση διαδικασιών στο μηχανουργείο

Οι διαδικασίες της αναβάθμισης πραγματοποιήθηκαν στο μεγαλύτερο ποσοστό τους στο μηχανουργείο της εταιρείας Motion & Control Ltd, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι παρεμβάσεις στο υδραυλικό κύκλωμα έγιναν όχι μόνο για την εγκατάσταση των υδραυλικών εξαρτημάτων αλλά και για την σύνδεση των αισθητήριων οργάνων. Πέρα από τις λεπτομέρειες των επιμέρους διαδικασιών εγκατάστασης που αναλύθηκαν στην προηγούμενη υπόενοτητα αξίζει να αναφερθούν και οι παρακάτω διαδικασίες.

4.5.1 Βαθμονόμηση αισθητήριων οργάνων παροχής

Σε αντίθεση με τα αισθητήρια της πίεσης που δεν απαιτούσαν βαθμονόμηση, τα αισθητήρια της παροχής έπρεπε να προσαρμοστούν στον σχεδιασμό του υδραυλικού κύκλωματος Herion. Σε πρώτο επίπεδο, το κάλλιμπράρισμα των οργάνων έγινε αφού εγκατάστηκαν τα παροχόμετρα στο κύκλωμα. Η απαιτούμενη για τα αισθητήρια εξωτερική διέγερση, δόθηκε από μια φορητή συσκευή της εταιρείας Parker, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1 και οι μετρήσεις των αποκρίσεων λαμβάνονταν με πολύμετρο:



Εικόνα 4.40: Πρώτο στάδιο διαδικασίας βαθμονόμησης αισθητήριων παροχής.

Σε δεύτερο επίπεδο, τα παροχόμετρα αποσυνδέθηκαν από το κύκλωμα και συνδέθηκαν σε σειρά σε ένα νέο κύκλωμα ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στη βαθμονόμηση. Συγκεκριμένα, συνδέθηκαν σε αποστάσεις κατάλληλες μεταξύ τους, ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη τύρβης και κατά συνέπεια δημιουργία παλμών στις μετρήσεις μας. Με αυτόν τον τρόπο επιτύχαμε ρύθμιση των οργάνων υπό όμοιες συνθήκες, δηλαδή σετάρισμα των τιμών σε ελάχιστη και μέγιστη παροχή με βάση τις απαιτήσεις του κύκλωματος μας.

4.5.2 Διαστασιολόγηση σωληνώσεων

Δεδομένου ότι η αναβάθμιση συμπεριλάμβανε την επέμβαση σε πολλά σημεία του κυκλώματος και τις περισσότερες φορές οδηγούμασταν στην διαμόρφωση και τοποθέτηση νέων σωληνώσεων, ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην διάμετρο των σωληνώσεων. Στις γραμμές πίεσης τοποθετήθηκαν σωληνώσεις με εξωτερική διάμετρο 12mm, ενώ ίδιας διαμέτρου σωληνώσεις επιλέχθηκαν και για τα βραχυκυκλώματα των στραγγαλιστικών βαλβίδων, για να υπάρχει ομαλή λειτουργία και σε περιπτώσεις ελεύθερης ροής (πλήρες άνοιγμα στραγγαλισμού). Στην σωλήνωση επιστροφής δεν έγινε κάποια παρέμβαση έτσι έμεινε με τη σωλήνωση διαμέτρου 18mm, ενώ για τις γραμμές διαρροής επιλέχθηκε σωλήνωση 10mm. Τοποθετήσαμε σωλήνωση τόσο μεγάλης διαμέτρου διότι πλέον στην γραμμή αυτή έχει συνδεθεί και η διαρροή της βαλβίδας επιβολής φορτίου. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η χαμηλή πίεση της σωλήνωσης.

4.6 Επισκόπηση ηλεκτρολογικών διαδικασιών

Σε συνεργασία με την εταιρεία Telemetrics Ltd έγιναν οι καθαρά ηλεκτρολογικές διαδικασίες που ήταν απαραίτητες για τη ολοκλήρωση της αναβάθμιση σε θέματα που αφορούν στην σύνδεση του τερματικού και στην τροφοδοσία των αισθητηρίων.

4.6.1 Συνδέσεις νέων τροφοδοτικών συσκευών

Το υδραυλικό κύκλωμα Herion φέρει στο μπροστινό του μέρος ένα συρταρωτό κουτί στο οποίο βρίσκονται όλες οι ηλεκτρολογικές συνδέσεις και η κεντρική τροφοδοσία ρεύματος για τη μηχανή.



Εικόνα 4.41: Κεντρική ηλεκτρολογική εγκατάσταση της υδραυλικής μηχανής Herion.

Δεδομένου ότι οι νέοι αισθητήρες που έχουμε εγκαταστήσει είναι ενεργοί, δηλαδή απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν, ήταν απαραίτητη η τοποθέτηση νέων τροφοδοτικών συσκευών. Επίσης, απαραίτητη ήταν και η τοποθέτηση του τερματικού μπλοκ για τη σύνδεση των αισθητηρίων, σε κατάλληλο σημείο, ώστε να φτάνουν εύκολα τα καλώδια. Αποφασίστηκε να μην επέμβουμε στην υπάρχουσα ηλεκτρολογική εγκατάσταση διότι αφενός μεν δεν υπήρχε επαρκής χώρος και αφετέρου θέλαμε να

εξασφαλίσουμε την καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα της νέας εγκατάστασης. Για τις ηλεκτρολογικές ανάγκες των αισθητηρίων εγκαταστάθηκαν τα παρακάτω:

- Τροφοδοτικό για τα αισθητήρια παροχής και πίεσης
- Τροφοδοτικό για τον αισθητήρα μετατόπισης

Όλα αυτά τοποθετήθηκαν σε ειδική ράγα στο πίσω μέρος του υδραυλικού κυλίνδρου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.42 και με τη σειρά που περιγράφηκαν από δεξιά προς τα αριστερά:



Εικόνα 4.42: Νέα πρόσθετη ηλεκτρολογική εγκατάσταση της υδραυλικής μηχανής Herion.

4.6.2 Συνδεσμολογία τερματικού μπλοκ/κλέμας

Σύμφωνα με το σχέδιο του κατασκευαστή για τις διαμορφώσεις των ακίδων της κλέμας, τοποθετήσαμε τα καλώδια των αισθητήρων και της βαλβίδας φορτίου στις θέσεις που φαίνονται αναλυτικά στο ακόλουθο πίνακα:

AI101 (AIH101)	1	35	(AIL101)	AI109
AI102 (AIH102)	2	36	(AIL102)	AI110
AI103 (AIH103)	3	37	(AIL103)	AI111
AI104 (AIH104)	4	38	(AIL104)	AI112
AI_SENSE	5	39	AI_GND	
AI105 (AIH105)	6	40	(AIL105)	AI113
AI106 (AIH106)	7	41	(AIL106)	AI114
AI107 (AIH107)	8	42	(AIL107)	AI115
AI108 (AIH108)	9	43	(AIL108)	AI116
AO201	10	44	EXTD_AO_TRIG	
AO_GND	11	45	EXTD_AI_TRIG	
AO202	12	46	RESERVED	
AO_EXT_REF	13	47	GND	
COUNT301_CLK	14	48	RESERVED	
COUNT301_GATE	15	49	RESERVED	
COUNT301_UPDOWN	16	50	GND	
COUNT301_OUT	17	51	RESERVED	
COUNT302_CLK	18	52	RESERVED	
COUNT302_GATE	19	53	EXTA_TRIG	
COUNT302_UPDOWN	20	54	EXT_TIMBASE	
COUNT302_OUT	21	55	GND	
DI0502	Bit-7	22	56	Bit-6
	Bit-5	23	57	Bit-4
	Bit-3	24	58	Bit-2
	Bit-1	25	59	Bit-0
DI0504	Bit-3	26	60	Bit-2
	Bit-1	27	61	Bit-0
D_GND	28	62	D_GND	
	Bit-3	29	63	Bit-2
DI0503	Bit-1	30	64	Bit-0
	Bit-7	31	65	Bit-6
DI0501	Bit-5	32	66	Bit-4
	Bit-3	33	67	Bit-2
	Bit-1	34	68	Bit-0

Εικόνα 4.43: Σχέδιο καναλιών τερματικού μπλοκ/ κλέμας (Agilent Technologies).

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΜΠΛΟΚ/ΒΙΔΩΤΗΣ ΚΛΕΜΑΣ						
Είδος	Κωδικός	Κανάλι	Ονομασία Σήματος	Κατεύθυνση Σήματος	Γείωση Αναφοράς	Περιγραφή
TERMINAL BLOCK			AI_GND	Δ/Ε	Δ/Ε	Γείωση αναλογικών εισόδων <AI>
TERMINAL BLOCK			A0_GND	Δ/Ε	Δ/Ε	Γείωση αναλογικών εξόδων <A0>
Μεταλλάκτης πίεσης	J	1	AI101	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Μεταλλάκτης πίεσης	B	2	AI102	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Μεταλλάκτης πίεσης	C	3	AI103	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Παροχόμετρο	G	4	AI104	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Παροχόμετρο	K	6	AI105	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Παροχόμετρο	A	7	AI106	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Παροχόμετρο	D	8	AI107	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Μεταλλάκτης μετατόπισης		9	AI108	Είσοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εισόδου
Βαλβίδα φορτίου		10	A0201	Έξοδος	AI_GND	Κανάλι αναλογικής εξόδου
		11	A0_GND	Δ/Ε	Δ/Ε	Γείωση αναλογικών εξόδων <A0>

Πίνακας 4.13: Αντιστοίχιση καναλιών κλέμας με τα αισθητήρια μετρητικά όργανα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ HERION ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ FLUSHING

Αφού ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση όλων των μετρητικών οργάνων και των υδραυλικών εξαρτημάτων στο υδραυλικό κύκλωμα Herion, η μηχανή μεταφέρθηκε στο εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών του ΕΜΠ. Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της διαδικασίας της αναβάθμισης και σε συνεργασία με την εταιρεία Motion & Control Ltd, προχωρήσαμε στον έλεγχο της καθαρότητας του υδραυλικού ρευστού του κυκλώματος.

Ο συγκεκριμένος έλεγχος θεωρήθηκε απαραίτητος έχοντας λάβει υπόψη τους ακόλουθους παράγοντες:

- Το υδραυλικό κύκλωμα Herion βρισκόταν εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Η δεξαμενή του υδραυλικού κυκλώματος δεν είχε καθαριστεί ποτέ.
- Οι τροποποιήσεις που έγιναν στο κύκλωμα για την εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού συμπεριλάμβαναν αποσυναρμολόγηση των παλαιών σωληνώσεων και επανατοποθέτησή τους μετά από νέα διαμόρφωση, καθώς και προσθήκη νέων σωληνώσεων και συνδετικών παρεμβυσμάτων. Παρότι τηρήθηκε όλη η προβλεπόμενη διαδικασία, για τη αποφυγή εισαγωγής οποιουδήποτε είδους ρύπου, όπως σκόνη και ρινίσματα από την κοπή των σωληνών, δεν μπορούσαμε να αποκλείσουμε το ενδέχόμενο της ρύπανσης.
- Οι πολλαπλές αποσυναρμολογήσεις εξαρτημάτων και σωληνώσεων από το κύκλωμα οδήγησαν σε μη αμελητέες διαρροές από διάφορα σημεία του κυκλώματος. Λόγω αυτού αναγκαστήκαμε να προσθέσουμε νέο υδραυλικό υγρό στην δεξαμενή, ώστε να έχουμε πλήρη έλεγχο της ακριβούς ποσότητας του υδραυλικού υγρού του κυκλώματος. Τελικά, το υδραυλικό κύκλωμα είχε στην δεξαμενή του το μίγμα ενός λαδιού που δεν είχε ελεγχθεί ως προς την ποιότητα του από το 2003 και μια ποσότητα καινούριου λαδιού που πιθανόν να έφερε κάποιο ποσοστό ρύπανσης (built-in contamination).
- Κατά την εκτέλεση εργασιών καθαριότητας στο κύκλωμα βρέθηκαν κομμάτια υφάσματος στο φίλτρο της γραμμής επιστροφής καθώς και διάφορα άλλα αντικείμενα.
- Οι απαιτήσεις καθαρότητας της βαλβίδας φορτίου (18/16/13) που τοποθετήθηκε είναι πολύ πιο αυστηρές από τις κατασκευαστικές προδιαγραφές των υπόλοιπων εξαρτημάτων, οπότε κρίθηκε απαραίτητο όλο το κύκλωμα να συμμορφωθεί με αυτές.

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου χρησιμοποιήθηκε η φορητή μονάδα ελέγχου της εταιρείας Hydac και συγκεκριμένα το μοντέλο FCU2210 011M, το οποίο έχει τη δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με το υδραυλικό κύκλωμα, διεξαγωγής συνεχών δειγματοληψιών υπό πίεση, με ρυθμό παροχής αισθητήρα 100ml/min και εξαγωγής αποτελεσμάτων κατά ISO 4406:1999, σε εκτυπώσιμη μορφή αλλά και άμεσα σε ενσωματωμένη οθόνη.



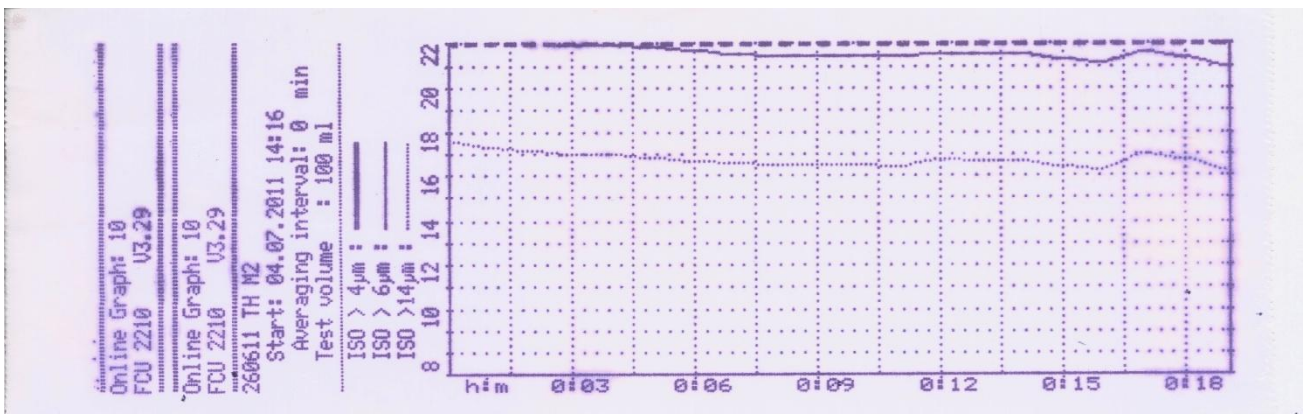
Εικόνα 5.1: Φορητή μονάδα ελέγχου ρευστών FCU2210 011M, της εταιρείας HYDAC.

Για την τροφοδοσία της μονάδας με υδραυλικό ρευστό, συνδέθηκε αντλία κυκλοφορίας της ίδιας εταιρείας και με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα κύκλωμα μεταξύ της δεξαμενής, της μονάδας ελέγχου και της πρόσθετης αντλίας. Η αναρρόφηση και η επιστροφή του υδραυλικού υγρού έγινε αφαιρώντας τον αναπνευστήρα της δεξαμενής και εισάγοντας μια ράβδο και δυο εύκαμπτους σωλήνες αντίστοιχα. Η ράβδος τοποθετήθηκε στην αναρρόφηση, έτσι ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε κατά προσέγγιση το σημείο δειγματοληψίας μέσα στην δεξαμενή και να λαμβάνουμε αντιπροσωπευτικό δείγμα.



Εικόνα 5.2: Αντλία κυκλοφορίας της εταιρείας HYDAC και κύκλωμα δειγματοληψίας.

Τα αποτελέσματα που λάβαμε από τη μονάδα ελέγχου τα πρώτα 20 min λειτουργίας του κυκλώματος ήταν, όπως αναμενόταν, χαρακτηριστικά της κακής κατάστασης του υδραυλικού υγρού. Συγκεκριμένα, η γραμμή για τα σωματίδια που είναι 4μm βγήκε εκτός του διαγράμματος και δεν ήταν εμφανής. Ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση, δεδομένου ότι ο τελευταίος κωδικός του συστήματος ISO είναι το 23, συμπεραίνουμε ότι το ρευστό δεν μπορεί να καταταχθεί σε καμία κλάση ως προς τον πρώτο κωδικό. Η γραμμή για τα σωματίδια της τάξης των 6μm εισέρχεται στο διάγραμμα μετά την πάροδο 6 min, ενώ η γραμμή για τα σωματίδια της τάξης των 14μm ξεκινάει από το 18.



Διάγραμμα 5.1: Γραφική παράσταση αποτελεσμάτων για τον έλεγχο καθαρότητας του υδραυλικού ρευστού ($\Delta t=10\text{min}$)

Θεωρώντας αντιπροσωπευτική την μέτρηση στα 9 μm και βάσει του διαγράμματος που λάβαμε, μπορούμε να κατατάξουμε το υδραυλικό ρευστό του κυκλώματος Herion στην κλάση 23/21/18, που είναι και η τελευταία, θέτοντας προσεγγιστικά τον πρώτο κωδικό. Αναλυτικά στο υδραυλικό ρευστό υπήρχαν ανά ml:

- Κωδικός 23: από 40.000 μέχρι 80.000 σωματίδια της τάξης των 4 μm
- Κωδικός 21: από 10.000 μέχρι 20.000 σωματίδια της τάξης των 6 μm
- Κωδικός 18: από 1.300 μέχρι 2.500 σωματίδια της τάξης των 14 μm

Τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να γίνουν αποδεκτά για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των συνιστωσών του υδραυλικού κυκλώματος και ιδιαίτερα της βαλβίδας φορτίου που παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία στη ρύπανση, ως εξάρτημα καινούριας τεχνολογίας. Επίσης, η εργασία με ένα τόσο επιβαρυνμένο λάδι είναι πιθανόν να δημιουργήσει προβλήματα στην ακρίβεια των μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν κατά τη μελλοντική χρήση του κυκλώματος, το οποίο πρόκειται να χρησιμεύσει ως πλατφόρμα προσομοίωσης βλαβών, αλλά και ως προς τη γενικότερη αξιοπιστία των μετρήσεων αυτών.

Το επόμενο στάδιο, ύστερα από την διαπίστωση των υψηλών ποσοστών ρύπανσης, είναι η διαδικασία καθαρισμού του υδραυλικού υγρού (flushing).

Το κύκλωμα κυκλοφορίας με την μονάδα ελέγχου παραμένει ακριβώς όπως ήταν στο πρώτο στάδιο, έτσι ώστε να λαμβάνουμε συνεχείς μετρήσεις της κατάστασης του ρευστού και να παρακολουθούμε την διαδικασία.

Η διαδικασία καθαρισμού μέσω flushing πραγματοποιήθηκε με συνεχή εξωτερική ανακυκλοφορία όλου του ρευστού της δεξαμενής προς και από μια εξωτερική κινητή εγκατάσταση. Η εγκατάσταση αυτή περιλαμβάνει μια γραναζωτή αντλία 43lt χαμηλής πίεσης και τον ηλεκτροκινητήρα για την οδήγησή της, καθώς και δυο φίλτρα σε παράλληλη σύνδεση με στραγγαλιστικές βαλβίδες, ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε την ροή προς αυτά.



Εικόνα 5.3: Off-line κινητή εγκατάσταση καθαρισμού υδραυλικού ρευστού.

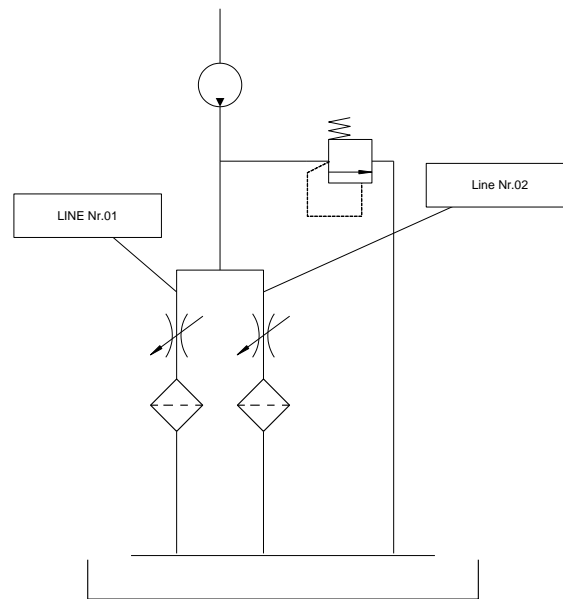
Καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχία της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι ο σαφής υπολογισμός του συνολικού χρόνου φιλτραρίσματος που απαιτείται για την επίτευξη των επιθυμητών στόχων καθαρότητας του ρευστού. Σύμφωνα με οδηγίες των κατασκευαστών (REXROTH-Bosch Group), ο γενικός κανόνας που συνιστάται για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου (flushing time) που απαιτείται είναι:

$$t = \frac{V}{q_v} \times 2,5 \dots 5 \text{ φορές}$$

όπου:

- t = ο συνολικός χρόνος της διαδικασίας (flushing time), σε ώρες (h)
 V = ο συνολικός όγκος υδραυλικού ρευστού της δεξαμενής, σε λίτρα (l)
 q_v = η παροχή όγκου της αντλίας, σε l/min

Στην περίπτωση του υδραυλικού κυκλώματος Herion, όπου ο όγκος του εργαζόμενου ρευστού είναι $V=70\text{lt}$, η διαδικασία θα έπρεπε να διαρκέσει 2,5 h το λιγότερο. Όμως, η ύπαρξη των δυο φίλτρων στην κινητή εγκατάσταση καθαρισμού και η ευελιξία που έχουμε μέσω των στραγγαλισμών, μας δίνει τη δυνατότητα να μειώσουμε τον χρόνο. Στο ακόλουθο συνοπτικό, μονογραμμικό σχέδιο παρουσιάζεται το κύκλωμα της κινητής εγκατάστασης, ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η μορφή του.



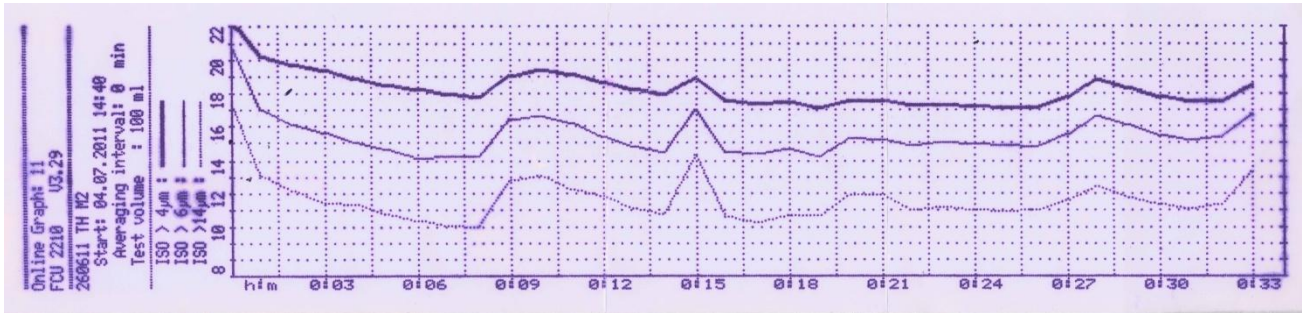
Διάγραμμα 5.2: Συνοπτικό μονογραμμικό διαγράμμα της off-line κινητής εγκατάστασης.

Για την εξυπηρέτηση της διαδικασίας, αποσυνδέθηκε η σωλήνωση της γραμμής επιστροφής του κυκλώματος και αφαιρέθηκε το φίλτρο, ώστε να εισέρθουν ο ένας εύκαμπτος σωλήνας της αναρρόφησης και οι δυο σωλήνες της κατάθλιψης. Προσθέσαμε και μια ακόμα γραμμή, που εξυπηρετεί την ανακουφιστική βαλβίδα της εγκατάστασης, την οποία χρησιμοποιούμε για να μειώσουμε τον όγκο εργασίας της αντλίας, που συνήθως χρησιμοποιείται σε πιο μεγάλες υδραυλικές εφαρμογές.



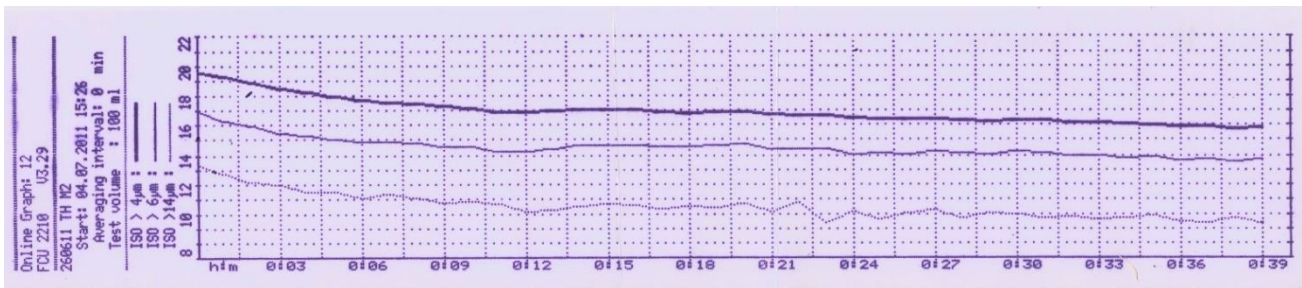
Εικόνα 5.4: Σύνδεση off-line κινητής εγκατάστασης καθαρισμού με το υδραυλικό κύκλωμα Herion.

Στην πρώτη φάση της διαδικασίας τοποθετήσαμε δυο φίλτρα 25μm στην γραμμή No.01 και στην No.02 αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το λάδι έχει πολλά σωματίδια-ρυπαντές και η χρήση φίλτρων υψηλής ή ακόμα και μέσης ικανότητας φιλτραρίσματος θα ήταν αναποτελεσματική (άμεση έμφραξη). Βάσει των αποτελεσμάτων που δίνονται από την μονάδα ελέγχου, παρατηρήσαμε ότι το ρευστό αρχίζει και καθαρίζει. Στο 16^ο min αλλάξαμε το ένα φίλτρο στην γραμμή No.02 με ένα άλλο ικανότητας 10μm, ανοίγοντας ταυτόχρονα και το στραγγαλισμό, ώστε να αποφύγουμε ενδεχόμενη εμπλοκή του φίλτρου. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται αναλυτικά η εξέλιξη της διαδικασίας. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι αυτές στο 15^ο min και περίπου στο 28^ο min, όπου η μονάδα ελέγχου καταγράφει την ύπαρξη μεγάλων σωματιδίων. Στο τέλος της γραφικής παράστασης το ρευστό έχει φτάσει περίπου στην κλάση 18/16/13.



Διάγραμμα 5.3: Γραφική παράσταση αποτελεσμάτων διαδικασίας κάθαρσης του υδραυλικού ρευστού ($\Delta t=33$ min).

Η κλάση 18/16/13 θα μπορούσε να αποτελέσει ανεκτό επίπεδο καθαρότητας, όμως η μορφή της καμπύλης επιβεβαίωσε ότι η διαδικασία δεν έχει ολοκληρωθεί, διότι δεν υπάρχει σταθερότητα. Συνεχίσαμε, λοιπόν, την διαδικασία κάθαρσης αλλάζοντας το φίλτρο της γραμμής No.01 και βάζοντας ένα φίλτρο 5μm για ακόμα 50 min.



Διάγραμμα 5.4: Γραφική παράσταση τελικών αποτελεσμάτων διαδικασίας κάθαρσης του υδραυλικού ρευστού ($\Delta t=50$ min).

Η τελική καμπύλη που παίρνουμε είναι πλέον ομαλή, χωρίς διακυμάνσεις και απότομες κορυφές, γεγονός που αποδεικνύει ότι η κατάσταση του υδραυλικού ρευστού έχει σταθεροποιηθεί.

Το υδραυλικό υγρό του κυκλώματος Herion μπορεί να λάβει πιστοποίηση κατά ISO 4406:1999 ότι ανήκει στην κλάση 16/14/10, δηλαδή περιέχει ανά ml:

- Κωδικός 16: από 320 μέχρι 640 σωματίδια της τάξης των 4 μm.
- Κωδικός 14: από 80 μέχρι 160 σωματίδια της τάξης των 6 μm.
- Κωδικός 10: από 5 μέχρι 10 σωματίδια της τάξης των 14 μm.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κωστόπουλος, Θεόδωρος Ν. (2009). Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.
2. Κωστόπουλος, Θεόδωρος Ν. (2009). Διάγνωση Βλαβών και Συντήρηση Περιστρεφόμενων Μηχανών. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.
3. Watton, John (2007). Modelling, Monitoring and Diagnostic Techniques for Fluid Power Systems.UK: Springer-Verlag London.
4. Μάμαλης, Αθανάσιος Γ. Τεχνολογία των κατεργασιών των υλικών: Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά (2007),pp.329 -356. Αθήνα: Εκδόσεις "ΦΟΙΒΟΣ".
5. Τατσιόπουλος, Η. Π. (2005). Σημειώσεις ΕΜΠ για το μάθημα Προγραμματισμός & Έλεγχος Παραγωγής II. ΑΘΗΝΑ.
6. Smith, Anthony M. & Hinchcliffe, Glenn R. (2004). RCM – Gateway to World Class Maintenance, Chapter 4. USA: Elsevier Butterworth-Heinemann.
7. Mobley, Keith R. (2002). An Introduction To Predictive Maintenance. USA: Butterworth-Heinemann.
8. Eaton Corporation Training (2001). Industrial Hydraulics Manual. USA.
9. Σκαρμέα, Μαρία (2002). Συντήρηση Περιστρεφόμενων Μηχανών. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
10. Kasap, S. O. (2000).Principles of electrical engineering materials and devices.USA: McGraw-Hill Higher Education.
11. Webster, John G. (1999). The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, pp. 26.1-26.5. USA: CRC Press LLC.
12. Wireman, Terry (1998). Developing Performance Indicators of Managing Maintenance. New York: Industrial Press, INC.
13. Κανάραχος, Α. & Αντωνιάδης, Ι. (1998). Δυναμική Μηχανών. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
14. WIKA HANDBOOK (1998). Pressure & Temperature Measurement, US Edition.
15. Rao, B.K.N. (1996). Handbook of Condition Monitoring, pp. 209 -253. UK: Elsevier Advanced Technology.
16. Higgins, Lindley R. (1995). Maintenance Engineering Handbook, Section 3. USA: McGraw-Hill, Inc.
17. Norton, H. N. (1989). Handbook of Transducers,pp.294-330. USA: Prentice-Hall CRC Press LLC.
18. Σιμόπουλος, Σ.Ε (1989). Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών,σελ.279-381/Κεφ.10. Αθήνα: Σημειώσεις ΕΜΠ.
19. Neale, M. (1985). The benefit of condition monitoring: Papers presented at a seminar organised by the Fluid Machinery Committee of the Power Industries Division of the IMechE, London, June 1985, pp. 25 – 30. London: Mechanical Engineering Publications Ltd.
20. Hehn, Anton H. (1984). Fluid power troubleshooting. USA: Marcel Dekker Inc.
21. Anders, James E. (1983). Industrial hydraulics troubleshooting. USA: McGraw-Hill, Inc.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ – INTERNET

1. <http://www.controleng.com>
2. <http://www.coleparmer.com>
3. <http://www.maintenanceassistant.com/>
4. <http://www.weibull.com>
5. <http://www.asnt.org/>
6. <http://www.machinerylubrication.com>
7. <http://www.machinebuilding.net>
8. <http://www.me-tc.com/>
9. <http://www.cmmspro.com>
10. <http://www.lifcohydraulics.com>
11. <http://www.industrialmaintenancesolutions.com>
12. <http://reliabilityweb.com/>
13. <http://www.maintenancegeeks.com/>
14. <http://machineryvibrationspecialists.com.au/>
15. <http://www2.emersonprocess.com/en-US/Pages/Home.aspx>
16. <http://www.maintenanceresources.com>
17. <http://www.reliableplant.com>
18. <http://www.gardco.com>
19. <http://www.vibration.org>
20. <http://www.kobold.com/>
21. <http://www.substech.com>
22. <http://advancedengineering.co.uk/uk-mn-prod-cat.asp?cid=2>
23. <http://www.boschrexroth.com>
24. <http://www.venefilter.com>
25. <http://www.deere.com>
26. <http://www.parker.com/portal/site/PARKER/>
27. <http://www.gates.com/>
28. <http://www.moog.com/>
29. <http://www.engineeringtoolbox.com>
30. <http://www.home.agilent.com>
31. <http://mtssensors.com/>
32. <http://www.sunhydraulics.com>
33. <http://www.energymfg.com>