



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΧΑΝΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΙΧΑΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΧΑΝΤΖΟΠΟΥΛΟΥ ΛΕΩΝΙΔΑ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής: Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις _____

Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος, Αν. Καθηγητής _____

Γεώργιος Παναγιώτου, Καθηγητής _____

Μαρία Μενεγάκη, Αν. Καθηγήτρια _____

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	8
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
1.3 Η ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙΣΑ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	11
2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	11
2.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....	11
2.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	12
2.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	14
2.2 ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ – ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	15
2.2.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	17
2.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	20
2.3.1 Η ΔΕΞΑΜΕΝΗ.....	20
2.3.2 ΤΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	23
2.3.3 ΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	27
2.3.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ.....	36
2.4 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	38
2.4.1 ΟΔΟΝΤΩΤΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	39
2.4.2 ΟΔΟΝΤΩΤΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΧΟ.....	41
2.4.3 ΠΤΕΡΥΓΙΟΦΟΡΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....	43
2.4.4 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ.....	46
2.4.4.1 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΠΛΑΚΑ ΥΠΟ ΚΛΙΣΗ.....	46

2.4.4.2 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΕΘΛΑΣΜΕΝΟ ΑΞΟΝΑ.....	54
2.4.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ, ΠΙΕΣΗΣ, ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ.....	56
2.5 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	58
2.5.1 ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	58
2.5.2 ΠΤΕΡΥΓΙΟΦΟΡΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	60
2.5.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ.....	61
2.5.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΚΤΙΝΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ.....	64
2.6 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ.....	68
2.6.1 ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	68
2.7 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ.....	71
2.7.1 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ.....	71
2.7.1.1 Η ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ.....	71
2.7.1.2 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΔΙΑΔΟΧΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ.....	74
2.7.1.3 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΙΕΣΗΣ.....	74
2.7.1.4 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	75
2.7.1.5 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΕΣΩΣ.....	77
2.7.1.6 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΕΔΗΣΕΩΣ.....	79
2.7.2 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ.....	81
2.7.2.1 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ.....	81
2.7.2.2 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΩΣ.....	83
2.7.3 ΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ.....	90
2.7.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	90
2.7.3.2 ΠΗΝΙΑ ΚΑΙ ΕΜΒΟΛΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ.....	91
2.7.3.3 ΤΥΠΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ.....	91
2.8 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ.....	93
2.8.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΙΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ.....	93

2.8.2 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΟΥΝ ΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	100
3.1 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	100
3.1.1 ΟΡΘΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	100
3.1.2 ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	100
3.1.3 ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ.....	101
3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	103
3.3 ΕΙΔΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	113
3.3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΩΣ ΤΗΝ ΒΛΑΒΗ.....	113
3.3.2 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	115
3.3.3 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗ – ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	116
3.4 ΟΡΙΣΜΟΙ.....	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε, σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών της Σχολής, στο πλαίσιο του μαθήματος «Συστήματα φόρτωσης – μεταφοράς σε μεταλλεία και τεχνικά έργα». Η έρευνα και η συγγραφή πραγματοποιήθηκαν σε ξεχωριστές μεταξύ τους περιόδους. Το ερευνητικό κομμάτι της εργασίας υλοποιήθηκε από τον Ιανουάριο του 2019 έως και τον Δεκέμβριο του 2019, ενώ η ταξινόμηση, η επεξεργασία των δεδομένων της έρευνας και η συγγραφή πραγματοποιήθηκαν από τον Φεβρουάριο έως και τον Οκτώβριο του 2020.

Θέλω να εκφράσω την εκτίμηση και τον σεβασμό μου για τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή Θεόδωρο Μιχαλακόπουλο. Η τακτική του καθοδήγηση και υποστήριξη, καθώς και τα εύστοχα σχόλια του, ήταν αυτά που καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της παρούσας εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλους τους υπαλλήλους και τα στελέχη της εταιρείας Hydro Titan για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν. Η εμπειρία και οι γνώσεις των συγκεκριμένων ανθρώπων ήταν κομβικής σημασίας, τόσο για την κατανόηση συγκεκριμένων τμημάτων της εργασίας, όσο και για την υπέρβαση εμποδίων και αδιεξόδων που αντιμετώπισα καθ' όλη τη διάρκεια σύνταξης και ετοιμασίας της συγκεκριμένης εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Γιώργο και Χρύσα, οι οποίοι με υποστήριξαν, υλικά και πνευματικά, όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Η αγάπη και εκτίμηση μου γι' αυτούς τους δύο ανθρώπους θα είναι πάντα απεριόριστη.

Η εργασία αφιερώνεται σε όλα τα μέλη της Hydro Titan, οι οποίοι μοχθούν καθημερινά να βελτιώσουν την ποιότητα της εταιρείας, να εξελίξουν στον ύψιστο βαθμό την γνώση για τα υδραυλικά συστήματα υψηλής πίεσης και να προωθήσουν την γνώση των υδραυλικών συστημάτων στις νέες γενιές.

Αθήνα, 20 Οκτωβρίου 2020

Λ-Ε Χατζόπουλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία υπό τον τίτλο «Υδραυλικά Συστήματα Υψηλής Πίεσης σε Μηχανικό Εξοπλισμό Μεταλλειών και Τεχνικών Έργων» εξετάζει και αναλύει όλες τις περιπτώσεις και τα χαρακτηριστικά των υδραυλικών συστημάτων, σε μηχανήματα εξόρυξης και μεταφοράς μεταλλευμάτων σε μεταλλεία και σε μηχανήματα εταιρειών που εκτελούν τεχνικά έργα. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι, επίσης, να αναλύσει και τις διάφορες περιπτώσεις συντήρησης του υδραυλικού συστήματος ενός μηχανήματος και να παρουσιάσει τα διάφορα προβλήματα που εμφανίζονται.

Η εργασία αποτελείται από δύο κύριες ενότητες. Η πρώτη ενότητα αναλύει ευρύτερα το υδραυλικό σύστημα σε ένα χωματουργικό μηχάνημα, αναφέρει όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών συστημάτων και περιγράφει όλα τα εξαρτήματα που είναι ζωτικής σημασίας για την μακροχρόνια ζωή του μηχανήματος. Γίνεται, δηλαδή, αναλυτική επεξήγηση του κάθε τμήματος ενός υδραυλικού συστήματος σε ένα μηχάνημα μεταλλείου ή τεχνικού έργου.

Η δεύτερη ενότητα της εργασίας αφορά στην συντήρηση και στις επισκευές στο υδραυλικό σύστημα. Ο ορθός έλεγχος και η διάγνωση βλαβών είναι οι βασικοί πυλώνες μίας ορθής επισκευής σε ένα υδραυλικό σύστημα. Αναλύονται επίσης και οι περιπτώσεις συντήρησης, δηλαδή η προγνωστική, η προληπτική και η συντήρηση μετά την βλάβη. Τέλος, γίνεται και μία μελέτη περίπτωσης με δεδομένα από επισκευές υδραυλικών τμημάτων μηχανημάτων από την εταιρεία Hydro Titan.

ABSTRACT

This diploma thesis, under the title "High Pressure Hydraulic Systems in Mechanical Equipment of Mines and Construction Projects" examines and analyzes all cases and characteristics of hydraulic systems, in mining, ore transfer and construction machinery. Also, the purpose of this diploma thesis is to analyze the various maintenance cases that take place in the hydraulic system of construction machinery and to report the various problems that prevail in it.

This diploma thesis has two main sections. The first section presents in detail the hydraulic system in an earthmoving machine, lists all the technical characteristics of the hydraulic systems, and describes all the components that are vital for the long life of the machine. That is, there is an exhaustive explanation of each part of a hydraulic system in a mining or construction machine.

The second section presents the maintenance and repair tasks on hydraulic systems. Proper inspection and fault diagnosis are the main pillars of a proper repair in a hydraulic system. Maintenance cases are also analyzed, as prognostic, preventive and "Run to Failure" maintenance. Finally, a case study is presented, based on data from repairs of hydraulic parts by the company Hydro Titan.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Μία σύγχρονη τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται τα τελευταία περίπου 60 χρόνια είναι το υδραυλικό σύστημα. Η εφεύρεση της περυνιοφόρου αντλίας και της βαλβίδας κατευθύνσεως με ολισθαίνον έμβολο από τον Harry Vickers, ανήκουν στην περίοδο του μεσοπολέμου. Άλλες τεχνολογίες, όπως οι ένθετες βαλβίδες και ο έλεγχος με μικρουπολογιστές, αναπτύχθηκαν μετά το 1970 και αναβαθμίζονται μέχρι και σήμερα.

Το ρευστό υπό πίεση είναι ένα από τα καλύτερα μέσα για την μετατροπή της κίνησης και τον έλεγχο δεδομένης ισχύος. Μπορεί να αυξήσει και να μειώσει ταχύτητα με τέτοια ακρίβεια, εύκολο και γρήγορο τρόπο που κανένα άλλο μέσο δεν είναι ικανό.

Έπρεπε να αναπτυχθούν πολύπλοκες και ισχυρές μηχανές, όπως ο ηλεκτρικός κινητήρας και οι μηχανές εσωτερικής καύσης, για να παρουσιασθεί η ανάγκη μηχανισμών που θα κατευθύνουν την διαθέσιμη ισχύ σε χρήσιμο έργο. Το υδραυλικό σύστημα είναι ένας τέτοιος μηχανισμός.

Η υδραυλική δύναμη στη βιομηχανία και στο μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων, όπως εξετάζεται εδώ, γνώρισε μεγάλη διάδοση την τελευταία τετρακονταετία. Αποτελεί μέσο μεγάλης ευελιξίας και μικρού όγκου σε σχέση με τα ηλεκτροκίνητα και τα μηχανοκίνητα μέσα. Το υδραυλικό σύστημα επιτυγχάνει μεταφορά μεγάλων δυνάμεων και πραγματοποίηση γραμμικών ή περιστροφικών κινήσεων με οποιονδήποτε συνδυασμό. Οι αυτοματισμοί που είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν στη συνέχεια των κινήσεων και στην εφαρμογή των δυνάμεων είναι πρακτικά απεριόριστοι. Το υδραυλικό σύστημα είναι, επομένως, μία σχετικά νέα τεχνολογία κινήσεως αυτοματισμού και ελέγχου υψηλών δυνάμεων.

Μία πρωτογενής πηγή ενέργειας, που μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικός κινητήρας, είτε μια μηχανή εσωτερικής καύσεως, κινεί μια υδραυλική αντλία και παράγει ρευστό υπό πίεση, δηλαδή υδραυλική δύναμη. Υδραυλικές βαλβίδες χρησιμοποιούνται για να διαμοιράσουν την υδραυλική ενέργεια σε διατάξεις και για τη μετατροπή υδραυλικής δύναμης σε μηχανικό έργο με τη μορφή δύναμης, ταχύτητας ροής και περιστροφικής κίνησης. Ποικίλα σήματα, μηχανικά, ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά ή, τέλος, πνευματικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χειρισμό των βαλβίδων, συνδυασμένα σε κατάλληλα συστήματα.

Η ακρίβεια του συστήματος είναι εξαιρετική. Ο συνδυασμός της υδραυλικής δύναμης και των ηλεκτρονικών σημάτων χαμηλής ισχύος για τον έλεγχο υψηλών δυνάμεων και ισχύων, είναι εξαιρετικά επιτυχής και γίνεται επιτυχέστερος με την εκρηκτική ανάπτυξη της τεχνολογίας των μικροϋπολογιστών.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι πολλαπλός. Αρχικά, αποσκοπεί να δώσει μία γενική εικόνα για τα υδραυλικά συστήματα στο μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων. Αναλύει με μεγάλη ακρίβεια όλα τα εξαρτήματα που συναποτελούν το υδραυλικό σύστημα ενός χωματουργικού μηχανήματος, καθώς και τον σκοπό και τον τρόπο λειτουργίας τους. Εν συνεχεία βοηθάει στην κατανόηση της λειτουργίας ενός ολοκληρωμένου υδραυλικού κυκλώματος και αναλύει τους διάφορους συμβολισμούς που υπάρχουν σε ένα υδραυλικό σχέδιο. Τέλος, σημαντικό στοιχείο της εργασίας είναι η ανάδειξη της κρισιμότητας της συντήρησης των υδραυλικών συστημάτων και συγκεκριμένα της προληπτικής συντήρησης. Η έγκαιρη πρόγνωση επερχόμενης υδραυλικής βλάβης σε ένα μηχάνημα έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία επιδιόρθωση του και την αποφυγή δευτερογενών βλαβών, λόγω μη επέκτασης των αποτελεσμάτων της στα υπόλοιπα υδραυλικά εξαρτήματα. Αναλύονται, λοιπόν, όλοι οι τρόποι διάγνωσης βλαβών και αντιμετώπισης τους.

1.3 Η ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙΣΑ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η παρουσίαση του ειδικού μέρους της εργασίας. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται προέρχονται από το αρχείο επισκευής υδραυλικών εξαρτημάτων της εταιρείας Hydro Titan για την περίοδο από τον Ιανουάριο έως και τον Δεκέμβριο του 2019. Το συγκεκριμένο τμήμα της εργασίας αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης καθώς δεν ήταν γνωστή η ολοκληρωμένη ετήσια λίστα επισκευών της εταιρείας. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν εισήχθησαν σε μια βάση δεδομένων, ώστε να είναι εύκολη η επεξεργασία τους. Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3, τα οποία δίνουν μια σχετική πλήρη εικόνα για τους μήνες επισκευής ενός υδραυλικού κυκλώματος, τις διαφορετικές κατηγορίες μηχανημάτων, των οποίων ο υδραυλικός εξοπλισμός επισκευάζεται, τις μάρκες του υδραυλικού εξοπλισμού, το είδος των μηχανημάτων, το είδος συντήρησης και, τέλος, τις διαφορετικές κατηγορίες εντολέα που ανέθετε την επισκευή.

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία είναι χωρισμένη σε τέσσερα κεφάλαια.

Το παρόν κεφάλαιο 1 της εργασίας αποτελεί εισαγωγή στο θέμα της. Περιγράφει ευρύτερα το υδραυλικό σύστημα, παρουσιάζει τους στόχους της εργασίας, αναλύει συνοπτικά την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιό της και τέλος παρουσιάζει τη δομή της.

Το κεφάλαιο 2 παρουσιάζει τις φυσικές αρχές, τους συμβολισμούς, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός υδραυλικού συστήματος. Στη συνέχεια γίνεται πλήρης ανάλυση λειτουργίας και σημασίας των εξαρτημάτων, των αντλιών, των κινητήρων και των κυλίνδρων στο υδραυλικό σύστημα του εξοπλισμού μεταλλείων και τεχνικών έργων. Τέλος, γίνεται ταξινόμηση: α) των διαφορετικών βαλβίδων που εφαρμόζονται στο υδραυλικό κύκλωμα και β) των διαφορετικών υδροστατικών μεταφορέων κίνησης σε ένα χωματουργικό μηχάνημα.

Το κεφάλαιο 3 παρουσιάζει την τη μελέτη περίπτωσης, η οποία αναλύει τους διαφορετικούς τύπους επισκευής και συντήρησης, τους μήνες επισκευής ενός υδραυλικού κυκλώματος, τις διαφορετικές κατηγορίες μηχανημάτων των οποίων ο υδραυλικός εξοπλισμός επισκευάζεται, τις μάρκες του υδραυλικού εξοπλισμού, το είδος των μηχανημάτων, και τέλος τις διαφορετικές κατηγορίες εντολέα που χρειάζονται την επισκευή. Επίσης, παρουσιάζονται ορισμοί που σχετίζονται με το ευρύτερο υδραυλικό σύστημα ενός μηχανήματος και τις βλάβες που μπορούν να προκληθούν. Τέλος, αναλύονται οι βλάβες και μέθοδοι επισκευής και συντήρησης.

Τα Συμπεράσματα είναι το τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας. Σε αυτό γίνεται σύντομη ανακεφαλαίωση των σημαντικότερων πληροφοριών της εργασίας που αφορούν το υδραυλικό σύστημα, την συντήρηση και τα πλεονεκτήματα της προληπτικής και της προβλεπτικής συντήρησης.

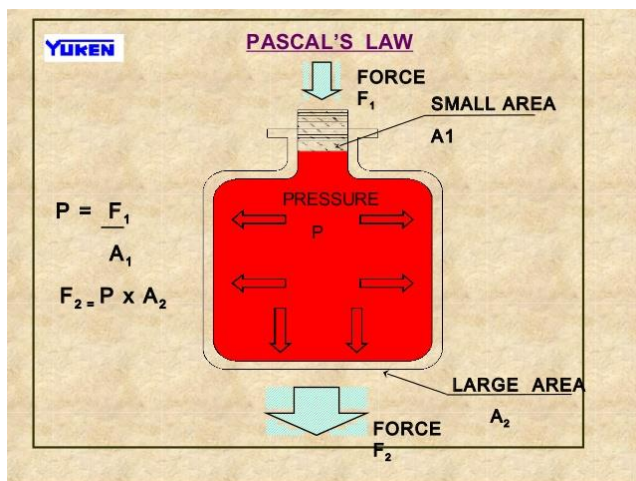
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Οι βασικές αρχές της φυσικής, οι οποίες εφαρμόζονται στο υδραυλικό σύστημα είναι οι εξής:

- 1) Το υγρό είναι πρακτικώς ασυμπίεστο (ως μέσο μεταφοράς της ενέργειας και των σημάτων χρησιμοποιείται ειδικά εμπλουτισμένο ορυκτέλαιο ή, τελευταία, μίγμα νερού και συνθετικού ελαίου)
- 2) Η αρχή Pascal, δηλαδή: « Η πίεση σε οποιοδήποτε υγρό που βρίσκεται περιορισμένο και σε ηρεμία είναι η ίδια προς κάθε κατεύθυνση και σε οποιοδήποτε σημείο », όπως φαίνεται στα σχήματα 1 και 2.
- 3) Δύναμη είναι κάθε αιτία που θέτει ένα σώμα σε κίνηση ή μεταβάλλει μία κατάσταση. Στο υγρό, όπου υπάρχει πίεση, η οποία εφαρμόζεται στην επιφάνεια που το περικλείει, η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την επιφάνεια εφαρμογής.
- 4) Όπου υπάρχει αντίσταση στην κίνηση του υγρού, τότε εκεί αναπτύσσεται πίεση.
- 5) Όπου υπάρχει ροή εμφανίζεται πάντοτε στα άκρα του αγωγού μια διαφορά πίεσης.
- 6) Ο νόμος Bernoulli: Σε αγωγό με διαφορετικές διαμέτρους, η ταχύτητα ενός υγρού είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τις διαμέτρους.
- 7) Η ροή ενός ρευστού προκαλεί τριβές και θέρμανση της μάζας του ρευστού. Η συμπεριφορά των ρευστών σε στατική και δυναμική κατάσταση καθορίζεται από τους νόμους της υδροστατικής και της υδροδυναμικής, αντίστοιχα.



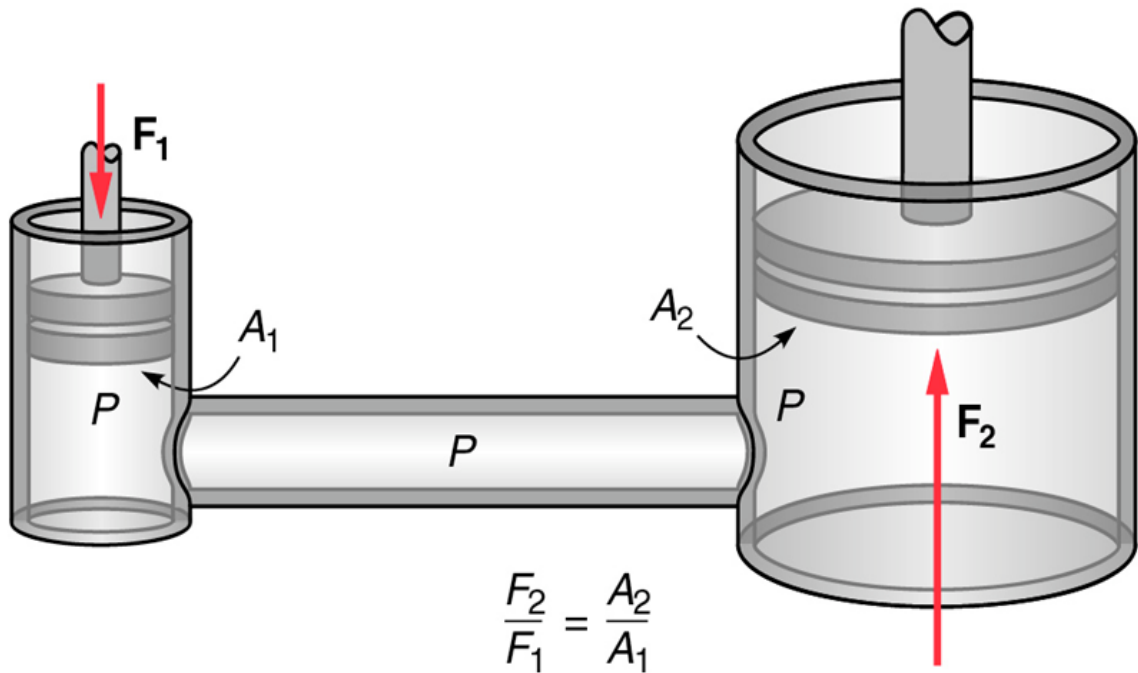
Σχήμα 1. Ο νόμος του Pascal. Δύναμη F_1 εφαρμοσμένη σε επιφάνεια A_1 , δημιουργεί πίεση P σε όλη την επιφάνεια που περικλείει το ρευστό. (YUKEN-USA 2020)

2.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα πλεονεκτήματα του υδραυλικού συστήματος είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

- 1) **Μεταβλητή ταχύτητα:** Οι κοινοί ηλεκτρικοί κινητήρες και οι μηχανές εσωτερικής καύσης λειτουργούν με σταθερή ταχύτητα. Για τη μεταβολή της ταχύτητας απαιτούνται ακριβείς και ευαίσθητες βοηθητικές διατάξεις. Ένας υδραυλικός κύλινδρος ή ένας υδραυλικός κινητήρας όμως, έχουν την δυνατότητα να μεταβάλουν συνεχώς την ταχύτητα μεταβολής τους με αλλαγή στην παροχή της αντλίας ή με ένα ρυθμιστικό ροής.
- 2) **Αντιστροφή της περιστροφής ή της κινήσεως:** Σε συνήθη μηχανικά ή ηλεκτρικά συστήματα κινήσεως η αντιστροφή της περιστροφής είναι δυνατή με βαθμιαία επιβράδυνση, μηδενισμό της κινήσεως και αντίστροφη κίνηση. Οι υδραυλικοί κύλινδροι και οι υδραυλικοί κινητήρες όμως, έχουν την ικανότητα να αντιστρέψουν την περιστροφή σχεδόν ακαριαία, χωρίς ουσιαστικό πρόβλημα. Μια τετραοδική βαλβίδα κατευθύνσεως αντιστρέφει ακαριαία την ροή, ενώ η βαλβίδα ανακούφισης και η κατάλληλη διάταξη βαλβίδων για απόσβεση των κρούσεων και της αδράνειας του ρευστού, προστατεύουν το σύστημα από φαινόμενα σπηλαίωσης και υπερβολικής πίεσης. (Κωστόπουλος 2009)
- 3) **Προστασία από υπερβολικό φορτίο και έλεγχος των φορτίων:** Η ανακουφιστική βαλβίδα του υδραυλικού συστήματος προστατεύει το σύστημα από ανεξέλεγκτη αύξηση του φορτίου. Η ανακουφιστική βαλβίδα και ο έλεγχος των δυνάμεων που επιτυγχάνεται με τις διαφορετικές βαλβίδες πίεσης, εξασφαλίζουν απόλυτη προστασία και ακριβή έλεγχο στα υδραυλικά συστήματα των μηχανημάτων.
- 4) **Μικρός και περιορισμένος όγκος:** Τα υδραυλικά στοιχεία και ολόκληρο το υδραυλικό σύστημα προσφέρουν υψηλή απόδοση, συνδυάζοντας μικρό όγκο και μικρό βάρος. Μια καινούργια περίπτωση είναι οι ένθετες βαλβίδες, με τις οποίες επιτυγχάνεται εναλλακτικός έλεγχος με ελάχιστο όγκο και βάρος.
- 5) **Δυνατότητα ακαριαίας στάσεως:** Η αδράνεια των ηλεκτρικών ή μηχανικών συστημάτων είναι τέτοια, ώστε η ακαριαία στάση συστήματος μπορεί να είναι καταστρεπτική. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά απαιτούν νέα εκκίνηση μετά την στάση. Ο υδραυλικός κύλινδρος και ο υδραυλικός κινητήρας ωστόσο, έχουν την δυνατότητα ακαριαίας στάσεως και εκκίνησης. Η αντλία του συστήματος είναι δυνατόν να συνεχίσει να λειτουργεί (αποφόρτιση της αντλίας), χωρίς να υπάρχει ανάγκη ακινητοποίησης της και εκ νέου εκκίνησης.
- 6) **Μεγάλη ποικιλία ελέγχων:** Υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες ελέγχου σε ένα υδραυλικό σύστημα. Ο έλεγχος μπορεί να είναι αυτόματος, με χειρισμό, με τηλεχειρισμό, μηχανικός, υδραυλικός, πνευματικός, ηλεκτρικός, ηλεκτρονικός, σέρβο, ή συνδυασμός αυτών. Μία σχετικά πρόσφατη εξέλιξη είναι ο έλεγχος με μικροϋπολογιστές και οι ένθετες βαλβίδες.
- 7) **Τα οικονομικά οφέλη είναι πολύ μεγάλα για ορισμένους συνδυασμούς αποδόσεως – μακροζωίας, ποιότητας και αξιοπιστίας.** Η κατανομημένη κατασκευή των υδραυλικών στοιχείων δίνει τη δυνατότητα οικονομικής σύγκρισης προς τα μηχανοηλεκτρικά στοιχεία, ενώ ορισμένες από τις τεχνολογίες ενός υδραυλικού συστήματος, όπως η μικροϋδραυλική

και οι ένθετες βαλβίδες, εφαρμόζονται σε σύγχρονα υδραυλικά συστήματα της τελευταίας εικοσαετίας.



Σχήμα 2. Υδραυλική διάταξη πολλαπλασιασμού και μεταφοράς της δύναμης με εφαρμογή της αρχής Pascal. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

2.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Υπάρχουν, φυσικά, και μειονεκτήματα σε ένα υδραυλικό σύστημα, όπως τα ακόλουθα:

- 1) Μικρές μηχανουργικές ανοχές: Οι κατασκευές μεγάλης ακρίβειας, που απαιτούν τα υδραυλικά στοιχεία, δημιουργούν συχνά μεγάλο κόστος. Είναι, επίσης, σχεδόν ακατόρθωτη η διατήρηση της ελευθερίας του ρευστού από ρύπους, με αποτέλεσμα τη διαταραχή της λειτουργίας του συστήματος, καθώς οι ρύποι δεν μπορούν να συμβιβαστούν με τις εξαιρετικά μικρές ανοχές των κινούμενων τμημάτων. (Σχήμα 3)
- 2) Έκλυση θερμότητας: Η θερμότητα που εκλύεται λόγω εσωτερικών διαρροών, αποτελεί ένα δεδομένο όριο για κάθε μηχανή. Παρά το γεγονός ότι το υδραυλικό σύστημα υπερτερεί συχνά ως προς άλλα συστήματα, αποτελεί μεγάλο πρόβλημα η έκλυση θερμότητας. Το άνω όριο που επιβάλλει η ανώτατη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος, οδηγεί μόνο σε δαπανηρή λύση, δηλαδή την ψύξη του ρευστού.
- 3) Σχεδιαστικές δυσκολίες: Δεν υπάρχει συγκεκριμένος όγκος για την σχεδίαση υδραυλικών κυκλωμάτων, όπως π.χ για τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά κυκλώματα. Δεν υπάρχει δηλαδή κάτι ανάλογο του νόμου του Ohm και του Bernouilli στη συμπεριφορά των ρευστών. Αυτό αποτελεί περιπλοκότητα του σχεδιασμού και δημιουργεί ενδεχόμενα, που είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν ή να προβλεφθούν.



Σχήμα 3. Μηδενικές μηχανουργικές ανοχές σε έναν ταχυσύνδεσμο (Hydraulics and Pneumatics 2020)

2.2 ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ – ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

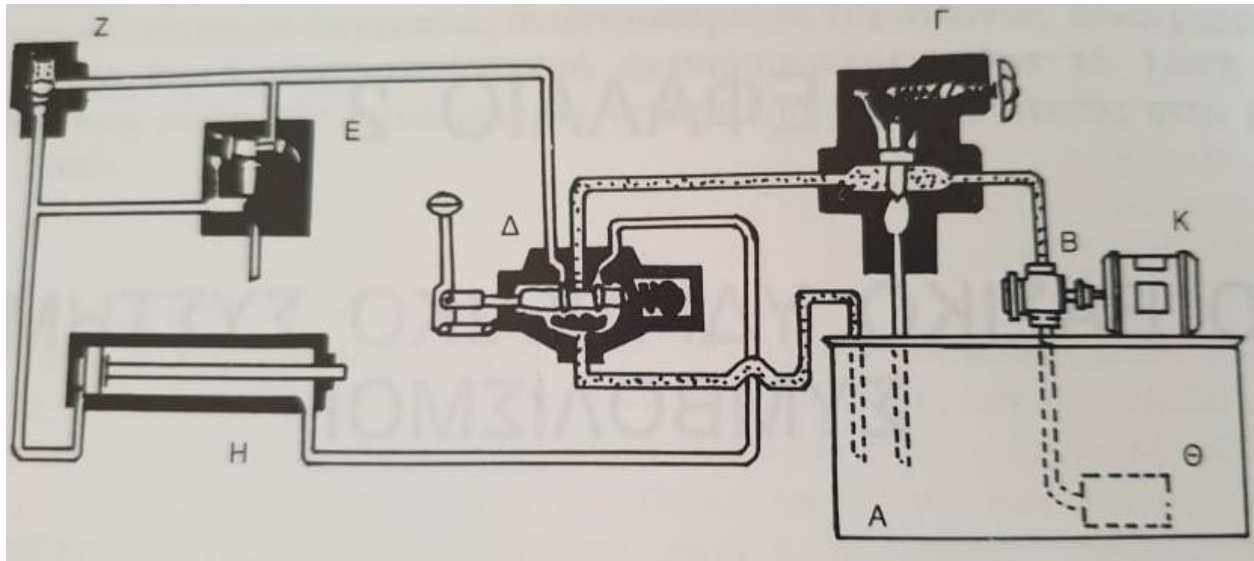
Με τον όρο υδραυλικό σύστημα εννοείται ένα σύνολο στοιχείων που συνεργαζόμενο δημιουργεί ένα αποτέλεσμα. Τα στοιχεία αυτά είναι υδραυλικά μηχανήματα, δηλαδή μηχανήματα που χειρίζονται ένα ρευστό υπό πίεση. Το ρευστό αυτό είναι ένα μέσο μεταφοράς και ελέγχου ενέργειας. Τα υδραυλικά στοιχεία δεν έχουν αυθύπαρκτη λειτουργικότητα, αλλά συνεργάζονται για τη δημιουργία ενός υδραυλικού συστήματος.

Τα βασικά στοιχεία του υδραυλικού συστήματος είναι αυτά που φαίνονται στο σχήμα 4.

Ο υδραυλικός κινητήρας Κ δεν χαρακτηρίζεται ως στοιχείο του υδραυλικού κυκλώματος. Η παροχή ενέργειας μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους, π.χ. με μηχανή εσωτερικής καύσης. Όλα τα υδραυλικά στοιχεία συμβολίζονται κατάλληλα με γενικώς αποδεκτούς συμβολισμούς, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.

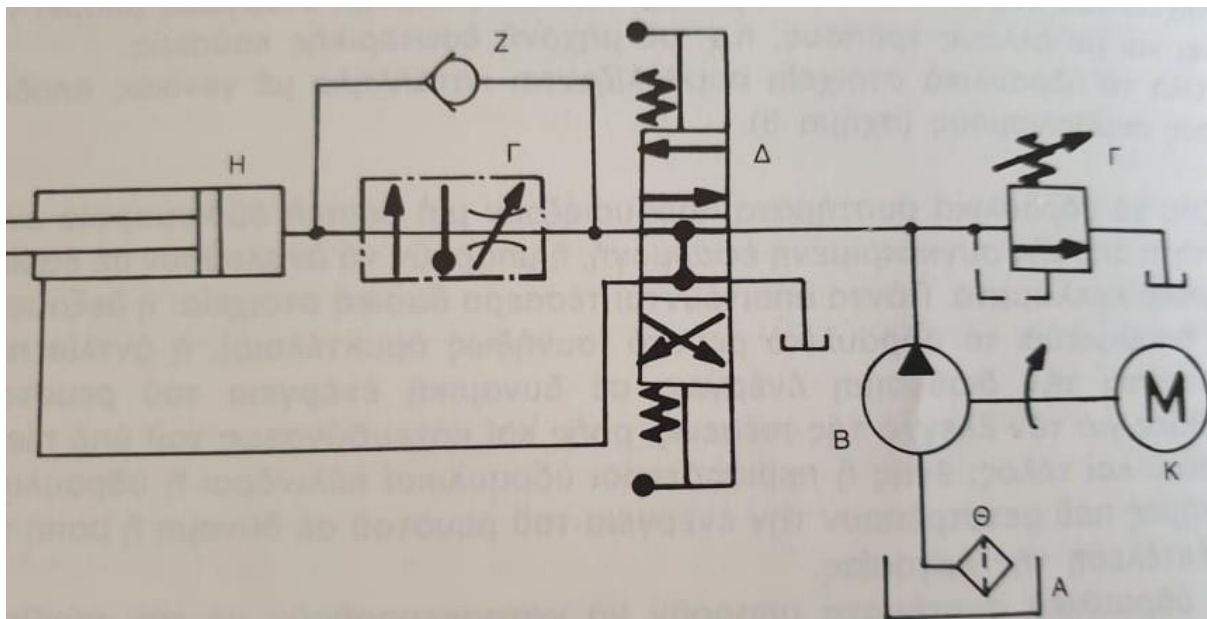
Όλα τα υδραυλικά συστήματα παρουσιάζουν μια βασική ομοιομορφία ανεξάρτητη από την συγκεκριμένη εφαρμογή, ή μπορούν να αναλυθούν σε βασικά ή τυπικά κυκλώματα. Είναι απαραίτητα τέσσερα βασικά στοιχεία: η δεξαμενή όπου αποθηκεύεται το υδραυλικό ρευστό, το οποίο συνήθως είναι ορυκτέλαιο, η αντλία που κάνει μετατροπή της διαθέσιμης ενέργειας σε δυναμική ενέργεια του ρευστού, βαλβίδες για να ελέγχεται η πίεση, η ροή και η κατεύθυνση του υπό πίεση ρευστού και, τέλος, ένας ή περισσότεροι υδραυλικοί κύλινδροι ή υδραυλικοί κινητήρες που κάνουν μετατροπή του ρευστού σε δύναμη ή ροπή για την εκτέλεση της ενέργειας στο μηχανήμα.

Τα υδραυλικά συστήματα μπορούν να κατασκευασθούν με τη σύνθεση υδραυλικών στοιχείων, παρέχοντας πρακτικά απεριόριστες δυνατότητες για την εκμετάλλευση και τον έλεγχο δυνάμεων σε μηχανές. Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται δύο απεικονίσεις (με διατομές και σύμβολα, αντίστοιχα) του αυτού υδραυλικού συστήματος.



Σχήμα 4. Απλό υδραυλικό κύκλωμα σχεδιασμένο με διατομές στοιχείων. (Κωστόπουλος 2020)

A) Δεξαμενή, B) Αντλία, Γ) Ανακουφιστική βαλβίδα, Δ) Βαλβίδα ροής, E) Βαλβίδα ροής, Z) Αντεπίστροφη βαλβίδα, H) Υδραυλικός κύλινδρος, Θ) Φίλτρο προστασίας



Σχήμα 5. Το υδραυλικό κύκλωμα του σχήματος 4 σχεδιασμένο με συμβολισμούς. Είναι φανερό ότι οι συμβολισμοί δίνουν μία πλήρη εικόνα της λειτουργίας του συστήματος, πράγμα που δεν συμβαίνει στην απεικόνιση του σχήματος 4. (Κωστόπουλος 2020)

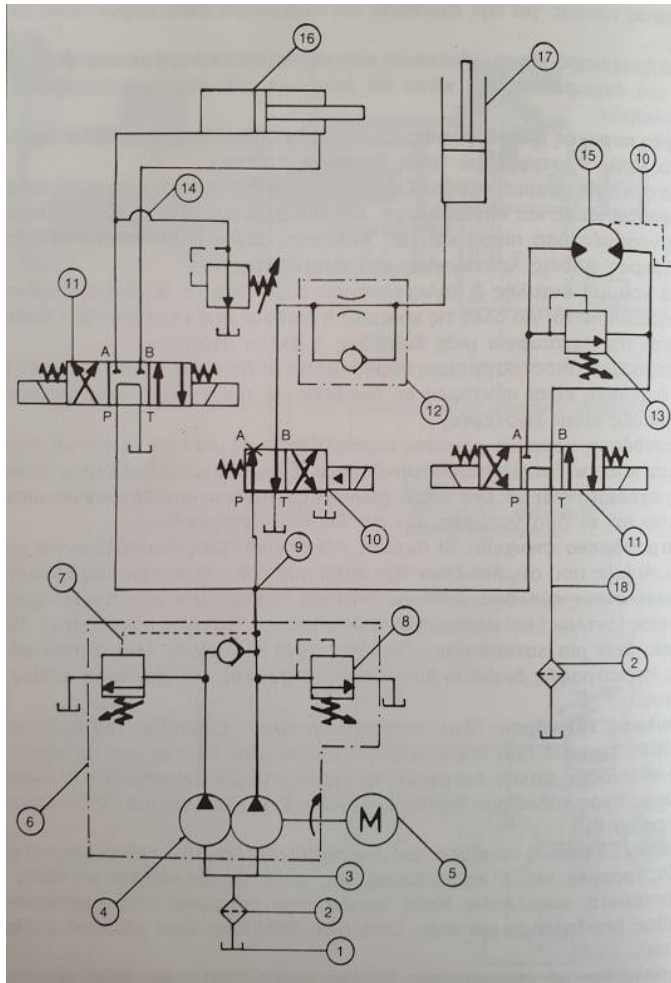
2.2.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- **Γραμμές παροχής και επιστροφής:** Οι υδραυλικοί σωλήνες και οι δίοδοι σχεδιάζονται ως απλές γραμμές με τρεις βασικούς τρόπους. Σύμφωνα με τον Κωστόπουλο (2020):
 - 1) Μια συνεχής γραμμή συμβολίζει την κύρια γραμμή ροής, δηλαδή γραμμές πίεσης, αναρρόφησης και κατάθλιψης. Δεν υπάρχει συμβολικός διαχωρισμός για τις γραμμές υπό πίεση και μη. Άλλωστε, εναλλάσσονται κατά τις διάφορες φάσεις λειτουργίας ενός συστήματος.
 - 2) Μια γραμμή εντολής ή τηλεχειρισμού συμβολίζεται ως διακεκομμένη και χρησιμοποιείται για όλες τις γραμμές ή δόδους που ελέγχουν με υδραυλική πίεση την λειτουργία μίας βαλβίδας ή άλλου στοιχείου.
 - 3) Μία γραμμή αποστράγγισης συμβολίζεται με διακεκομμένες γραμμές όπου οι διακοπές είναι σύντομες, σε αντίθεση με την γραμμή εντολής όπου οι διακοπές είναι λιγότερες.

Οι συνδέσεις γραμμών ρευστού συμβολίζονται με μία έντονη στιγμή, ώστε να φαίνεται καθαρά ότι οι γραμμές συνδέονται, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Οι γραμμές που περνούν πάνω από άλλες σχεδιάζονται με ένα μικρό ημικύκλιο στο σημείο διέλευσης, έτσι ώστε να φανεί ότι οι δύο γραμμές δεν έχουν κάποια σύνδεση.

- **Περιστρεφόμενα στοιχεία:** Οι αντλίες και οι κινητήρες συμβολίζονται με ένα κύκλο. Αιχμές που συμβολίζουν την φορά παροχής της ενέργειας τοποθετούνται μέσα στους κύκλους, ώστε να γίνει ο διαχωρισμός στα στοιχεία παροχής ενέργειας, δηλαδή τις αντλίες και τα στοιχεία απορροφήσης ενέργειας, δηλαδή τους κινητήρες. Εάν το στοιχείο έχει μία κατεύθυνση, διαθέτει μόνο μία αιχμή. Μία αντλία με δύο φορές περιστροφής διαθέτει δύο αιχμές και μία διπλή αντλία, δύο κύκλους, όπως στο σχήμα 5.
- **Υδραυλικός κύλινδρος:** Ένα παραλληλόγραμμο συμβολίζει τον κύλινδρο, με πρόσθετα στοιχεία που δηλώνουν το έμβολο, το βάκτρο και τις συνδέσεις. Ένας κύλινδρος απλής ενέργειας συμβολίζεται με ανοικτή την πλευρά του βάκτρου, ενώ ένας κύλινδρος διπλής ενέργειας έχει κλειστές και τις δύο πλευρές του, όπως στο σχήμα 5. (Κωστόπουλος 2020)
- **Βαλβίδες:** Το βασικό σύμβολο των περισσοτέρων βαλβίδων είναι ένα τετράγωνο. Οι γραμμές και η κατεύθυνση της ροής δηλώνονται με βέλη που τοποθετούνται κατάλληλα. Κάθε γραμμή που τελειώνει στο τετράγωνο της βαλβίδας υποδηλώνει μια οπή. Οπή μιας βαλβίδας είναι είσοδος ή έξοδος ρευστού.

Οι βαλβίδες απεριόριστων θέσεων συμβολίζονται με απλά τετράγωνα. Υποτίθεται ότι μπορούν να πάρουν απεριόριστες θέσεις μεταξύ της κλειστής και της ανοικτής. Γι' αυτό το βέλος ροής δεν τοποθετείται στη συγκεκριμένη θέση ένωσης των δύο οπών της βαλβίδας. (Bud Trinkel 2020)



Σχήμα 6. Τυπικό κύκλωμα υδραυλικού συστήματος, όπου φαίνονται οι τρεις τύποι γραμμών καθώς και τα σύμβολα των κυριότερων στοιχείων. (Κωστόπουλος 2020)

- 1) Δεξαμενή.
- 2) Φίλτρο αναρρόφησης ή επιστροφής.
- 3) Η γραμμή αναρρόφησης είναι κύρια γραμμή.
- 4) Διπλή αντλία
- 5) Ηλεκτρικός κινητήρας.
- 6) Περίβλημα στοιχείων σε ενιαίο σύνολο.
- 7) Γραμμή υδραυλικής εντολής.
- 8) Ανακουφιστική βαλβίδα.
- 9) Σύνδεση γραμμών.
- 10) Αποστράγγιση.
- 11) Βαλβίδες κατεύθυνσης τριών θέσεων και τεσσάρων δρόμων, κίνηση με ηλεκτρικά πηνία.
- 12) Ρυθμιστής ροής με αντεπίστροφη βαλβίδα σε κοινό περίβλημα.
- 13) Βαλβίδα πίεσης.
- 14) Οι δύο γραμμές δεν συνδέονται.
- 15) Υδραυλικός κινητήρας.

- 16) Κύλινδρος διπλής ενέργειας.
- 17) Κύλινδρος απλής ενέργειας.
- 18) Γραμμή επιστροφής.

Οι βαλβίδες που έχουν ορισμένες θέσεις είναι κυρίως βαλβίδες κατευθύνσεως. Στις περιπτώσεις αυτές κάθε συγκεκριμένη θέση της βαλβίδας συμβολίζεται με ένα διαφορετικό τετράγωνο. Κατά αυτόν τον τρόπο, η βαλβίδα κατεύθυνσης τριών θέσεων, που αποτελεί την πιο συνηθισμένη βαλβίδα στα υδραυλικά συστήματα, συμβολίζεται με τρία εφαπτόμενα τετράγωνα. Βοηθητικά σύμβολα επί των κυρίως τετραγώνων συμβολίζουν τον τρόπο ελέγχου (ελατήρια, πηνία, γραμμές υδραυλικής εντολής). (Κωστόπουλος 2020)

- **Δεξαμενή:** Ένα μικρό τετράγωνο ανοικτό στην επάνω πλευρά συμβολίζει την δεξαμενή. Σε ειδικές περιπτώσεις δεξαμενής υπό πίεση το τετράγωνο είναι κλειστό. Πολλές γραμμές είναι δυνατόν να καταλήγουν στη δεξαμενή. Στις περιπτώσεις αυτές, πολλά σύμβολα δεξαμενής υπονοούν την ίδια δεξαμενή. Η δεξαμενή στο υδραυλικό σύστημα είναι πάντα μία.
Οι γραμμές ρευστού που τελειώνουν κάτω από την επιφάνεια του ρευστού της δεξαμενής σχεδιάζονται τελειώνοντας στην κάτω γραμμή του συμβόλου. Αν η γραμμή του ρευστού τελειώνει πάνω από την επιφάνεια του, σχεδιάζεται να τελειώνει πριν από την κάτω γραμμή του συμβόλου της δεξαμενής.
- **Στοιχεία σε ενιαίο σύνολο:** Σε πολλές περιπτώσεις μία βαλβίδα ή μια αντλία περιλαμβάνουν ενσωματωμένες άλλες βοηθητικές βαλβίδες. Υπάρχει και η περίπτωση όπου ολόκληρο το σύστημα με τις βαλβίδες είναι σταθερά συναρμολογημένο και εφαρμοσμένο σε ένα μηχάνημα. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, το σύνολο των βαλβίδων συμβολίζεται ως ευρισκόμενο μέσα σε ένα παραλληλόγραμμο από διακεκομμένη γραμμή με μικρά και μεγάλα διαστήματα. Η γραμμή αυτή φυσικά δεν αποτελεί μια συνηθισμένη γραμμή ροής, αλλά δίνει μία ένδειξη του τι περικλείεται ακριβώς στο ενιαίο σύνολο του κυκλώματος.

2.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Στην παράγραφο αυτή συζητούνται οι λεπτομέρειες που αφορούν στην αποθήκευση του ρευστού και στις βοηθητικές ή έκτακτες εργασίες που επιτελούν διάφορα εξαρτήματα του υδραυλικού συστήματος. Το υδραυλικό ρευστό χρειάζεται βεβαίως ένα χώρο αποθήκευσης, την δεξαμενή. Η καθαρότητα του ρευστού είναι κάτι πολύ σημαντικό και εξασφαλίζεται από τα φίλτρα. Πολλές λειτουργίες, σημαντικές και μη, όπως η μέτρηση χαρακτηριστικών μεγεθών, η συσσώρευση υδραυλικής ενέργειας, η ψύξη του ρευστού κ.α. πραγματοποιούνται με τα στοιχεία που γενικά καλούνται εξαρτήματα.

2.3.1 Η ΔΕΞΑΜΕΝΗ

Η δεξαμενή δεν είναι μόνο ένας χώρος αποθήκευσης του υδραυλικού ρευστού. Είναι και ένας χώρος όπου το ρευστό ψύχεται και όπου ξένα σωματίδια και ρύποι είναι δυνατόν να απομακρυνθούν. Η δεξαμενή, επίσης, αποτελεί ένα χώρο συστολής και διαστολής της μάζας του ρευστού. Μια χαρακτηριστική κατασκευή δεξαμενής φαίνεται στο σχήμα 7. Η δεξαμενή κατασκευάζεται από μαύρα χαλυβδόφυλλα που συγκολλούνται κατάλληλα. Ολόκληρη η δεξαμενή πρέπει να επιχρισθεί με κατάλληλη βαφή που δεν αλλοιώνεται με την επαφή του ρευστού, ώστε να αποφευχθούν οι οξειδώσεις.

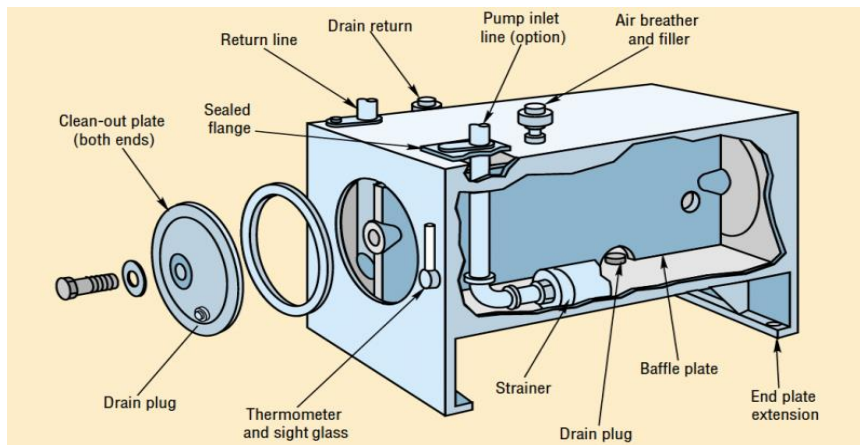
Η δεξαμενή είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να επιτρέπει εργασίες συντήρησης. Το χαμηλότερο επίπεδο της διαθέτει μια κλίση και έχει ένα πάμα απορροής, έτσι ώστε η δεξαμενή να μπορεί να αδειάσει εντελώς με ευκολία. Δύο πλάγια καλύμματα έχουν τέτοια κατασκευή, ώστε να βοηθούν στην εύκολη απομάκρυνση για την αποκάλυψη του εσωτερικού της δεξαμενής για καθαρισμό. Ένας δείκτης στάθμης του ρευστού είναι απαραίτητος. Επιπλέον, ένα θερμόμετρο, που συχνά συνδυάζεται με τον δείκτη στάθμης, προειδοποιεί για επικίνδυνες υπερθερμάνσεις.

Ο αναπνευστήρας είναι ένα κάλυμμα της εισόδου του ρευστού στην δεξαμενή που επιτρέπει άμεση επικοινωνία με τον αέρα, ώστε η ατμοσφαιρική πίεση να διατηρείται στην δεξαμενή. Ο αναπνευστήρας διαθέτει πάντα ένα εσωτερικό πλέγμα για την αποφυγή εισόδου μεγάλων σχετικά σωματιδίων σκόνης στο ρευστό. Σε μερικές περιπτώσεις, όπου το περιβάλλον είναι γεμάτο επικίνδυνους ρύπους, ο αναπνευστήρας διαθέτει ισχυρό φίλτρο. Σε περιπτώσεις όπου η δεξαμενή βρίσκεται υπό πίεση, αντί του αναπνευστήρα υπάρχει μία ειδική βαλβίδα αέρα που ρυθμίζει την πίεση στη δεξαμενή στα επιθυμητά όρια.

Ένα διάφραγμα εκτείνεται κατά μήκος της δεξαμενής. Καλύπτει συνήθως τα 2/3 του ύψους που φτάνει το ρευστό και ο σκοπός του είναι να διαχωρίζει την περιοχή απορρόφησης της αντλίας από την περιοχή καταθλίψεως. Ο διαχωρισμός αυτός υποχρεώνει το ρευστό να κυκλοφορήσει επαπτόμενο στις παράπλευρες επιφάνειες της δεξαμενής. Με αυτή τη διάταξη, ξένα σωματίδια, δηλαδή ρινίσματα και όχι μόνο, και αέρας είναι δύσκολο να αναρροφηθούν στον ίδιο βαθμό από την αντλία. Επιπλέον, η δεξαμενή έχει αποτελεσματική δράση ως ψύκτης του ρευστού. Στο σημείο

εισόδου της δεξαμενής είναι απομονωμένες όλες οι γραμμές που καταλήγουν σε αυτήν, με φλάτζες, ώστε να μην εισχωρούν ρύποι στη δεξαμενή. Η αναρρόφηση της αντλίας πρέπει να τελειώνει πολύ πιο κάτω από την στάθμη του ρευστού, όπως επίσης και οι γραμμές επιστροφής. Σε αντίθετη περίπτωση το ρευστό θα αναμιχθεί με αέρα. Οι γραμμές αποστράγγισης, όμως, είναι καλό να τελειώνουν πάνω από την επιφάνεια του ρευστού. Έτσι, αποφεύγεται η δημιουργία ανεπιθύμητων αντίθετων πιέσεων μέσα στις ίδιες τις γραμμές αποστράγγισης και η αναρρόφηση ρευστού.

Στα βιομηχανικά συστήματα η αντλία τοποθετείται κατά κανόνα στην άνω επιφάνεια της δεξαμενής, έτσι ώστε να είναι εύκολα επισκευάσιμη ή εναλλάξιμη. Παρ'όλο που όλες οι υδραυλικές αντλίες είναι αντλίες αυτομάτου αναρρόφησης, η θέση αυτή μειονεκτεί γιατί αποδυναμώνει την ικανότητα αναρροφήσεως. Πλεονεκτικότερη από την άποψη αυτή είναι η τοποθέτηση της αντλίας σε επίπεδο κατώτερο της δεξαμενής, λύση που συνηθίζεται στα αυτοκινούμενα μηχανήματα καθώς και σε μεγάλα βιομηχανικά υδραυλικά συστήματα, όπου οι αντλίες είναι μεγάλου μεγέθους και οι δεξαμενές έχουν χωρητικότητα εκατοντάδων ή και χιλιάδων λίτρων, όπως στην εικόνα 8. Η τοποθέτηση της δεξαμενής πρέπει να γίνεται σε σημείο που είναι δυνατή η απαγωγή θερμότητας.



Σχήμα 7. Φλάντζα στεγανότητας(Sealed flange), Γραμμή επιστροφής(Return line), Γραμμή αποστράγγισης(Drain return), Γραμμή αναρρόφησης της αντλίας(Pump inlet line), Αναπνευστήρας(Air breather and filler), Διάφραγμα(Baffle plate), Πώμα εκκένωσης(Drain plug), Φίλτρο προστασίας(Strainer), Θύρα επίσκεψης και στις δυο πλευρές(Clean-out plate, both ends), Θερμόμετρο και δείκτης στάθμης(thermometer and sight glass). (Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 8. Επισκευασμένη δεξαμενή λαδιού για προωθητή CATERPILLAR D9H. Οι δεξαμενές του υδραυλικού συστήματος σε αυτοκινούμενα μηχανήματα πρέπει να είναι μικρών διαστάσεων. (Vandijk Heavy Equipment 2020)

2.3.2 ΤΑ ΦΙΛΤΡΑ

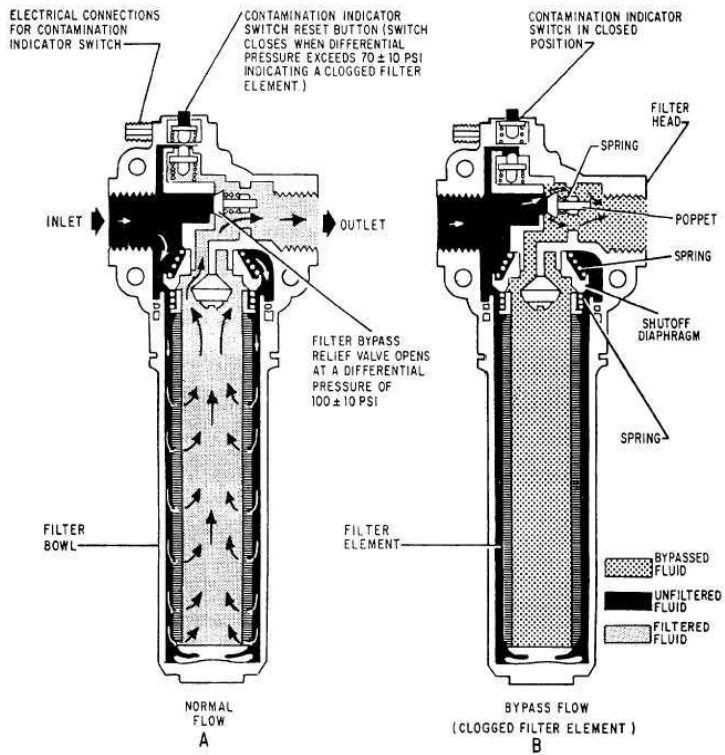
Η καθαρότητα του ρευστού έχει μεγάλη σπουδαιότητα για την διάρκεια ζωής των υδραυλικών αντλιών και βαλβίδων. Ξένα σωματίδια που μπορούν να είναι τόσο ελάχιστα, ώστε οι διάμετροι τους να είναι από 2 έως 25 μικρά, έχουν καταστρεπτικά αποτελέσματα στην αντλία και σε πολλές βαλβίδες και επιταχύνουν την καταστροφή των υδραυλικών ορυκτελαίων, που τελευταία παρουσιάζουν διαρκώς αυξανόμενο κόστος. Η καθαρότητα του ρευστού εξασφαλίζεται με φίλτρα. Έτσι, τα φίλτρα είναι διατάξεις που αποσκοπούν κυρίως στην συγκράτηση των αδιάλυτων περιεχομένων του ρευστού και στην τελική απαλλαγή του από ξένα σώματα. Η συγκράτηση αυτή γίνεται κυρίως με την δίοδο του ρευστού μέσα από ένα πορώδες μέσο. Διακρίνονται σε κυρίως φίλτρα και φίλτρα προστασίας. Τα κυρίως φίλτρα είναι φίλτρα επιστροφής και φίλτρα πίεσεως.

Τα φίλτρα προστασίας, όπως στα σχήματα 9 και 10, είναι απλές διατάξεις μεταλλικού δικτύου που αποσκοπούν όχι στον τελικό καθαρισμό του ρευστού, αλλά κυρίως στην προστασία συγκεκριμένων στοιχείων, κυρίως αντλιών, από μεγάλα σχετικώς ξένα σωματίδια. Όλα τα φίλτρα χαρακτηρίζονται από την ικανότητα τους να συγκρατούν σωματίδια ορισμένου μεγέθους σε μικρά. Αν λοιπόν αναφέρεται ένα φίλτρο ικανότητας π.χ. 25 μm., σημαίνει ότι σωματίδια με μία διάσταση άνω των 25μm. συγκρατούνται. Τα φίλτρα προστασίας έχουν συνήθως ικανότητες 100-150 μm., τα φίλτρα επιστροφής 10-40 μm. και τα φίλτρα πίεσεως 2-10μm. Σημειώνεται ότι το μικρότερο ορατό αντικείμενο έχει μία διάσταση περίπου 70 μm. (Paul Heney 2020)

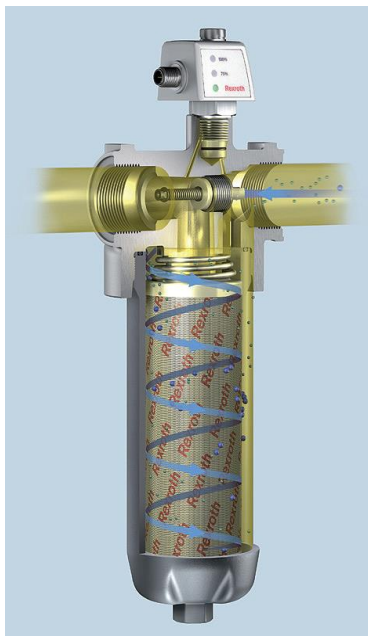
Τα φίλτρα προστασίας των εικόνων εγκαθίστανται πάντα στην αναρρόφηση της αντλίας, πάντα μέσα στο ρευστό της δεξαμενής και κυρίως προστατεύουν περυσιοφόρες ή εμβολοφόρες αντλίες, όπως στο σχήμα 13. Υπάρχουν φίλτρα που εγκαθίστανται στην αναρρόφηση της αντλίας και δεν είναι απλά φίλτρα προστασίας. Αυτά εγκαθίστανται έξω από την δεξαμενή και στην γραμμή αναρρόφησης της αντλίας, όπως στα σχήματα 14 και 15. Ένα φίλτρο μεγάλης ικανότητας όμως, εγκαθίσταται συνήθως στην επιστροφή της αντλίας γιατί δημιουργεί τόση πτώση πίεσεως, ώστε να καταστρέφει τις αντλίες. Τα φίλτρα πίεσεως εγκαθίστανται πάντα μπροστά από τα στοιχεία που χρειάζεται να προστατεύουν. Είναι φίλτρα μεγάλης ικανότητας και χρησιμοποιούνται συνήθως για προστασία σερβοβαλβίδων. (Paul Heney 2020)



Σχήμα 9. Φίλτρο προστασίας κατασκευασμένο από λεπτό μεταλλικό πλέγμα. (Hydraulics Pneumatics 2020)



Σχήμα 10. Εξωτερικό φίλτρο αναρρόφησης. (Hydraulics Pneumatics 2020)



Σχήμα 11. Rexroth φίλτρο τελευταίας γενιάς με αναλογικό αισθητήρα για αντικατάσταση. (Rexroth 2020)

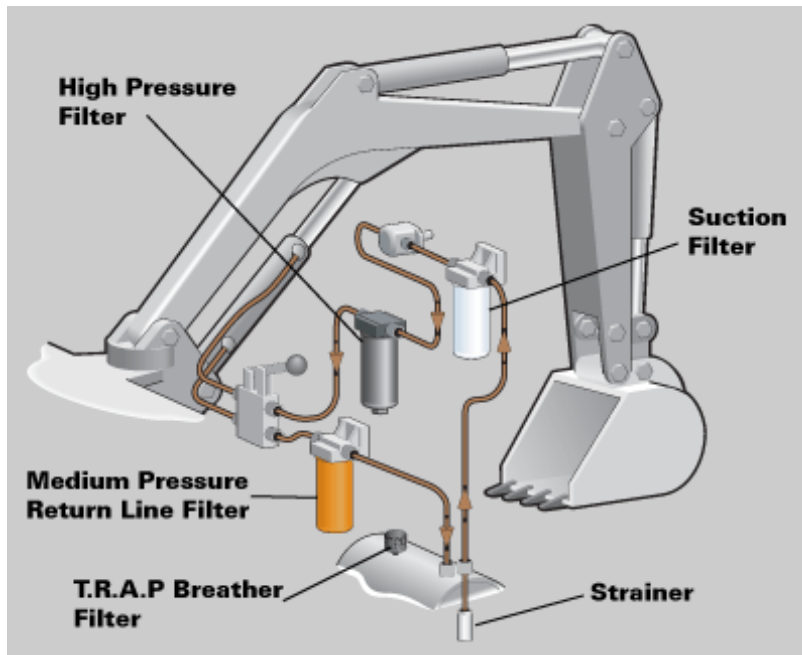


Σχήμα 12. Φίλτρα CATERPILLAR και HYDAC για όλες τις χρήσεις. (Caterpillar, Hydac 2020)

Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται στα υδραυλικά συστήματα είναι πάντα μηχανικά (φίλτρα προστασίας) ή φίλτρα απορρόφησης κατασκευασμένα από ποικιλία υλικών όπως χαρτί, ξύλο, βαμβάκι κ.λπ. όπως στην εικόνα 12. Τα μηχανικά φίλτρα είναι συνήθως δυνατόν να καθαριστούν με απλό βούρτσισμα, ενώ τα φίλτρα αναρρόφησης είναι έτσι κατασκευασμένα, ώστε το στοιχείο αναρρόφησης πρέπει να αντικατασταθεί, αφού ρυπανθεί. Πολλά φίλτρα διαθέτουν ειδικούς δείκτες ή μανόμετρα, ώστε να προειδοποιούν σε περίπτωση που έχουν φράξει από συσσώρευση ρύπων, όπως στο σχήμα 11.



Σχήμα 13. Αντλίες Linde, σειρά BPV με εφαρμοσμένο φίλτρο για την χαμηλή πίεση της βοηθητικής αντλίας. (Linde 2020)



Σχήμα 14. Σύνολο φίλτρων στο κύκλωμα εμβόλου εκσκαφέα. Φίλτρα αναρρόφησης, υψηλής-χαμηλής πίεσης, επιστροφών.(Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 15. Κύρια αντλία CAT SBS 120 σε εκσκαφέα CATERPILLAR 320F L. Στην φωτογραφία φαίνονται μερικά από τα φίλτρα του δικτύου. (Caterpillar 2020)

2.3.3 ΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

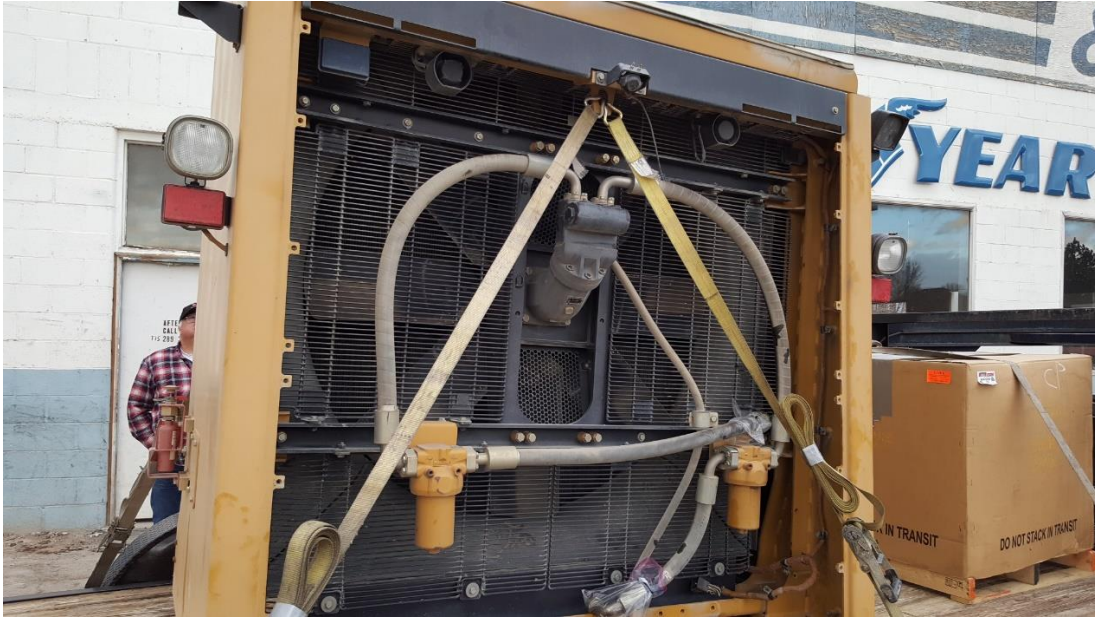
Ως εξάρτημα χαρακτηρίζεται κάθε στοιχείο που επιτελεί μια βοηθητική ή ειδική εργασία στο υδραυλικό σύστημα. Πιο κάτω περιγράφονται τα συνηθέστερα εξαρτήματα:

- **Ψύκτης:** Δεν υπάρχει σύστημα με βαθμό απόδοσης τέτοιο που με την λειτουργία του να μην εκλύεται θερμότητα στο υδραυλικό ρευστό, με αποτέλεσμα την θέρμανση του. Οι ανακουφιστικές βαλβίδες, οι εσωτερικές διαρροές και το περιβάλλον είναι συνήθως οι κύριες πηγές της θέρμανσης. Σε πολλά συστήματα είναι αναγκαία η εγκατάσταση ενός ψύκτη του ρευστού, ειδάλλως η λειτουργία είναι αδύνατη. Πράγματι, θερμοκρασίες του ρευστού άνω των 55° C , έχουν ως αποτέλεσμα σπηλαίωση της αντλίας, καταστροφή των στεγανοποιητικών δακτυλίων και μεταβολή των χαρακτηριστικών λειτουργίας του συστήματος.

Υπάρχουν ψύκτες αέρος και ψύκτες νερού. Ένας ψύκτης αέρος χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό ψύξης. Στον μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων προφανώς εφαρμόζονται μόνο ψύκτες αέρος, όπως στα σχήματα 16 και 17. Ο ψύκτης αέρος είναι μια κατασκευή σωλήνων και πτερυγίων παρόμοια με τον ψύκτη του αυτοκινήτου. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο ή από μέταλλο που εύκολα απάγει τη θερμότητα. Ένας ανεμιστήρας προκαλεί αναγκαστική κυκλοφορία αέρος για να αυξήσει τον ρυθμό απαγωγής θερμότητας.



Σχήμα 16. Ψύκτης αέρος όπου θερμό υδραυλικό ρευστό ψύχεται με αέρα, σε CATERPILLAR 854K. (Motor Mission 2020)



Σχήμα 17. Στην φωτογραφία αυτή φαίνεται ο ανεμιστήρας του ψύκτη, στον ελαστικοφόρο προωθητή CATERPILLAR 854K, ο οποίος κινείται μέσω υδραυλικού εμβολοφόρου κινητήρα REXROTH σειράς A2FM. Επίσης, φαίνεται και το σύστημα φίλτρων του κυκλώματος του κινητήρα. (Motor Mission 2020)



Σχήμα 18. Ελαστικοφόρος προωθητής CATERPILLAR 854K. (Caterpillar 2020)

- **Συσσωρευτής:** Τα ρευστά δεν μπορούν να συμπιεστούν και να κρατηθούν σε εφεδρεία υπό πίεση για να χρησιμοποιηθούν στην κατάλληλη στιγμή ή σημείο, όπως γίνεται με τα αέρια. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με ένα πολύ σημαντικό στοιχείο, τον συσσωρευτή, που είναι μία διάταξη αποθήκευσης ρευστού υπό πίεση αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την είσοδο ρευστού υπό πίεση σε ένα θάλαμο και την αντίστοιχη συμπίεση ενός αερίου ή ελατηρίου. Κάθε τάση της πίεσης να περιορισθεί στο υπόλοιπο κύκλωμα, επιτρέπει στο συμπιεζόμενο αέριο ή ελατήριο να αντιδράσει και να αποφορτίσει το συμπιεσμένο ρευστό.

Ο απλούστερος τύπος συσσωρευτή είναι αυτός της ανύψωσης ενός βάρους όπως στο σχήμα 19. Ένα κατακόρυφα τοποθετημένο έμβολο δέχεται ρευστό από την μία μόνο πλευρά και ανυψώνει ένα μεγάλο βάρος. Το ρευστό αποφορτίζεται ανάλογα προς την πίεση στο υπόλοιπο κύκλωμα. Η χρήση των συσσωρευτών αυτών είναι περιορισμένη, παρ'όλο το πλεονέκτημα του ότι η αποδιδόμενη πίεση είναι σταθερή, ανεξάρτητα εάν η πλευρά του ρευστού είναι πλήρης ή ημιπλήρης.

Παρόμοια διάταξη συναντάται και στους συσσωρευτές ελατηρίου. Αντί βάρους, η αντίσταση στο εισερχόμενο ρευστό παρέχεται από ένα ισχυρό ελατήριο. Ο τύπος αυτός παρουσιάζει μηχανικά μειονεκτήματα: δεν ρυθμίζεται εύκολα και απαιτεί μεγάλες διαστάσεις για μεγάλα μεγέθη συσσωρευτή, όπως στο σχήμα 21.

Ο συνηθέστερος τύπος συσσωρευτή είναι αυτός του αερίου. Αποτελείται από έναν κυλινδρικό θάλαμο χωρισμένο σε δύο τμήματα: αυτόν που έχει το αέριο και αυτόν με το υδραυλικό ρευστό. Το τμήμα του αερίου περιέχει ένα αδρανές αέριο, συνήθως ξηρό άζωτο. Οξυγόνο δεν χρησιμοποιείται ποτέ, λόγω της τάσης του να αναμειγνύεται με το υδραυλικό λάδι και να εκρήγνυται υπό πίεση. Ο συσσωρευτής αυτός προφορτίζεται από την πλευρά του αερίου, πριν φορτιστεί με ρευστό. Η πίεση φόρτισης αερίου εξαρτάται από τα όρια της πίεσης λειτουργίας του συστήματος και τον όγκο του ρευστού που χρειάζεται να αποθηκευτεί. (Κωστόπουλος 2020)

Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσσωρευτή είναι αυτός του ελαστικού θαλάμου, όπου το αέριο περικλείεται σε ένα θάλαμο από συνθετικό ελαστικό. Υπάρχει πλήρης διαχωρισμός αερίου και ρευστού. Ο συσσωρευτής εμβόλου χρησιμοποιεί σαν επιφάνεια διαχωρισμού ένα έμβολο που μετακινείται ελεύθερα ολισθαίνον στην εσωτερική επιφάνεια του συσσωρευτή. Είναι παρόμοιος προς την κατασκευή ενός υδραυλικού κυλίνδρου.

Συχνά, στα υδραυλικά συστήματα, μία μεγάλη ποσότητα ρευστού χρειάζεται μόνο για ένα περιορισμένο διάστημα του όλου κύκλου. Αντί της χρήσης μιας μεγάλης αντλίας, που θα μπορούσε να αντιμετωπίσει τις στιγμιαίες αυτές απαιτήσεις, ένας συσσωρευτής αποθηκεύει ρευστό που παρέχεται από μία σχετικά μικρή αντλία και το εκφορτίζει στο κύκλωμα κατά την στιγμή που είναι αναγκαίο.

Στην περίπτωση των κατασκευαστικών μηχανημάτων οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται για απορρόφηση κρουστικών κυμάτων λόγω απότομης στάσης ή αναστροφής της ροής ή για την απορρόφηση των ταλαντώσεων του συστήματος που δημιουργούν θόρυβο. Σε κάθε περίπτωση, ο συσσωρευτής πρέπει να απομονώνεται ή να αποφορτίζεται πριν από κάθε άνοιγμα μίας γραμμής ή μιας βαλβίδας. Επίσης συνηθισμένη, στο μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων, είναι η εφαρμογή ενός συσσωρευτή για να διατηρεί σταθερή την πίεση σε ένα κύκλωμα, για μεγάλη διάρκεια χρόνου, όπως στο σχήμα 20.

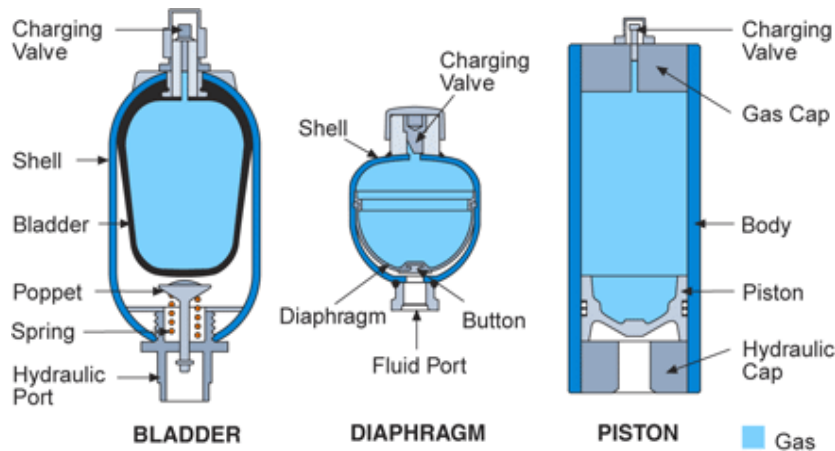
Αντί η αντλία να καταθλίβει συνεχώς υπό την πίεση που επιβάλλει η βαλβίδα ανακούφισης, η αντλία χρησιμοποιείται μόνον για την περιοδική φόρτιση ενός συσσωρευτή.



Σχήμα 19. Συσσωρευτές PARKER, REXROTH και HYDAC. (Rexroth, Parker, Hydac 2020)



Σχήμα 20. Στην συγκεκριμένη εικόνα φαίνονται δύο συσσωρευτές, ένα βαλβιδοφόρο και ένας κινητήρας περιστροφής, καθώς και εύκαμπτοι αγωγοί που συνδέουν όλα τα προηγούμενα, σε έναν εκσκαφέα CATERPILLAR 336E H. Οι συσσωρευτές παρέχουν λάδι υπό πίεση στο φρένο του κινητήρα περιστροφής. (Caterpillar 2020)



Σχήμα 21. Συσσωρευτές με ελατήριο, διάφραγμα και έμβολο (από αριστερά προς δεξιά). (Hydraulics and Pneumatics 2020)

- Πολλαπλασιαστής πίεσης:** Στο υδραυλικό κύκλωμα ενός εκσκαφέα ή ενός φορτωτή είναι δυνατόν να χρειαστεί μία μικρή ποσότητα ρευστού υπό πολύ υψηλή πίεση. Ένας πολλαπλασιαστής πίεσης μπορεί να αναπτύξει πιέσεις κατά πολύ υψηλότερες απ'ότι μία αντλία. Αποτελείται από μία μορφή κυλίνδρου με εσωτερικό βάκτρο, όπου η επιφάνεια της μίας πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την άλλη. Οι πιέσεις αναπτύσσονται αντιστρόφως ανάλογα προς τις επιφάνειες. Εξασκώντας την πίεση της αντλίας στην μεγάλη επιφάνεια, επιτυγχάνεται μια πολλαπλάσια πίεση στην πλευρά της μικρής επιφάνειας. Η χρήση των πολλαπλασιαστών πίεσης είναι περιορισμένη.
- Όργανα μέτρησης:** Τα μεγέθη της παροχής, της πίεσης και της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία ενός συστήματος, χρειάζονται για την παρακολούθηση της λειτουργίας του ή την ανεύρεση βλαβών. Στην πράξη, τα περισσότερα συστήματα διαθέτουν θερμομέτρα και μανόμετρα. Θερμόμετρο υπάρχει πάντα στην δεξαμενή για τον εύκολο έλεγχο της θερμοκρασίας του ρευστού. Μανόμετρα υπάρχουν σε πολλά σημεία του υδραυλικού κυκλώματος. Είναι δυνατόν επίσης, να υπάρχουν λήψεις μανομέτρων σε διάφορα σημεία του συστήματος, όπου μανόμετρο τοποθετείται με ταχυσύνδεσμο, μόνο όταν υπάρχει ανάγκη μέτρησης της πίεσης στο συγκεκριμένο σημείο. Υπάρχουν, επί πλέον, ειδικές βαλβίδες επιλογής, οι οποίες με την χρήση ενός μόνο μανομέτρου, επιλέγουν διάφορα σημεία του κυκλώματος για έλεγχο. Οι περισσότερες βαλβίδες διαθέτουν υποδοχές για την μόνιμη ή πρόσκαιρη εγκατάσταση μανομέτρων.

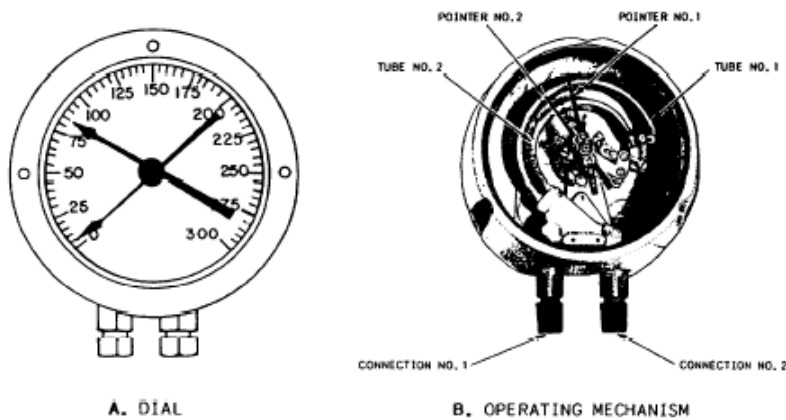
Υπάρχουν κυρίως δύο τύποι μανομέτρων, τα μανόμετρα ελάσματος και τα μανόμετρα ελατηρίου, όπως στα σχήματα 22 και 23. Τα μανόμετρα ελάσματος είναι τα συνηθέστερα, είναι όμως ευαίσθητα στα κρουστικά κύματα μέσα στο ρευστό και στις ταλαντώσεις της ροής. Γι'αυτό η συνηθέστερη πρακτική είναι η εγκατάσταση ενός μανομέτρου ελάσματος μαζί με ένα ειδικό διακόπτη, ο οποίος τα απομονώνει από το υπόλοιπο κύκλωμα και με την πίεση του διακόπτη τα εισάγει, ώστε να γίνεται ανάγνωση της πίεσης. Με την αυτόματη επαναφορά του διακόπτη μέσω ελατηρίου, η πίεση εγκλωβίζεται μέσα στο

μανόμετρο. Οι ειδικοί αυτοί διακόπτες μανομέτρου διαθέτουν και μία γραμμή αποστράγγισης που επενεργεί όταν απομακρύνεται η πίεση στον διακόπτη και μηδενίζει την εγκλωβισμένη πίεση και την ένδειξη του μανομέτρου. Επιπλέον, έχει επικρατήσει η κατασκευή μανομέτρων ελάσματος, όπου ολόκληρος ο μηχανισμός και ο δείκτης είναι βυθισμένα σε παχύρρευστη γλυκερίνη, έτσι ώστε οι κρούσεις και οι κραδασμοί να αποσβένονται. Ωπιοσδήποτε, και τα μανόμετρα αυτά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τον ειδικό διακόπτη μανομέτρου.

Η μέτρηση της παροχής γίνεται συνήθως με συγκροτήματα ελέγχου, τα οποία μετρούν τις αποδόσεις διάφορων στοιχείων που επισκευάζονται ή παρουσιάζουν προβλήματα. Πολύ σπάνια θα συναντηθεί μετρητής ροής μόνιμα εγκατεστημένος σε συγκεκριμένο υδραυλικό σύστημα. Συνήθως, ο συντηρητής διαθέτει φορητό μετρητή ροής, τον οποίο προσαρμόζει κάθε φορά σε μηχανές για να ελέγξει τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης μίας αντλίας και να εξετάσει τις εσωτερικές διαρροές μέσα στο σύστημα.

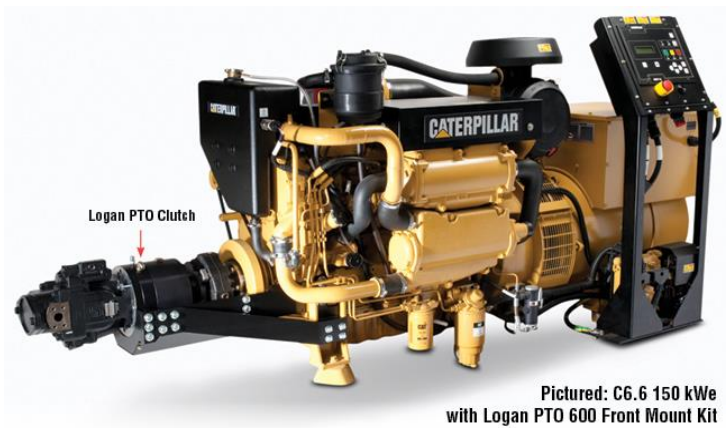


Σχήμα 22. Αριστερά μανόμετρα ελάσματος CATERPILLAR. Δεξιά XZT ψηφιακό μανόμετρο τελευταίας γενιάς, ευκολότερο στη χρήση. (Caterpillar 2020)



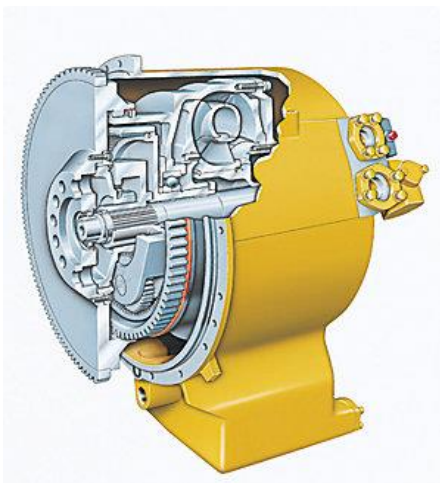
Σχήμα 23. Μηχανισμός μανομέτρου ελάσματος. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

- **Υδραυλικοί συμπλέκτες:** Ο υδραυλικός συμπλέκτης είναι μία διάταξη συμπλέξεως δύο τμημάτων κινούμενων μέσα στο ρευστό. Η σύμπλεξη δεν γίνεται με μηχανική πρόσφυση, αλλά με την δημιουργία ροπής στρέψης στο κινούμενο τμήμα μέσω της κίνησης του ρευστού. Η κίνηση του ρευστού λαμβάνεται από το κινούμενο τμήμα, όπως στο σχήμα 24. Ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ υψηλός. Οι υδραυλικοί συμπλέκτες παρουσιάζουν εξαιρετικά πλεονεκτήματα, αφού είναι αμφίδρομοι, επιτυγχάνουν ομαλή επιτάχυνση, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και εξουδετερώνουν τους κραδασμούς.



Σχήμα 24. Μηχανή εσωτερικής καύσης CATERPILLAR C6.6 με υδραυλικό συμπλέκτη. (Caterpillar 2020). Κάτω αριστερά φαίνεται η υδραυλική αντλία SAUER DANFOSS.

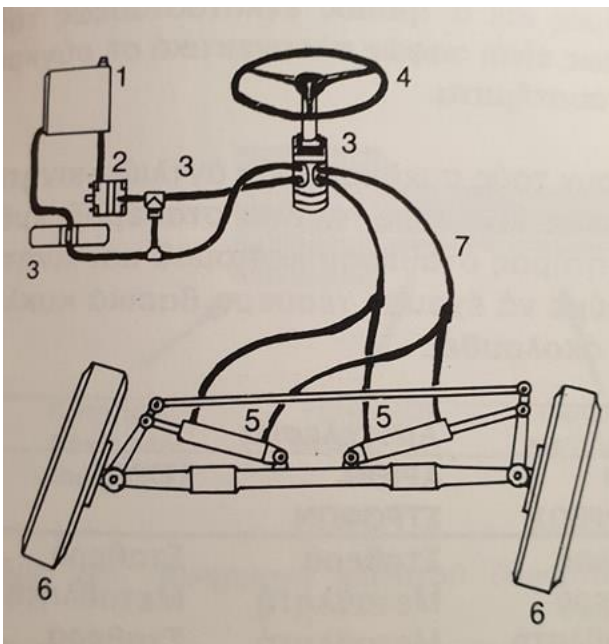
- **Μετατροπέας ροπής:** Μία διάταξη παρόμοια προς τον υδραυλικό συμπλέκτη είναι ο μετατροπέας ροπής, όπως στο σχήμα 25. Αντίθετα προς τον υδραυλικό συμπλέκτη, η διάταξη αυτή επιτυγχάνει την αυξομείωση της αποδιδόμενης ροπής.



Σχήμα 25. Μετατροπέας ροπής για ερπυστριοφόρο προωθητή CATERPILLAR D6R XL. (Caterpillar 2020)

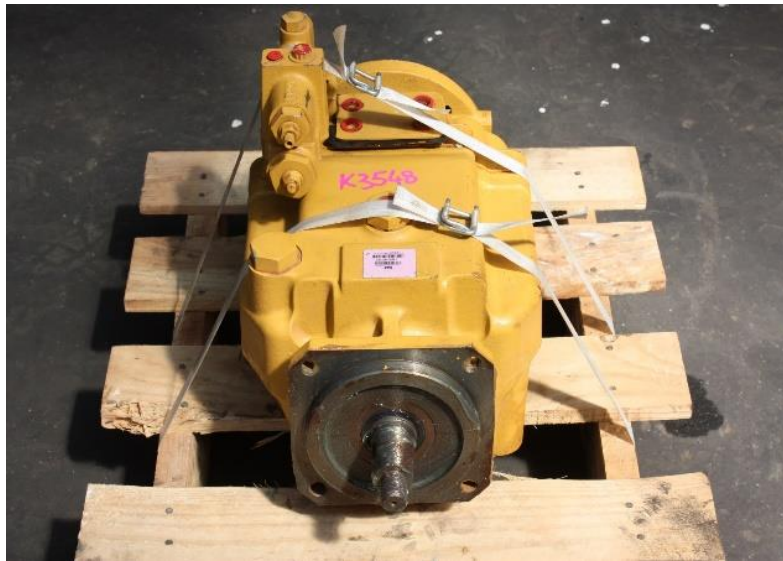
- **Συστήματα κατευθύνσεως:** Τα χωματουργικά μηχανήματα όπως και πολλά αυτοκίνητα είναι τόσο ογκώδη και βαριά, που ο χειρισμός τους με την μυϊκή δύναμη του οδηγού που χειρίζεται το πηδάλιο είναι αδύνατος. Έτσι τα μηχανικά συστήματα κατευθύνσεως που είναι κατάλληλα για μικρά οχήματα, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για τα μεγάλα χωματουργικά μηχανήματα ή τα φορτηγά αυτοκίνητα.

Το υδραυλικό σύστημα κατευθύνσεως προσφέρει την δυνατότητα πολλαπλασιασμού της μυϊκής δύναμης του οδηγού, όπως στο σχήμα 26. Τα σύγχρονα υδραυλικά συστήματα κατευθύνσεως είναι στην ουσία σερβοσυστήματα. Ένα τέτοιο σύστημα κατευθύνσεως αποτελείται από ένα υδραυλικό σύστημα που παρέχει συνεχώς ρευστό υπό πίεση σε ένα ή δύο κυλίνδρους συνδεδεμένους στο μηχανικό σύστημα του άξονα των τροχών. Η κίνηση του πηδαλίου από τον οδηγό επενεργεί σε μία κεντρική βαλβίδα άμεσα συνδεδεμένη με το πηδάλιο, όπως στο σχήμα 27. Η βαλβίδα αυτή κατανέμει κατάλληλα την υδραυλική ροή, ώστε η περιστροφική κίνηση του πηδαλίου, να μεταφραστεί σε αλλαγή της κατευθύνσεως του τροχού. Η αντλία του υδραυλικού συστήματος κατευθύνσεως είναι συνεχώς υπό πίεση και έχει ενσωματωμένη ανακουφιστική βαλβίδα και βαλβίδα ρύθμισης ροής, ώστε η παροχή και η πίεση να είναι σταθερές ανεξάρτητα από τις στροφές της μηχανής, όπως στα σχήματα 27 και 28. Η κεντρική βαλβίδα κατανομής υποχρεώνει το πηδάλιο να γυρίσει στην αρχική του θέση, όταν ο χειριστής το απελευθερώσει μετά την κίνηση του οχήματος. Όταν χρησιμοποιούνται δύο κύλινδροι κατευθύνσεως, η κεντρική βαλβίδα κατανομής καθορίζει παροχή ίσων όγκων ρευστού και στους δύο κυλίνδρους. Η διάταξη αυτή δεν είναι και η μόνη δυνατή. Υπάρχουν συστήματα όπου αρκεί ένας μόνο κύλινδρος για τον έλεγχο της κατευθύνσεως του οχήματος.



Σχήμα 26. Υδραυλικό σύστημα κατευθύνσεως οχήματος. (Κωστόπουλος 2020)

1)Δεξαμενή 2)Αντλία 3)Βαλβίδες 4)Πηδάλιο 5)Κύλινδροι 6)Τροχοί 7)Εύκαμπτοι αγωγοί – μαρκούτσια.



Σχήμα 27. Πάνω, επισκευασμένη εμβολοφόρος αντλία πηδαλίου CATERPILLAR για ελαστικοφόρο φορτωτή CATERPILLAR 950G. Κάτω, Βαλβίδα EATON για πηδάλιο. (Caterpillar, Eaton 2020)



Σχήμα 28. Διπλή οδοντωτή αντλία πηδαλίου για φορτωτή CASE 1835B. (Vandijk Heavy Equipment 2020)

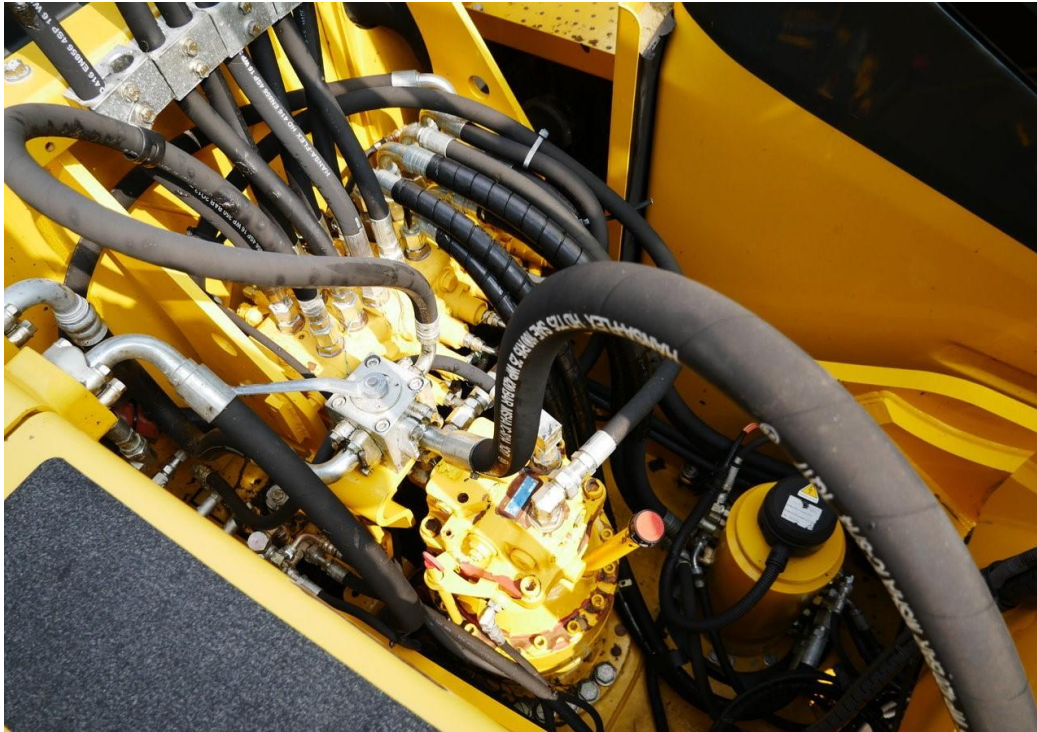
2.3.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Ως σωληνώσεις χαρακτηρίζονται όλες οι μορφές αγωγών μέσω των οποίων διακινούνται υδραυλικά ρευστά. Οι αγωγοί αυτοί έχουν την μορφή χαλυβδοσωλήνων με ή χωρίς ραφή, εύκαμπτων σωληνώσεων και δίοδων σε συγκρότημα πολλαπλών υποδοχών.

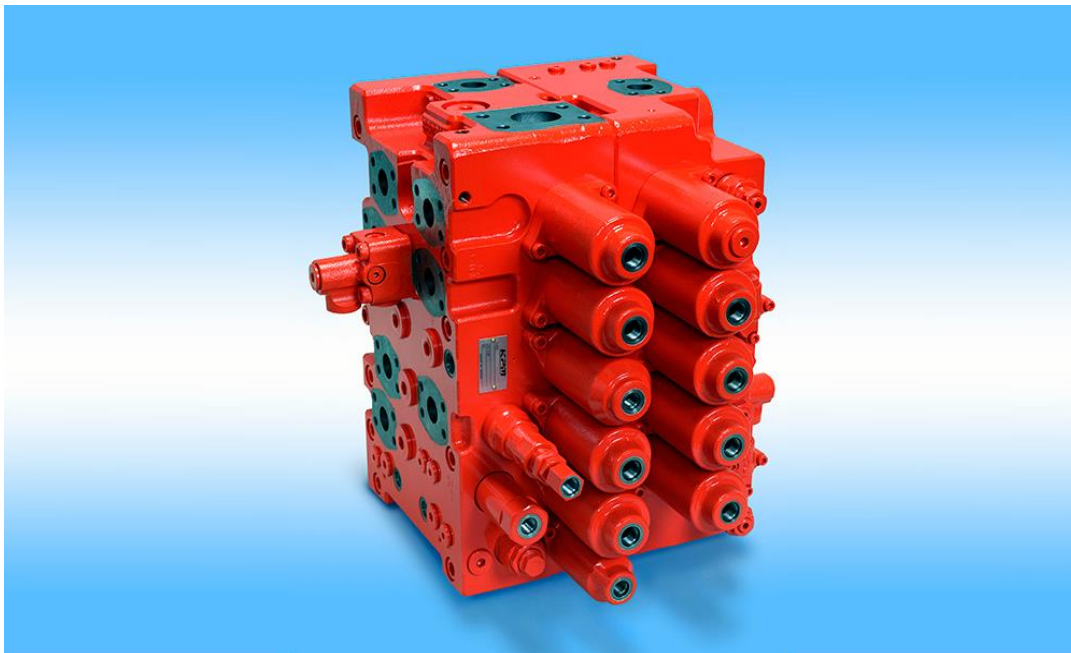
- **Χαλυβδοσωλήνες:** Είναι χαλύβδινοι σωλήνες από ανθρακούχο χάλυβα, που χαρακτηρίζονται από την εξωτερική ή την εσωτερική διάμετρο και από την πίεση λειτουργίας τους, όπως στο σχήμα 29. Οι σωλήνες αναρροφήσεως μπορεί να είναι χαλυβδοσωλήνες με ραφή, οι σωλήνες στις γραμμές πίεσης όμως, είναι πάντα χαλυβδοσωλήνες χωρίς ραφή που συχνά έχουν υποστεί ειδική κατεργασία καθαρισμού. Η επιλογή των χαλυβδοσωλήνων γίνεται με βάση την διερχόμενη παροχή και την πίεση του ρευστού.
- **Εύκαμπτοι σωλήνες:** Χρησιμοποιούνται εκεί όπου η γραμμή υφίσταται κινήσεις ή κραδασμούς, όπως στο σχήμα 30. Είναι κατασκευασμένοι από συνθετικό ελαστικό με αλληπάλληλα στρώματα οπλισμού από χάλυβα ή πλαστικό. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εύκαμπτων σωλήνων κατάλληλων για διάφορες χρήσεις και περιοχές πίεσης και διαμέτρων.
- **Δίοδοι, συγκροτήματα δίοδων (παραλληλεπίδα):** Πιο πρόσφατη εξέλιξη αποτελεί η κατασκευή συγκροτημάτων από συμπαγή χάλυβα όπου ανοίγονται κατάλληλες διαμπερείς οπές για την δημιουργία του υδραυλικού κυκλώματος, ενώ οι βαλβίδες τοποθετούνται στην επιφάνεια του συγκροτήματος. Η γεωμετρική μορφή του συγκροτήματος είναι ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο από χάλυβα, όπως στο σχήμα 31. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η εγκατάσταση πλήθους σωληνώσεων και συνδέσμων που πολλαπλασιάζουν τις διαρροές.



Σχήμα 29. Χαλυβδοσωλήνες στον πρόβολο εκσκαφέα CATERPILLAR 336 F L. (Caterpillar 2020)



Σχήμα 30. Εύκαμπτοι σωλήνες HANSAFLEX. Κορυφαίος κατασκευαστής εύκαμπτων υδραυλικών σωλήνων στην παγκόσμια αγορά. (Hansaflex 2020)



Σχήμα 31. KAWASAKI συγκρότημα διόδων για πολλές εφαρμογές στον τομέα των μηχανικών εξοπλισμών μεταλλείων και τεχνικών έργων. (Kawasaki 2020)

2.4 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

Οι υδραυλικές αντλίες είναι κατά κανόνα το πιο σπουδαίο στοιχείο του υδραυλικού συστήματος και στις πιο πολλές περιπτώσεις το πιο εκλεπτυσμένο και ακριβό. Μετατρέπουν την ενέργεια, μηχανική ή ηλεκτρική, σε υδραυλική, συμπιέζοντας το ρευστό προς το σύστημα. Ως υδραυλική ενέργεια του ρευστού, χαρακτηρίζεται κυρίως η δυναμική ενέργεια, που περικλείει και μεταφέρει το υπό πίεση ρευστό. Η κινητική ενέργεια του ρευστού είναι πολύ μικρή, αφού οι ταχύτητες είναι σχετικά χαμηλές. Το ρευστό λοιπόν, δρα ως μεταφορέας ενέργειας που έχει την μορφή πίεσης. Οι υδραυλικές αντλίες είναι πάντα αντλίες θετικού κυβισμού. Αυτό σημαίνει ότι παρέχουν πάντα ένα καθορισμένο όγκο ρευστού ανά περιστροφή ή παλινδρόμηση. Έτσι η παροχή τους, αν εξαιρεθούν οι εσωτερικές διαρροές λόγω αυτολιπάνσεως, είναι ανεξάρτητη από την πίεση καταθλίψεως. (Κωστόπουλος 2020)

Μία σημαντική λεπτομέρεια στα υδραυλικά συστήματα είναι η ικανότητα αναρρόφησης κάποιου όγκου ρευστού κατά την αρχική εκκίνηση, χωρίς την απαίτηση πλήρωσης του σώματος της αντλίας και του αγωγού αναρρόφησης με ρευστό. Οι υδραυλικές αντλίες είναι κατά συνέπεια αντλίες αυτόματης αναρρόφησης.

Οι υδραυλικές αντλίες είναι δεξιόστροφης ή αριστερόστροφης περιστροφής. Οι αντλίες αυτές γενικά χαρακτηρίζονται με την μέγιστη πίεση, που μπορούν να αποδώσουν σε psi ή bar και την παροχή τους σε gpm ή lt/min σε δεδομένες στροφές (1000 ή 1200 RPM). Είναι συνηθισμένο επίσης το να εκφράζεται το μέγεθος μίας αντλίας με τον κυβισμό της, δηλαδή τον όγκο ρευστού που καταθλίβει ανά περιστροφή. (cm^3/Rev). Μία υδραυλική αντλία καταθλίβει θεωρητικά τον αυτό όγκο ρευστού σε όλες τις φάσεις της λειτουργίας της. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, η παροχή της αντλίας περιορίζεται λόγω των εσωτερικών διαρροών. Με την αύξηση της πίεσης οι εσωτερικές διαρροές από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση ή την αποστράγγιση της αντλίας, αυξάνουν και ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης μειώνεται.

Ορίζεται ως ογκομετρικός βαθμός απόδοσης μίας αντλίας ο λόγος της πραγματικής παροχής προς τη θεωρητική παροχή της αντλίας. Η πραγματική παροχή της αντλίας δεν είναι όμως ένα μέγεθος απόλυτα σταθερό, αλλά μεταβάλλεται περιοδικά κατά τη λειτουργία της αντλίας.

Βαθμός ανομοιομορφίας μίας αντλίας ονομάζεται ο συντελεστής, που χαρακτηρίζει τη διαφορά της μέγιστης πραγματικής παροχής από την ελάχιστη πραγματική παροχή. Η περιοδική αυτή μεταβολή στην παροχή είναι σημαντικό φαινόμενο, καθώς δημιουργεί ταλαντώσεις και είναι ο κύριος λόγος που δημιουργείται θόρυβος κατά τη λειτουργία της αντλίας. Όσο μικρότερη είναι η ανομοιομορφία στην αντλία, τόσο χαμηλότερη είναι και η στάθμη θορύβου. Η στάθμη θορύβου μίας αντλίας είναι ένας ποιοτικός δείκτης με αυξανόμενη σημασία. Πράγματι, οι αντλήψεις για το περιβάλλον και για την αποφυγή ηχητικών ρυπάνσεων, υποχρεώνουν τους κατασκευαστές σε σχεδιασμό αντλιών με συνεχώς μικρότερο βαθμό ανομοιομορφίας.

Υπάρχουν υδραυλικές αντλίες σταθερής και μεταβλητής παροχής κάτω από σταθερές στροφές. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την μεταβολή της παροχής. Η μεταβολή της παροχής μπορεί να πραγματοποιηθεί με τέσσερις τρόπους: με χειριστήριο, με αυτόματο έλεγχο, με υδραυλική ή ηλεκτρική εντολή και με σερβοσύστημα.

Υπάρχουν τύποι υδραυλικών αντλιών ειδικά προσαρμοσμένοι στις συνθήκες λειτουργίας των χωματουργικών μηχανημάτων. Αυτές απαιτούν αντοχή των αντλιών σε συχνές αυξομειώσεις της πίεσης, αντοχή στα κρουστικά κύματα και αντοχή στη ρύπανση, που είναι φυσικό να είναι μεγαλύτερη στα περιβάλλοντα όπου εργάζονται τα χωματουργικά μηχανήματα. Οι στροφές λειτουργίας των αντλιών στα χωματουργικά μηχανήματα ποικίλλουν από 500 RPM έως 3000 RPM, ενώ οι πιέσεις συχνά φθάνουν τα 350 bar. Πολλοί τύποι αντλιών κατασκευάζονται για ειδικές χρήσεις σε χωματουργικά μηχανήματα, όπως οι αντλίες του συστήματος κατεύθυνσης και οι εμβολοφόρες αντλίες για χρήση σε υδροστατικούς μεταφορείς κίνησης.

2.4.1 ΟΔΟΝΤΩΤΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

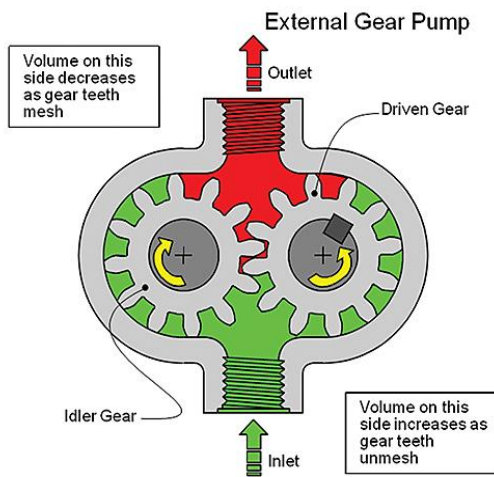
Οι οδοντωτές αντλίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι η μεταφορά ρευστού ανάμεσα σε δύο οδοντωτούς τροχούς. Οι δύο αυτοί τροχοί έχουν ίδια διάμετρο, ίδιο αριθμό οδοντώσεων και ίδιο βηματισμό. Ένας από τους δύο οδοντωτούς τροχούς είναι συνδεδεμένος με κινητήρια δύναμη και κινεί και τον δεύτερο. Οι χώροι κατάθλιψης, που δημιουργούνται μεταξύ των δοντιών, περιβάλλονται από το σώμα της αντλίας και τις δύο παράπλευρες πλάκες, οι οποίες συχνά χαρακτηρίζονται ως πλάκες τριβής ή πλάκες πίεσης.

Μία υποπίεση δημιουργείται στην αναρρόφηση της αντλίας και καθώς οι δύο τροχοί περιστρέφονται, το ρευστό ρέει για να καταλάβει τον χώρο και μεταφέρεται στις εξωτερικές επιφάνειες των τροχών. Όταν τα δόντια συμπλέκονται πάλι, το ρευστό ωθείται προς την έξοδο. Η υψηλή πίεση στην έξοδο της αντλίας, δημιουργεί μία δύναμη που καταπονεί τους τροχούς και τους ένσφαιρους τριβείς στην αντλία, όπως φαίνεται στο σχήμα 32. Οι ανοχές της κατασκευής αυτής είναι μικρές και ο βαθμός απόδοσης ικανοποιητικός, μειονεκτεί πολύ όμως σε σύγκριση με τις περυγιοφόρες ή εμβολοφόρες αντλίες, οι οποίες είναι μηχανήματα προηγμένης κατασκευής και διαθέτουν ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. (Κωστόπουλος 2020)

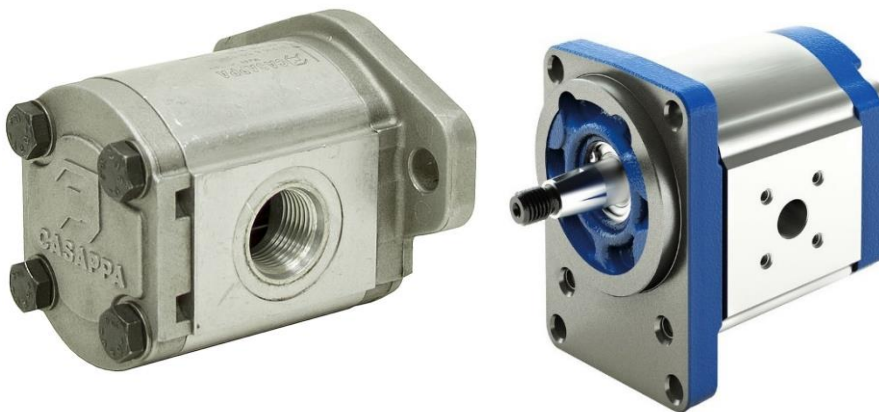
Οι οδοντωτοί τροχοί είναι κατασκευασμένοι από χρωμονικελιούχο χάλυβα και έχουν υποστεί ειδική σκλήρυνση με επιφανειακή βαφή. Το κέλυφος της οδοντωτής αντλίας αποτελείται από χυτοσίδηρο ή ντουραλουμίνιο. Οι παράπλευρες πλάκες τριβής αποτελούνται από φωσφορούχο ορείχαλκο ή ειδικό κράμα. Οι άξονες εδράζονται σε ένσφαιρους τριβείς. Όλα τα περιστρεφόμενα στοιχεία έχουν υποστεί σειρά κατεργασιών και λείανση – φαίνονται στο σχήμα 34. Η οδοντωτή υδραυλική αντλία εκτός από τον σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης σε σύγκριση με τις άλλες αντλίες, έχει και υψηλό βαθμό ανομοιομορφίας, με αποτέλεσμα την υψηλή στάθμη θορύβου. Είναι αντλία κυρίως μικρών και μέσων παροχών. Επιπλέον, είναι αντλία σταθερής παροχής και δεν υπάρχουν παραλλαγές μεταβλητής παροχής. Γι' αυτούς κυρίως τους λόγους, χρησιμοποιείται σε κατασκευές μικρών και μεσαίων απαιτήσεων. Στις χρήσεις αυτές η ικανότητα της να

παρουσιάζει ανοχή σε ρευστό που δεν είναι απόλυτα καθαρό και το χαμηλό κόστος της την κάνουν ιδανική.

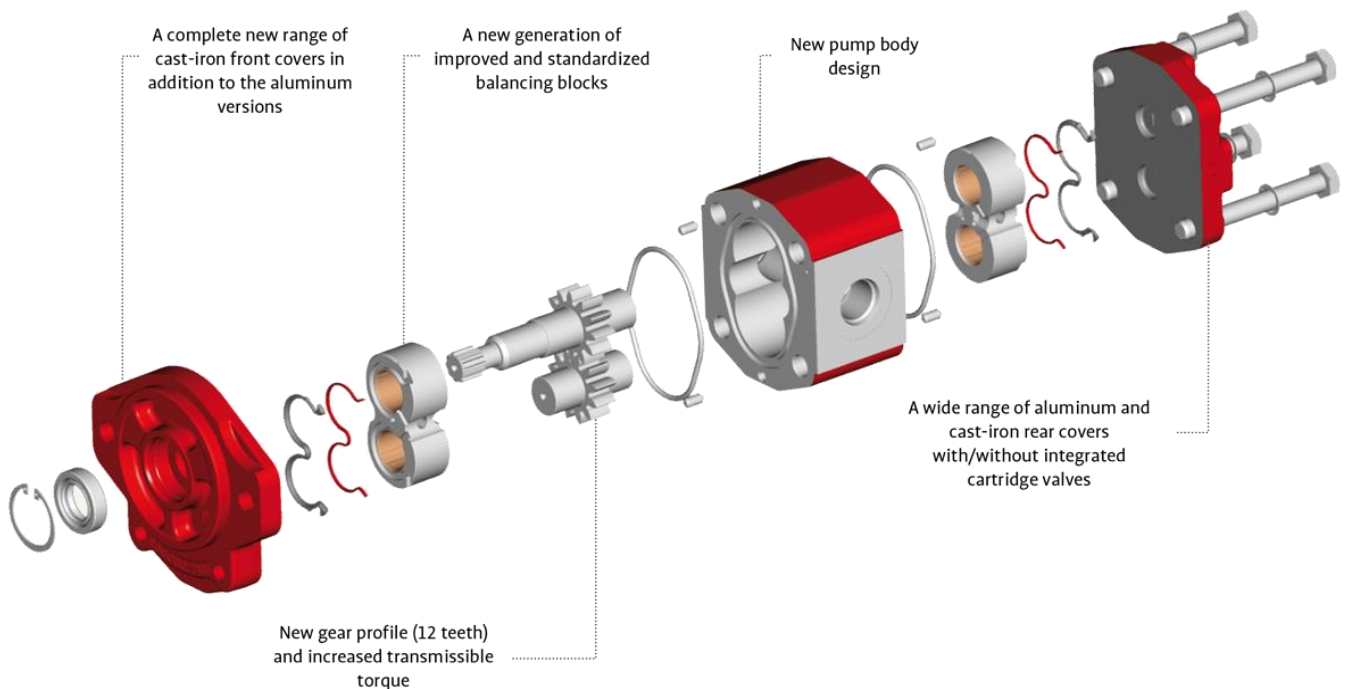
Οι πιέσεις που επιτυγχάνονται στην πράξη ανέρχονται μέχρι 250 bar για ορισμένα μεγέθη οδοντωτών αντλιών. Οι παροχές είναι γύρω στα 250 lt/min και οι μέγιστες στροφές γύρω στις 3000 RPM. Υπάρχουν κατασκευές πολλαπλών οδοντωτών αντλιών στο ίδιο κέλυφος και με τον ίδιο άξονα κατάλληλες για κυκλώματα με αρκετές ξεχωριστές πιέσεις. Κάποιες από αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 33.



Σχήμα 32. Μηχανισμός οδοντωτής υδραυλικής αντλίας. (Hydraulics and Pneumatics 2020)



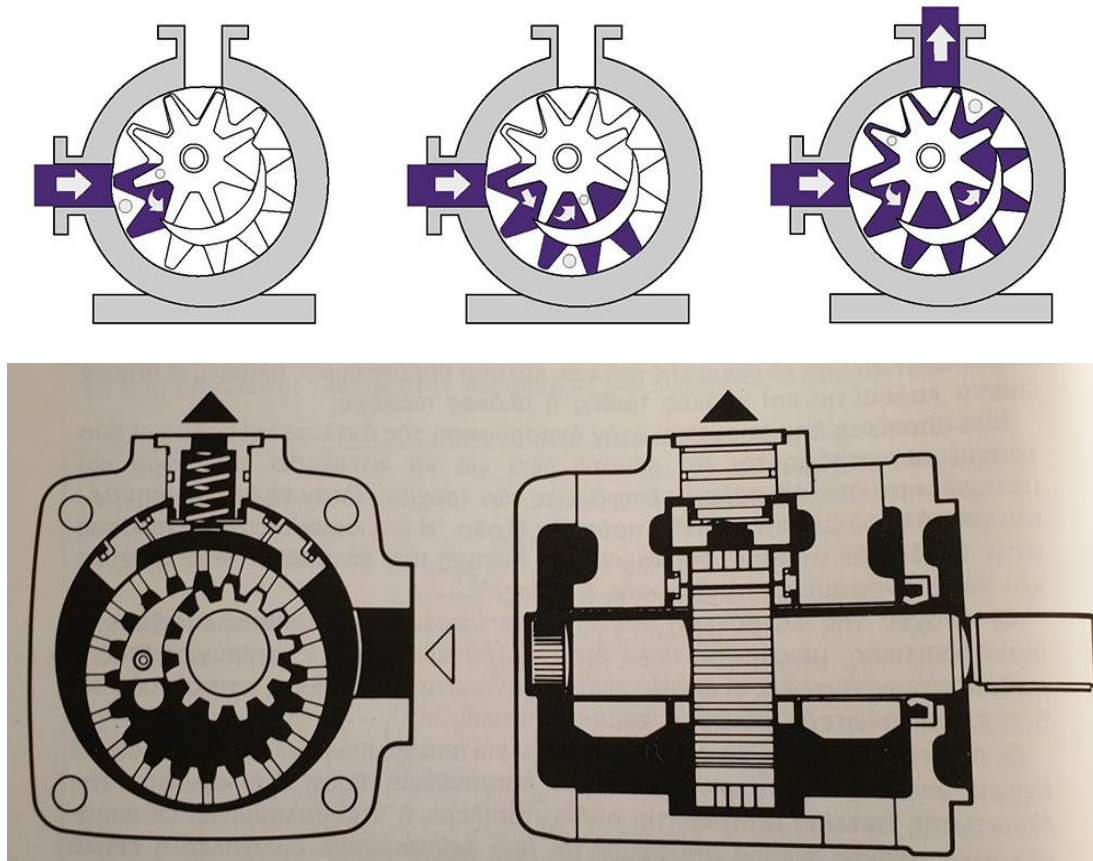
Σχήμα 33. Οδοντωτές αντλίες. Αριστερά CASAPPA , Δεξιά REXROTH. (Rexroth, Casappa 2020)



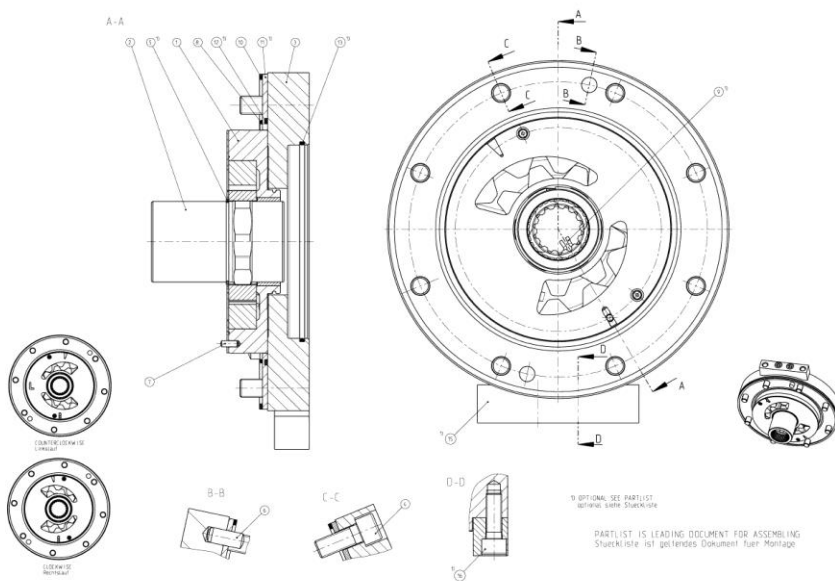
Σχήμα 34. Πλήρες σχέδιο μίας οδοντωτής αντλίας. (IDC 2020)

2.4.2 ΟΔΟΝΤΩΤΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΧΟ

Μία άλλη μορφή της αντλίας οδοντωτών τροχών είναι και η αντλία με εσωτερικό οδοντωτό τροχό τον οποίο περιστρέφει οδοντωτός τροχός που είναι προσαρμοσμένος στον κινητήριο άξονα, όπως φαίνεται στο σχήμα 35. Ένας μηνίσκος βρίσκεται στο χώρο μεταξύ των δοντιών των δύο τροχών και δημιουργεί την κατάλληλη διάταξη για την παροχή και πίεση του ρευστού. Οι αντλίες αυτές έχουν χαμηλό βαθμό ανομοιομορφίας και παρουσιάζουν πολύ χαμηλή στάθμη θορύβου σε συνδυασμό με δυνατότητα υψηλής πίεσης. Πανομοιότυπη μορφή με τις αντλίες αυτές, έχουν βοηθητικές αντλίες της χαμηλής πίεσης, που αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι σε μοντέλα σειράς A4VG της REXROTH -παρουσιάζεται στο σχήμα 36-, σειράς SPV της SAUER DANFOSS και άλλων. Ο ρόλος των βοηθητικών αυτών αντλιών είναι να γεμίζει την αντλία με λάδι πριν την λειτουργία της και να συμπληρώνει με λάδι την αντλία στην περίπτωση διαρροών, καθώς οι συγκεκριμένες αντλίες είναι αντλίες κλειστού κυκλώματος.



Σχήμα 35. Σχέδιο οδοντωτής αντλίας με εσωτερικό οδοντωτό τροχό. Η 2^η εικόνα είναι κατασκευής VOITH-ECKERLE. (EATON 2020)



Σχήμα 36. Σχέδιο οδοντωτής βοηθητικής αντλίας χαμηλής πίεσης σειράς A4VG από την REXROTH. (Rexroth 2020)

2.4.3 ΠΤΕΡΥΓΙΟΦΟΡΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

Η αντλία αυτή βασίζεται στην περιστροφή πτερυγίων που εφάπτονται στην εσωτερική επιφάνεια ενός δακτυλίου και δημιουργούν χώρους όπου μεταφέρεται και καταθλίβεται το υδραυλικό ρευστό. Οι χώροι αυτοί περικλείονται από τις παράπλευρες πλάκες τριβής. Η κίνηση των πτερυγίων είναι ελεύθερη σε υποδοχές ενός περιστρεφόμενου τμήματος και εφάπτονται με την εσωτερική επιφάνεια του δακτυλίου με την φυγόκεντρο δύναμη και την πίεση που ασκείται στην κατώτερη επιφάνεια τους.

Η κίνηση της αντλίας δίνεται με τον άξονα στο περιστρεφόμενο τμήμα. Καθώς οι χώροι στην περιοχή της αναρροφήσεως αυξάνονται, δημιουργείται μία υποπίεση με αποτέλεσμα είσοδο ρευστού που παγιδεύεται στους χώρους και καταθλίβεται υπό πίεση στην έξοδο. Η κατασκευή του σχήματος 35 δημιουργεί δυνάμεις καταπονήσεως του άξονα και των εδράνων. Η αντλία αυτή δεν είναι ζυγοσταθμισμένη. Πρακτικά δεν κατασκευάζονται πλέον πτερυγιοφόρες αντλίες χωρίς ζυγοστάθμιση εκτός από την περίπτωση της πτερυγιοφόρου αντλίας μεταβλητής παροχής.

Η πτερυγιοφόρος αντλία γίνεται αντλία μεταβλητής παροχής με την προσθήκη ενός μηχανισμού μεταβολής της σχετικής θέσης του δακτυλίου προς το περιστρεφόμενο τμήμα, ώστε ο κυβισμός των χώρων καταθλίψεως να είναι δυνατόν να μεταβληθεί. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι απλοί χειροκίνητοι, πολυσύνθετοι σερβομηχανισμοί ή μηχανισμοί ελέγχου της παροχής και της πίεσης για εξοικονόμηση ενέργειας. Παρόλα αυτά οι πτερυγιοφόρες αντλίες μεταβλητής παροχής είναι ένας τύπος αντλίας που δεν εφαρμόζεται στα αυτοκινούμενα μηχανήματα.

Όλες οι πτερυγιοφόρες αντλίες σταθερής παροχής που κατασκευάζονται σήμερα είναι υδραυλικά ζυγοσταθμισμένες, όπως αυτή στο σχήμα 36. Στις αντλίες αυτές ο δακτύλιος έχει μορφή έντονα ελλειπτική, ενώ υπάρχουν δύο ζεύγη οπών αναρρόφησης – κατάθλιψης σε αντίθετη διάταξη. Ο σχεδιασμός αυτός εξουδετερώνει τις ακτινικές δυνάμεις καταπονήσεως στο περιστρεφόμενο τμήμα και στους τριβείς και τον άξονα.

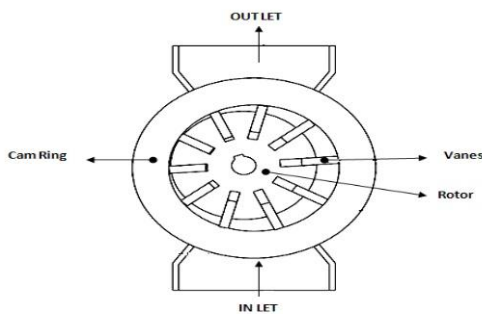
Όλες οι πτερυγιοφόρες αντλίες είναι μηχανήματα εξαιρετικά επιμελημένης κατασκευής. Ο δακτύλιος και το περιστρεφόμενο τμήμα είναι κατασκευασμένα από χρωμονικελιούχο χάλυβα εξαιρετικής ποιότητας. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από ταχυχάλυβα και το κέλυφος από χυτοσίδηρο, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 37. Ο βαθμός ανομοιομορφίας της πτερυγιοφόρου αντλίας είναι σχετικά χαμηλός, ώστε η στάθμη θορύβου να είναι χαμηλή και σε πολλές περιπτώσεις να συγκρίνεται με αυτή της οδοντωτής αντλίας με εσωτερικό οδοντωτό τροχό και μηνίσκο, (60-70 dB στα 210 bar). Ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως της πτερυγιοφόρου αντλίας είναι πολύ ικανοποιητικός.

Οι πτερυγιοφόρες αντλίες επισκευάζονται με εύκολα, με την αλλαγή των ανταλλακτικών που έχουν φθαρεί. Σε όλες τις κατασκευές, η αλλαγή του περιστρεφόμενου εσωτερικού συγκροτήματος είναι θέμα λίγων λεπτών. Μειονεκτήματα τους είναι η ευαισθησία της αναρρόφησης και η ευαισθησία σε κακής ποιότητας ή κατεστραμμένο ορυκτέλαιο. Υπάρχουν πτερυγιοφόρες αντλίες κυλινδρικής ή τετράγωνης μορφής, διπλές ή πολλαπλές, όπως φαίνεται στο σχήμα 38. Υπάρχουν επίσης συνδυασμοί πτερυγιοφόρων αντλιών με ενσωματωμένες βαλβίδες

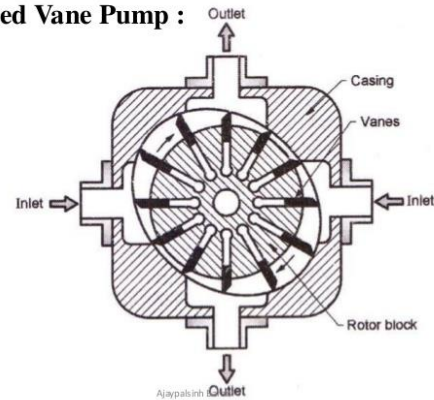
πίεσεως και ροής. Είναι δυνατόν έτσι, να έχουμε μία αντλία συνδυασμών, όπου σε κοινό κέλυφος έχουμε ένα πλήρες σύστημα υψηλής-χαμηλής πίεσης με βαλβίδες ανακουφίσεως και απορρόφησης.

Οι περυγιοφόρες αντλίες κατασκευάζονται σε μεγάλους αριθμούς. Έχουν μεγάλη εφαρμογή στα χωματουργικά μηχανήματα. Υπάρχουν τύποι περυγιοφόρων αντλιών μεγάλης αντοχής και διάρκειας ζωής, ώστε να είναι κατάλληλη επιλογή, για τις δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας, που αντιμετωπίζει ένα χωματουργικό μηχάνημα. Οι περυγιοφόρες αντλίες καλύπτουν μεγάλο φάσμα παροχών και πιέσεων. Επιτυγχάνονται πιέσεις μέχρι 210 bar, παροχές μέχρι 500 lt/min, ενώ οι στροφές μπορούν να ανέλθουν στις 2500 RPM.

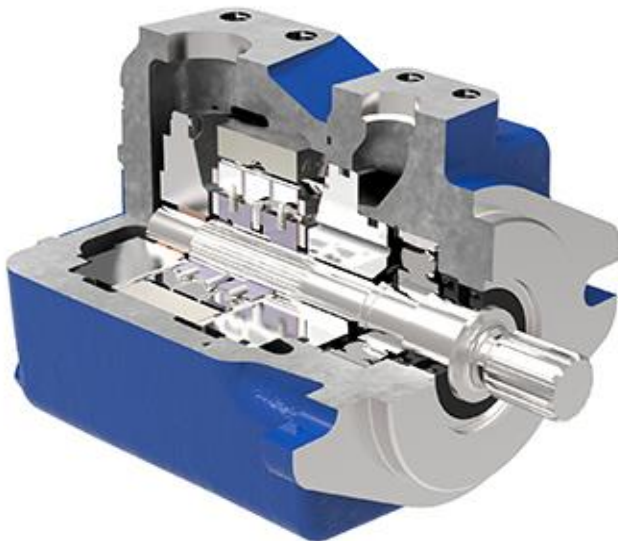
i. Fig. of Unbalanced Vane Pump with Fixed Delivery



Balanced Vane Pump :



Σχήμα 35. Αριστερά, μη ζυγοσταθμισμένη περυγιοφόρος αντλία, Δεξιά, ζυγοσταθμισμένη περυγιοφόρος αντλία. (Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχέδιο 36. Ζυγοσταθμισμένη περυγιοφόρος αντλία VICKERS σε τομή. (Eaton 2020)



Σχήμα 37. Διφορετικοί τύποι μηχανισμών των περυγιοφόρων αντλιών. Επάνω VICKERS, κάτω PARKER DENISON. (Eaton, Parker 2020)



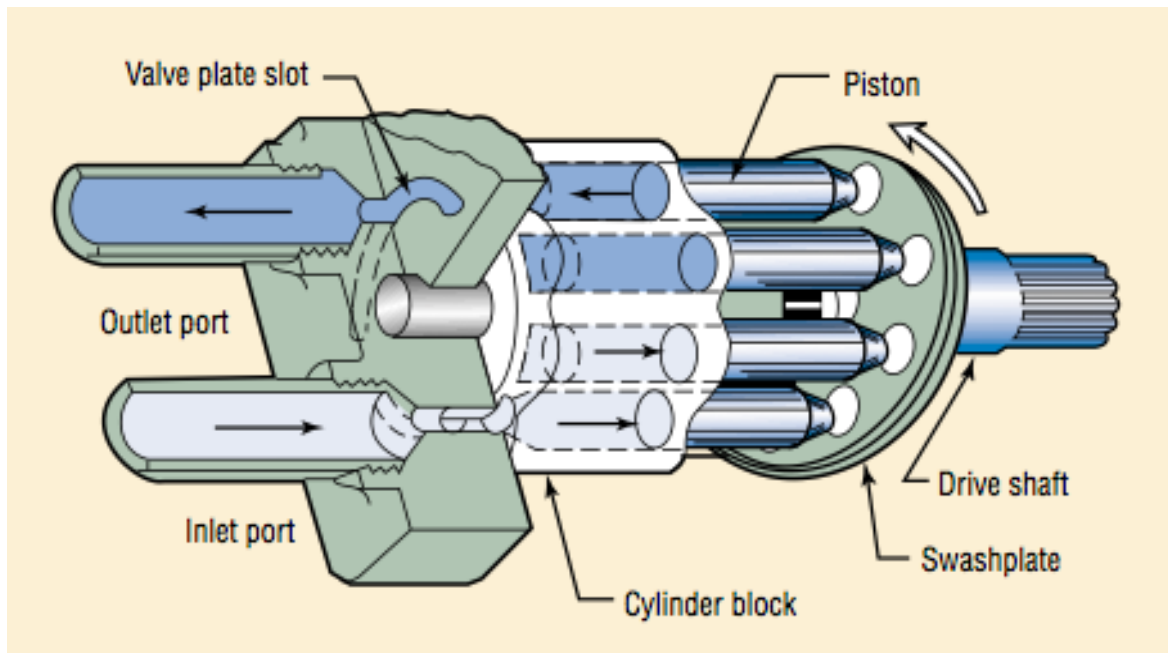
Σχήμα 38. Η PARKER DENISON είναι ένας από τους κορυφαίους κατασκευαστές περυγιοφόρων αντλιών. (Parker 2020)

2.4.4 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ

Η λειτουργία όλων των εμβολοφόρων αντλιών βασίζεται στην αναρρόφηση και κατάθλιψη ρευστού, με παλινδρόμηση ενός εμβόλου μέσα σε ένα κυλινδρικό χώρο. Όλες οι εμβολοφόρες αντλίες είναι σταθερής ή μεταβαλλόμενης παροχής. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες εμβολοφόρων αντλιών αξονικών εμβόλων. Αυτές όπου τα έμβολα εδράζονται σε μία πλάκα υπό κλίση προς τον άξονα και αυτές με τεθλασμένο άξονα. Οι εμβολοφόρες αντλίες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για τις κατασκευές υψηλής ποιότητας, αποδίδουν τις πιο υψηλές πιέσεις, ενώ διαθέτουν τους πιο εκλεπτυσμένους μηχανισμούς μεταβολής της παροχής και έλεγχο με σερβοσύστημα και συστήματα εξοικονόμησης της ενέργειας. Οι εμβολοφόρες αντλίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στις υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης στα χωματουργικά μηχανήματα που λειτουργούν με υψηλές πιέσεις. Οι εμβολοφόρες αντλίες είναι μηχανήματα πολύ λεπτών κατεργασιών και υψηλού κόστους. Τα έμβολα κατασκευάζονται από σκληρό νικελιούχο χάλυβα. Οι μηχανουργικές ανοχές είναι μικρότερες από αυτές των άλλων υδραυλικών αντλιών. Κατασκευάζονται για πιέσεις έως 500 bar , παροχές μέχρι 2500 lt/min και στροφές μέχρι 3000 RPM. (Κωστόπουλος 2020)

2.4.4.1 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΠΛΑΚΑ ΥΠΟ ΚΛΙΣΗ

Στο σχήμα 39 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας μίας εμβολοφόρου αντλίας με υπό κλίση πλάκα. Στις αντλίες αυτές, το περιστρεφόμενο τμήμα, όπου βρίσκονται οι θάλαμοι των εμβόλων, περιστρέφεται περί τον ίδιο άξονα και τα έμβολα παλινδρομούν παράλληλα προς τον άξονα. Η γωνία μεταξύ του άξονα και της υπό κλίση πλάκας προσδιορίζει και τον κυβισμό των θαλάμων των εμβόλων. Καθώς αρχίζει η περιστροφή του άξονα με το προσαρμοσμένο σύστημα θαλάμων (περιστρεφόμενο τμήμα), τα συδεδεμένα με την πλάκα έμβολα αναγκάζονται να παλινδρομήσουν. Οι δίοδοι στην πλάκα εξόδου, που επικοινωνεί με τους θαλάμους, είναι έτσι κατασκευασμένες, ώστε οι θάλαμοι διέρχονται από την έξοδο όταν συμπιέζουν και από την είσοδο όταν αποσύρονται. Είναι φανερό από το σχήμα 40, ότι η χωρητικότητα των θαλάμων αυξάνεται, όσο η γωνία μεταξύ της υπό κλίση πλάκας και του άξονα μειώνεται. Έτσι με αλλαγή της γωνίας αυτής, επιτυγχάνεται η μεταβολή της παροχής της αντλίας. Η μεταβολή της γωνίας άξονα – πλάκας γίνεται με πολλούς τρόπους που καθορίζουν την επιθυμητή κλίση της πλάκας εδράσεως.



Σχέδιο 39. Αντλία αξονικών εμβόλων με πλάκα υπό κλίση. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

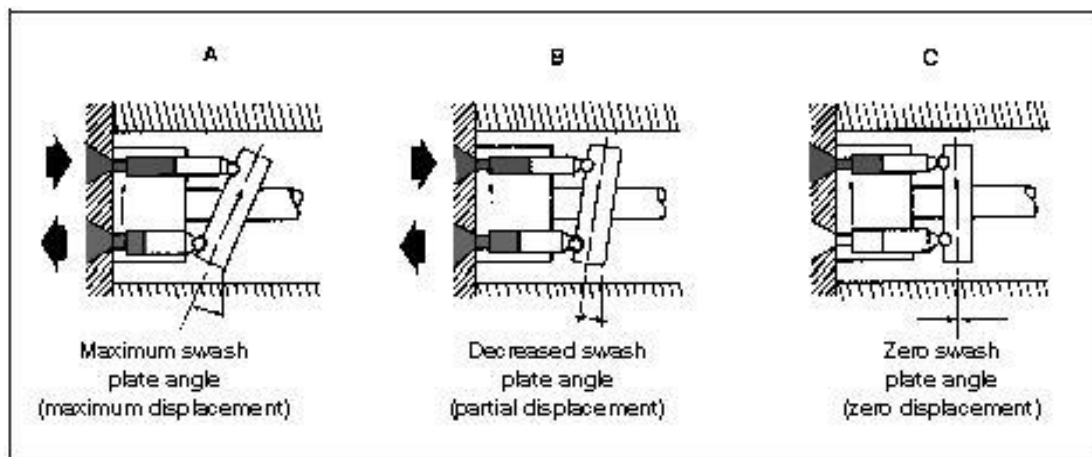
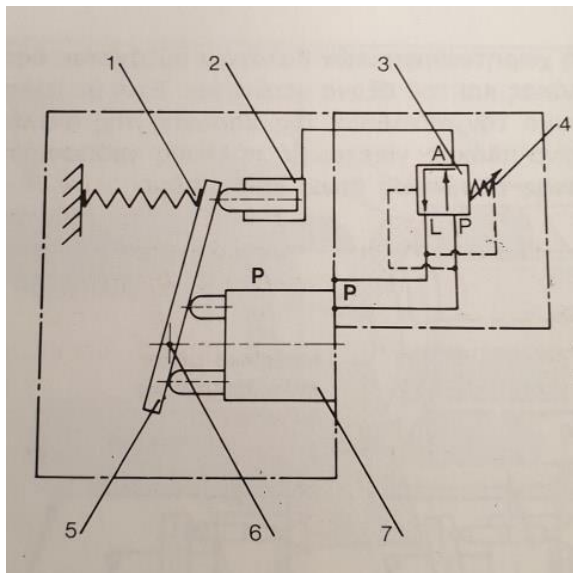


Figure 4-16. Swash plate

Σχήμα 40. Μεταβολή του κυβισμού μίας εμβολοφόρου αντλίας με υπό κλίση πλάκα. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

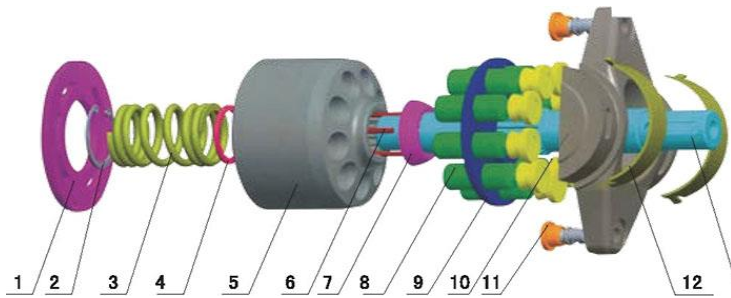
- A. Μέγιστη γωνία της υπό κλίση πλάκας – Μέγιστη παροχή
- B. Ελαττωμένη γωνία της υπό κλίση πλάκας – Μικρότερη παροχή
- Γ. Μηδενική γωνία της υπό κλίση πλάκας – Μηδενική παροχή

Ένας σημαντικός τρόπος μεταβολής της παροχής είναι το σύστημα ισοστάθμισης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 41. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μία βαλβίδα πίεσης, που ισορροπεί μεταξύ της πίεσης του συστήματος και μίας δύναμης ενός ελατηρίου. Η βαλβίδα αυτή ελέγχει ένα εμβόλο, που είναι δυνατόν να κινήσει την υπό κλίση πλάκα, ώστε να ρυθμιστεί η γωνία πλάκας – άξονα. Ένα ελατήριο συγκρατεί την υπό κλίση πλάκα, ώστε χωρίς επενέργεια του εμβόλου 2, η αντλία να εργάζεται υπό πλήρη κυβισμό. Όταν η πίεση της αντλίας υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, η βαλβίδα πίεσης παρέχει πίεση στο άκρο του εμβόλου, ώστε να υπερνικηθεί η δύναμη του ελατηρίου. Όσο μεγαλύτερη γίνεται η πίεση, τόσο μεγαλώνει η γωνία πλάκας – άξονα και τόσο μειώνεται η παροχή της αντλίας. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να δημιουργήσει μία κατάσταση, όπου η αντλία εργάζεται μόνον για να διατηρεί την πίεση που υπάρχει στο κύκλωμα με ελάχιστη παροχή, ίση προς τις ενδεχόμενες εσωτερικές διαρροές. Το σύστημα αυτό είναι μια διάταξη ανταπόκρισης της αντλίας στις απαιτήσεις του κυκλώματος και εμποδίζει την απώλεια ενέργειας, αφού αποφεύγεται η λειτουργία της μέγιστης πίεσης υπό πλήρη ροή. Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται διάφοροι τύποι υδραυλικών εμβολοφόρων αντλιών με υπό κλίση πλάκα, οι οποίες εφαρμόζονται στο μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων. (Editors of Hydraulics and Pneumatics 2020)

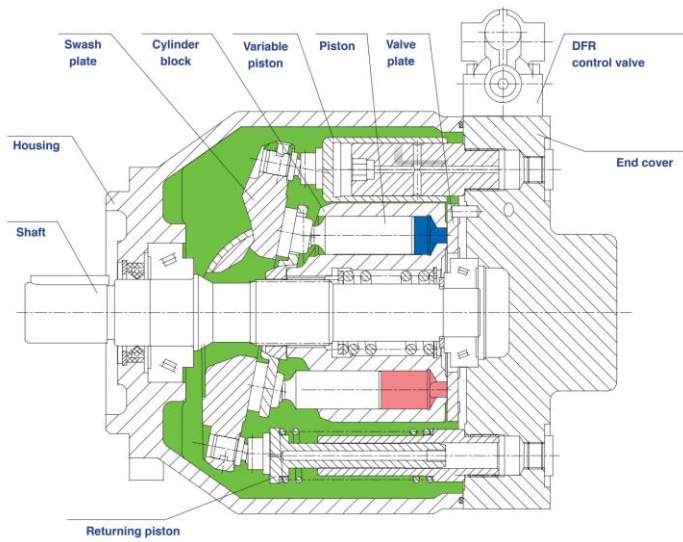


Σχέδιο 41. Μεταβολή της παροχής μίας αντλίας με αυτόματο ισοσταθμιστή πίεσης. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

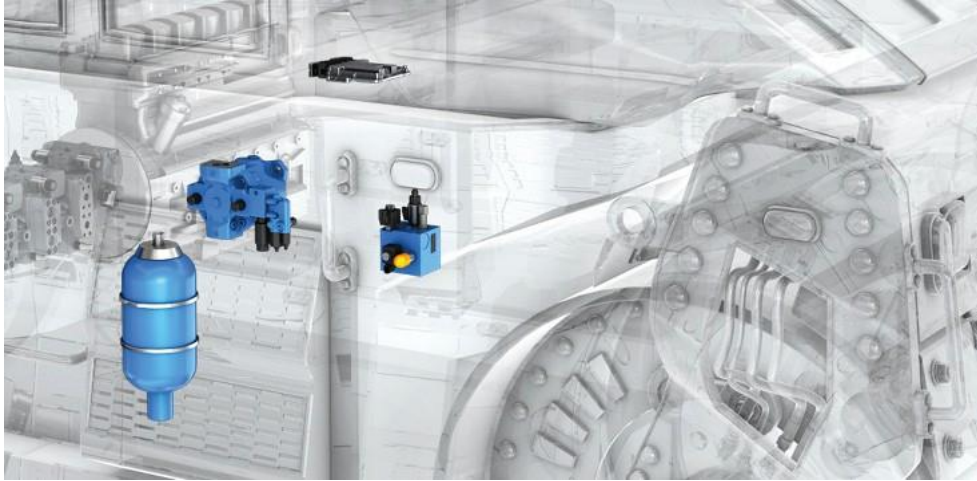
- 1) Ελατήριο, 2) Εμβολίδιο, 3) Βαλβίδα ανακούφισης, 4) Ελατήριο, 5) Πλάκα υπό κλίση,
- 6) Άξονας περιστροφής, 7) Περιστρεφόμενο σώμα κυλίνδρων



Σχέδιο 42. Τομή αντλίας REXROTH σειράς A10VO. (Rexroth 2020)



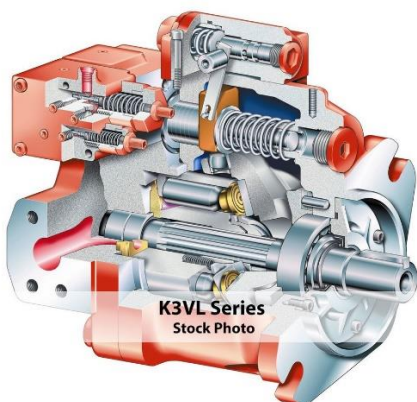
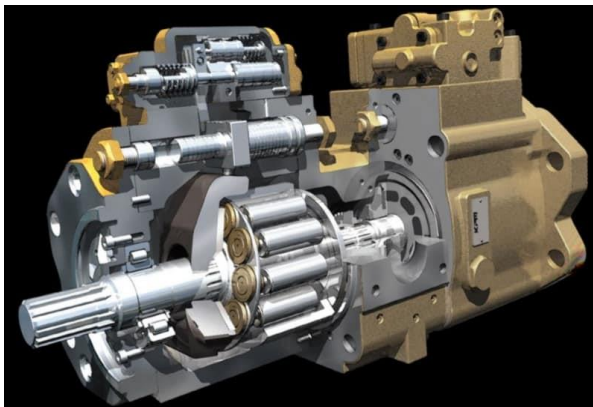
Σχέδιο 43. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εμβολοφόρου αντλίας μεταβλητής παροχής είναι η REXROTH, σειρά A10VO. Μέγιστη πίεση 350 bar. Είναι αντλία ανοικτού κυκλώματος. (Rexroth 2020)



Σχέδιο 44. Εφαρμογή της REXROTH σε οδοστρωτήρα. REXROTH συσσωρευτής, αντλία A10VO και βαλβίδα. (Rexroth 2020)



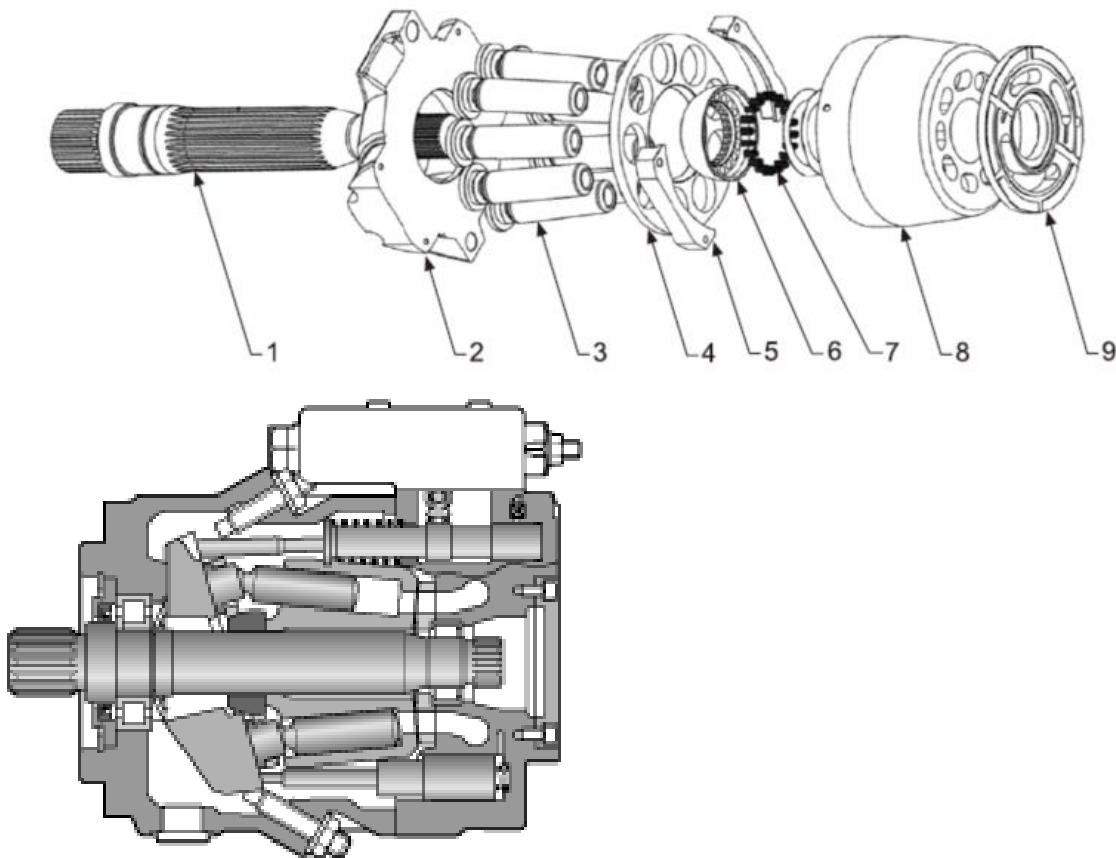
Σχέδιο 45. Διπλή αντλία μεταβλητής παροχής για ερπυστριοφόρο εκσκαφέα KOMATSU PC 350. (Garage ASP 2020)



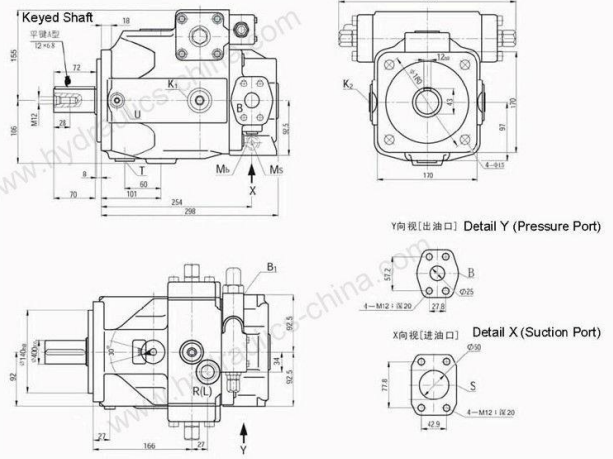
Σχέδιο 46. Διπλή αντλία μεταβλητής παροχής KAWASAKI σειράς K3V. Επίσης μια πολύ συνηθισμένη αντλία για χωματουργικά μηχανήματα. Είναι αντλία ανοικτού κυκλώματος. (Kawasaki 2020)



Σχέδιο 47. Αντλία μεταβλητής παροχής REXROTH σειράς A11VO. Αριστερά το παλιό μοντέλο σειράς 11 και δεξιά το καινούργιο μοντέλο σειράς 40. Το μοντέλο αυτό φθάνει έως και τα 400 bar πίεση. Είναι αντλία ανοικτού κυκλώματος. (Rexroth 2020)



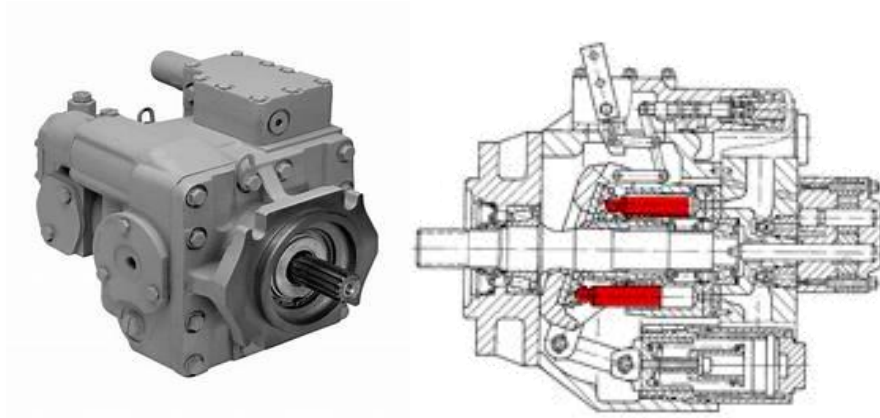
Σχέδιο 48. Σχέδιο αντλίας REXROTH σειράς A11VO. (Rexroth 2020)

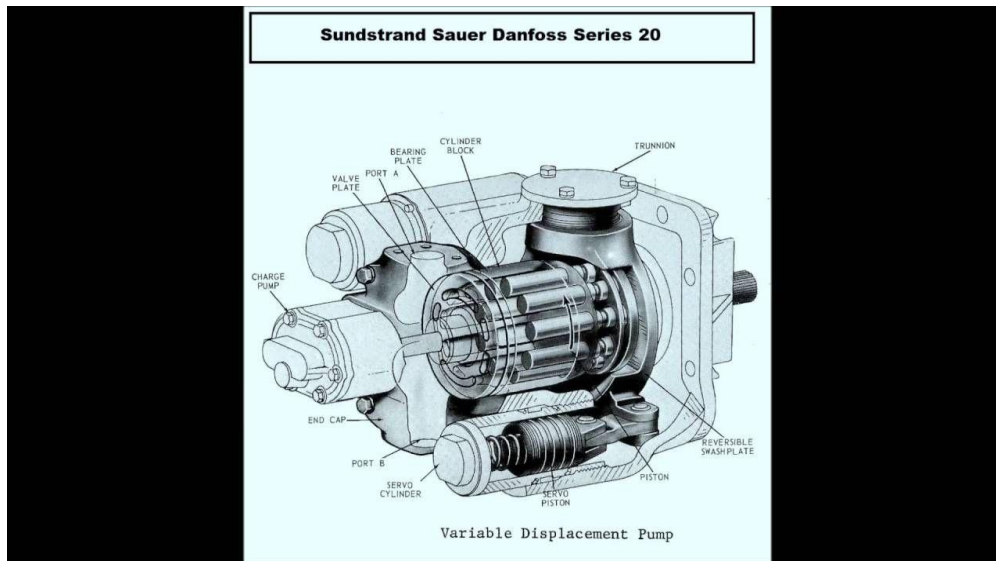


Σχέδιο 49. Αντλία μεταβλητής παροχής REXROTH σειράς A4VSO. Η συγκεκριμένη αντλία χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλες εφαρμογές, όπως είναι οι υδραυλικοί μετωπικοί εκσκαφείς ή οι εκσκαφείς συρόμενου κάδου. Αυτό συμβαίνει, διότι οι αντλίες αυτές φθάνουν μέχρι 1000 κυβικά εκατοστά σε μέγεθος. Είναι αντλία ανοικτού κυκλώματος. Η πίεση της φθάνει τα 400 bar. (Rexroth 2020)



Σχέδιο 50. Αντλία μεταβλητής παροχής REXROTH σειράς A4VG, μία από τις σημαντικότερες, συνηθέστερες και ισχυρότερες αντλίες. Η πίεση της φθάνει και τα 450 bar. Είναι αντλία κλειστού κυκλώματος. (Rexroth 2020)





Σχέδιο 51. Αντλία μεταβλητής παροχής SAUER DANFOSS σειράς SPV. Αρκετά μεγάλη η εφαρμογή της συγκεκριμένης αντλίας στην Ελλάδα. Χρησιμοποιείται σε οχήματα μεταφοράς σκυροδέματος και σε πρέσες σκυροδέματος. Είναι αντλία κλειστού κυκλώματος. (Danfoss 2020)

2.4.4.2 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΕΘΛΑΣΜΕΝΟ ΑΞΟΝΑ

Στις αντλίες τεθλασμένου άξονα -παρουσιάζεται στο σχήμα 52- το περιστρεφόμενο τμήμα των κυλίνδρων περιστρέφεται υπό γωνία ως προς τον κύριο άξονα περιστροφής. Τα έμβολα εδράζονται στον οδηγό άξονα με σφαιρικές εδράσεις και παλινδρομούν καθώς η σχετική θέση τους αλλάζει λόγω περιστροφής. Τα δύο τμήματα του άξονα περιστρέφονται μαζί, αφού είναι σταθερά συνδεδεμένα. (Κωστόπουλος 2020)

Ο κυβισμός της αντλίας μεταβάλλεται ανάλογα με την γωνία που σχηματίζουν τα δύο τμήματα του άξονα. Η γωνία που σχηματίζεται είναι 0° , 12° , 25° , 28° , 30° και 40° . Είναι δυνατή η πλήρης αντιστροφή της ροής της αντλίας. Η μεγάλη πλεονότητα των αντλιών αυτών, είναι σταθερής παροχής – φαίνεται στο σχήμα 55. Ο τρόπος μεταβολής του τεθλασμένου άξονα παροχής της εμβολοφόρου αντλίας και οι μηχανισμοί που τον επιτυγχάνουν παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία. Οι πιο συνηθισμένοι, είναι με λαβή ή τηλεχειριστήριο, ισοστάθμιση πίεσης και σερβοέλεγχο. Στο σχήμα 53 φαίνεται αντλία REXROTH σειράς A8V, αντλία η οποία εφαρμόζεται συχνά σε μηχανήματα οδοποιίας.

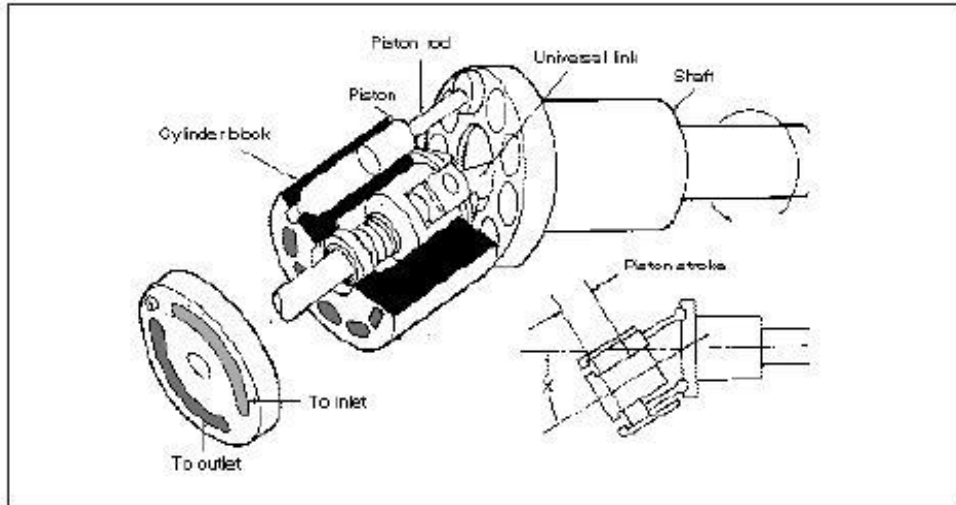
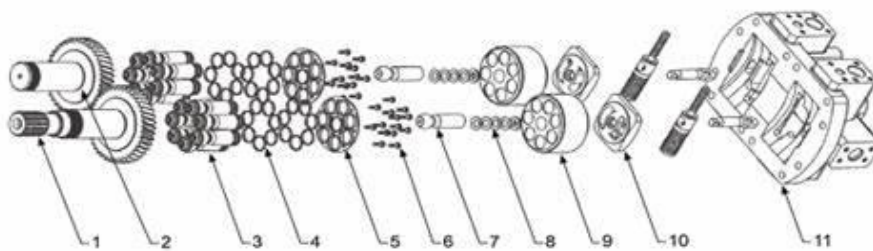


Figure 3-20. Bent-axis axial piston pump

Σχήμα 52. Εμβολοφόρος αντλία τεθλασμένου άξονα. (Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 53. Αντλία μεταβλητής παροχής με τεθλασμένο άξονα REXROTH , σειράς A8V. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι πιθανότατα το συχνότερο που εφαρμόζεται στα χωματουργικά μηχανήματα. Από τα παλαιότερα έως τα πιο σύγχρονα. Φθάνει σε πιέσεις έως 420 bar και είναι αντλία ανοικτού κυκλώματος. Εφαρμογές σε CATERPILLAR 345B και O&K RH16. (Rexroth 2020)

2.4.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ, ΠΙΕΣΗΣ, ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται οι διατάξεις, που συναντώνται ενσωματωμένες σε περυνιοφόρες ή συνηθέστερα εμβολοφόρες αντλίες και ελέγχουν αυτόματα την παρεχόμενη πίεση, παροχή, ροή και ισχύ. Ο ισοσταθμιστής πίεσης είναι μία διάταξη ελέγχου της παροχής. Οι διατάξεις ελέγχου είναι κατά κανόνα προσαρμοσμένες πάνω στις αντλίες και αποτελούνται από αισθητήρια που επενεργούν υδραυλικά ή, σπανιότερα, ηλεκτρικά, σε μία απλή ή αναλογική βαλβίδα, η οποία ελέγχει την λειτουργία της αντλίας.

Οι συνηθέστερες διατάξεις ελέγχου αντλιών είναι οι ακόλουθες:

A) Ισοστάθμιση: Η παροχή μηδενίζεται όταν η πίεση φθάσει σε μία προκαθορισμένη τιμή. Η λειτουργία της αντλίας γίνεται πάνω στην καμπύλη του σχήματος 54α.

B) Η λειτουργία της αντλίας γίνεται πάνω στις καμπύλες του σχήματος 54β, οι πιέσεις επιλέγονται με συμβατική ή αναλογική βαλβίδα πίεσης.

Γ) Ισοστάθμιση πίεσης με υδραυλικό ή ηλεκτρικό έλεγχο ροής. Η λειτουργία της αντλίας γίνεται πάνω στις καμπύλες του σχήματος 54γ. Η ροή επιλέγεται με συμβατική ή αναλογική βαλβίδα πίεσης.

Δ) Ισοστάθμιση πίεσης με υδραυλικό ή ηλεκτρικό έλεγχο της πίεσης και της ροής. Η λειτουργία της αντλίας γίνεται πάνω στις καμπύλες του σχήματος 54δ. Η επιλογή της πίεσης και της ροής γίνεται με συμβατικές ή αναλογικές βαλβίδες.

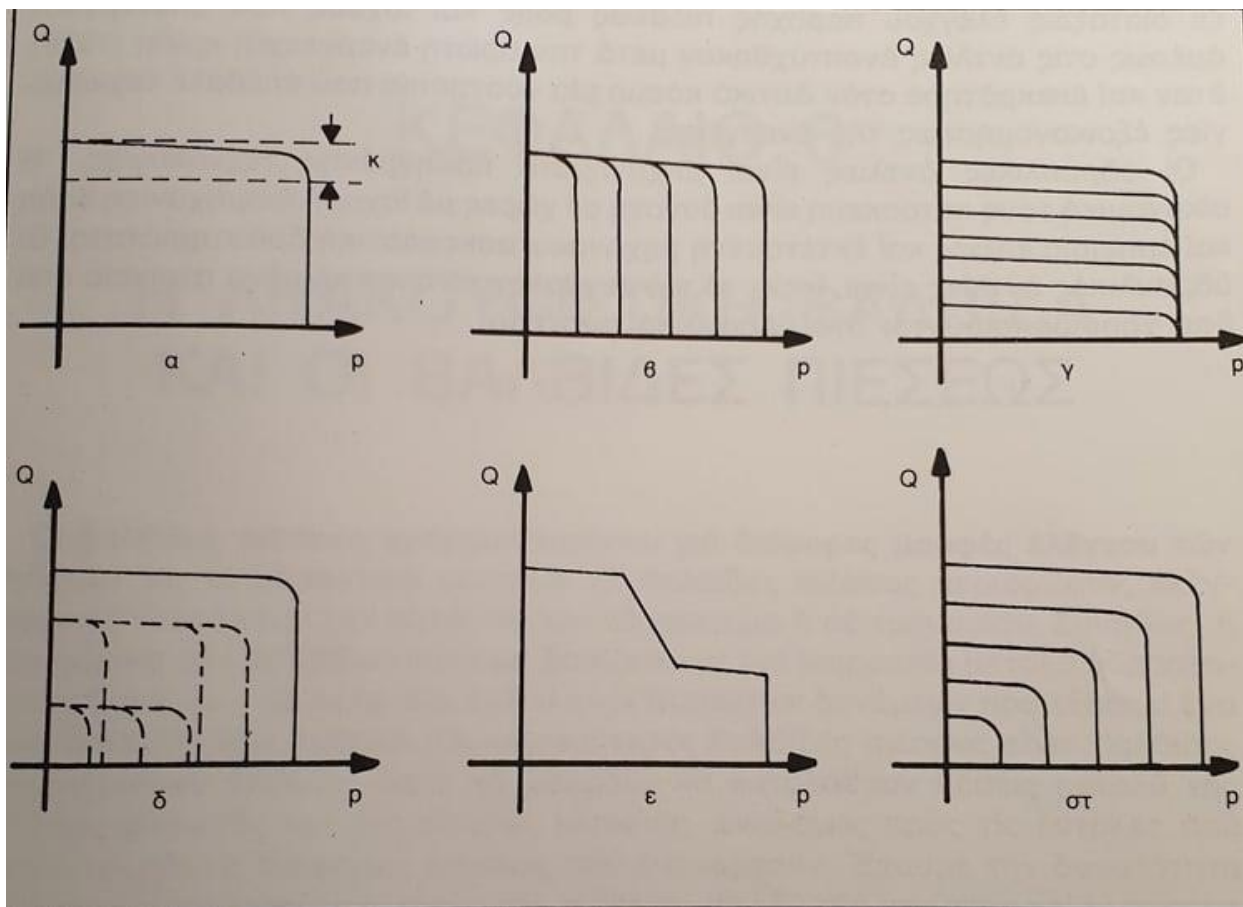
E) Παροχή σταθερής ισχύος. Η λειτουργία της αντλίας γίνεται πάνω στην καμπύλη του σχήματος 54ε.

ΣΤ) Ισοστάθμιση πίεσης με έλεγχο της ροής. Η λειτουργία της αντλίας γίνεται πάνω στην καμπύλη του σχήματος 54στ.

Εκτός από τις αυτόματες διατάξεις ελέγχου, στις οποίες φυσικά μπορεί να εφαρμοστεί ανάδραση, υπάρχει και ποικιλία ελέγχων με τηλεχειρισμό ή με χρήση βαλβίδων εντολής.

Οι διατάξεις ελέγχου παροχής, πίεσης, ροής και ισχύος που επενεργούν αμέσως στις αντλίες αναπτύχθηκαν μετά την πρώτη ενεργειακή κρίση, το 1973, όταν και επικράτησε στο δυτικό κόσμο μια νοοτροπία που επέβαλε τεχνολογίες εξοικονόμησης της ενέργειας.

Οι υδραυλικές αντλίες είναι μηχανήματα προηγμένης τεχνολογίας. Η οικονομική τους κατασκευή είναι δυνατή σε χώρες με ισχυρή βιομηχανική βάση και εμπειρία καθώς και εκτεταμένη μηχανοκατασκευαστική δραστηριότητα. Οι υδραυλικές αντλίες είναι, το πιο τεχνολογικά ανεπτυγμένο στοιχείο από όσα χρησιμοποιούνται στο υδραυλικό σύστημα.



Σχήμα 54. Συνηθέστερες μορφές ελέγχου της λειτουργίας της αντλίας, σε ένα χωματουργικό μηχάνημα. (Η παροχή 'κ' στο σχήμα α και στα υπόλοιπα, αντιπροσωπεύει τις εσωτερικές διαρροές) (Κωστόπουλος 2020)



Σχήμα 55. Εμβολοφόρος αντλία σταθερής παροχής REXORTH A17FO. Χρησιμοποιείται κυρίως σε φορτηγά μεταλλείων, και σε μερικά μοντέλα γερανών. (Rexroth 2020)

2.5 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι υδραυλικοί κινητήρες είναι τα στοιχεία που παρέχουν περιστροφική κίνηση, ώστε ως αποτέλεσμα μίας υδραυλικής δράσης, να έχουμε περιστροφική κίνηση και ροπή στρέψης. Οι περισσότεροι υδραυλικοί κινητήρες είναι παρόμοιοι με τις υδραυλικές αντλίες. Αντί να συμπιέζουν το ρευστό, όπως κάνουν οι αντλίες, δέχονται ρευστό υπό πίεση, το οποίο τους αναγκάζει να περιστρέφονται και να αποδίδουν ροπή στρέψης στον άξονα τους. Οι υδραυλικοί κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σπάνια, ως αντλίες ή αντίστροφα. Οι περισσότεροι υδραυλικοί κινητήρες περιστρέφονται και στις δύο κατευθύνσεις, ενώ οι αποστραγγίσεις τους είναι εξωτερικές. Οι υδραυλικοί κινητήρες χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον κυβισμό τους (χωρητικότητα σε cm^3 ανά πλήρη περιστροφή), την ικανότητα για απόδοση ροπής στρέψεως και την μέγιστη πίεση στην οποία μπορούν να λειτουργήσουν. Οι υδραυλικοί κινητήρες χαρακτηρίζονται, επίσης, ως πολύστροφοι ή βραδύστροφοι. Ως πολύστροφοι χαρακτηρίζονται οι κινητήρες οι οποίοι περιστρέφονται στην περιοχή από 600RPM έως 3000RPM. Είναι δυνατόν να είναι οδοντωτοί, πτερυγιοφόροι, ή εμβολοφόροι. Ως βραδύστροφοι χαρακτηρίζονται οι κινητήρες που περιστρέφονται από κλάσμα της στροφής ανά λεπτό μέχρι 400RPM. Μία ιδιαίτερη ομάδα βραδύστροφων κινητήρων χαρακτηρίζεται ως κινητήρες χαμηλών στροφών – υψηλής ροπής. Οι κινητήρες αυτοί είναι ικανοί να αποδώσουν σταθερά υψηλή ροπή σε πολύ χαμηλές στροφές. Οι βραδύστροφοι κινητήρες είναι συνήθως εμβολοφόροι ή οδοντωτοί, με εσωτερικό οδοντωτό τροχό χωρίς μηνίσκο ή σπανιότερα πτερυγιοφόροι. (Κωστόπουλος 2020, A staff report – Hydraulics and Pneumatics 2020)

Οι υδραυλικοί κινητήρες παρουσιάζουν εξαιρετικά πλεονεκτήματα: έχουν μικρό όγκο σε σχέση με την αποδιδόμενη ισχύ, εκκινούν ακαριαία και αντιστρέφουν την φορά περιστροφής τους χωρίς ουσιαστικό πρόβλημα, έχουν δυνατότητα συνεχούς μεταβολής των στροφών τους και καλύπτουν μεγάλο φάσμα αποδόσεων.

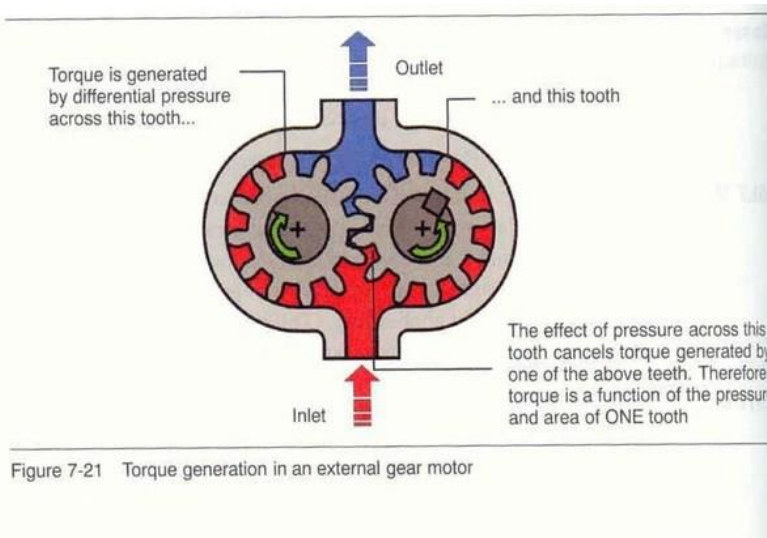
Υπάρχουν κινητήρες σταθερού και μεταβαλλόμενου κυβισμού, όπως οι αντλίες. Οι κινητήρες σταθερού κυβισμού αποδίδουν σταθερή ροπή στρέψης ανάλογη προς την πίεση του ρευστού και οι στροφές τους μεταβάλλονται με την μεταβολή της παροχής. Η απόδοση των κινητήρων μεταβαλλόμενου κυβισμού έχουν μεγάλη απόδοση όσον αφορά την μεταβαλλόμενη ροπή στρέψης, η οποία είναι ανάλογη προς την πίεση του ρευστού και τον κυβισμό του κινητήρα.

2.5.1 ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ένας οδοντωτός κινητήρας αναπτύσσει ροπή στρέψης με την εφαρμογή πίεσης στην επιφάνεια των δοντιών. Βλέποντας το σχήμα 56 φαίνεται πως είναι όμοιας κατασκευής προς την οδοντωτή υδραυλική αντλία. Αποτελείται από δύο οδοντωτούς τροχούς οι οποίοι συμπλέκονται και περιστρέφονται μαζί. Ο ένας μόνο από τους δύο τροχούς είναι συνδεδεμένος με τον άξονα του κινητήρα. Η φορά περιστροφής είναι αντιστρέψιμη με την αντιστροφή της παροχής του ρευστού.

Ο κυβισμός του κινητήρα είναι σταθερός και ισούται με τον όγκο που εγκλωβίζεται μεταξύ των δοντιών και των τοιχωμάτων του κινητήρα. (Κωστόπουλος 2020)

Η διαφορά πιέσεων στην είσοδο και την έξοδο προκαλεί μία ασυμμετρία στην φόρτιση του κινητήρα. Υπάρχουν ζυγοσταθμισμένοι τύποι κινητήρων. Οι οδοντωτοί κινητήρες κατασκευάζονται για πιέσεις μέχρι 200 bar, στροφές από 750 έως 4000 RPM και κυβισμό μέχρι $75 \text{ cm}^3/\text{Rev}$. Είναι δηλαδή πολύστροφοι κινητήρες. Είναι απλής κατασκευής και ανθεκτικοί στην ποιότητα του ρευστού. Ωστόσο, παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό απόδοσης.



Σχήμα 56. Ανάπτυξη της ροπής στρέψης και λειτουργία οδοντωτού υδραυλικού κινητήρα. (IDC 2020)



Σχήμα 57. Οδοντωτοί υδραυλικοί κινητήρες. Εμφανισιακά οι διαφορές είναι ελάχιστες με τις οδοντωτές υδραυλικές αντλίες. (Casappa 2020)

2.5.2 ΠΤΕΡΥΓΙΟΦΟΡΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Η ροπή στρέψης των πτερυγιοφόρων κινητήρων αναπτύσσεται με την εφαρμογή της πίεσης του ρευστού στην μία επιφάνεια των πτερυγίων. Η κατασκευή είναι ίδια με την κατασκευή της πτερυγιοφόρου αντλίας. Τα πτερύγια κινούνται ελεύθερα στις υποδοχές του περιστρεφόμενου τμήματος και εφάπτονται στην εσωτερική επιφάνεια του δακτυλίου. Η επαφή είναι τέτοια ώστε η πίεση συγκρατείται στους χώρους που δημιουργούνται. Η επαφή αυτή εξασφαλίζεται με την βοήθεια ελατηρίων, τα οποία ωθούν τα πτερύγια συνεχώς προς τα έξω. Κατά την λειτουργία, η πίεση βοηθά τα ελατήρια. Στο σχήμα 58 φαίνεται η μορφή και η λειτουργία ενός ζυγοσταθμισμένου πτερυγιοφόρου κινητήρα. Το περιστρεφόμενο τμήμα περικλείεται από την εσωτερική επιφάνεια του δακτυλίου, το σώμα του κινητήρα και την πλάκα πίεσης. Οι πτερυγιοφόροι υδραυλικοί κινητήρες κατασκευάζονται για πιέσεις μέχρι 200 bar, στροφές από 0 έως 400 RPM ή από 300 έως 3000 RPM και κυβισμό ποικίλο που μπορεί να φθάσει μέχρι 1500 cm³/Rev. Οι πτερυγιοφόροι κινητήρες κατασκευάζονται δηλαδή και σε βραδύστροφο και σε πολύστροφο τύπο. Παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή και πολύ καλό ογκομετρικό βαθμό απόδοσης. (Hydes 2020, Modern Hydraulics)

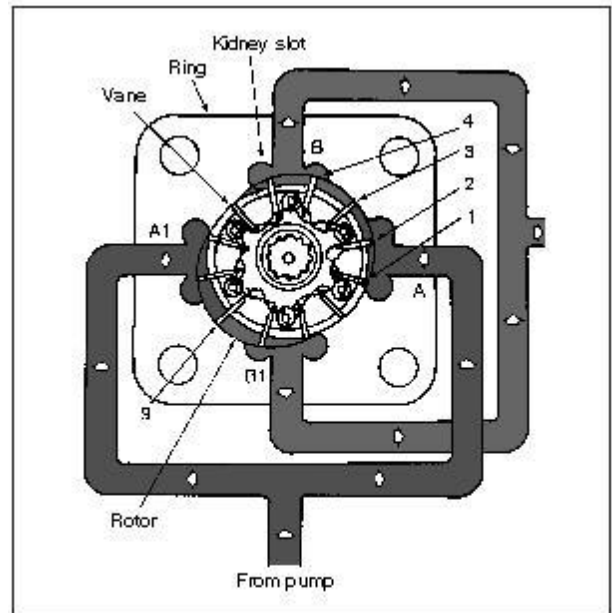


Figure 4-13. Flow condition in a vane-type pump

Σχήμα 58. Αριστερά, πτερυγιοφόρος υδραυλικός κινητήρας. Δεξιά, Ανάπτυξη ροπής στρέψης με την εξάσκηση πίεσης στα πτερύγια ενός πτερυγιοφόρου κινητήρα. Α) Το πτερύγιο αυτό υπόκειται σε υψηλή πίεση στην πλευρά εισόδου και χαμηλή στην αντίθετη πλευρά. Β) Η δύναμη που αναπτύσσεται στο πτερύγιο δημιουργεί ροπή στον άξονα του κινητήρα. Γ) Η είσοδος συνδέεται με τους δύο αντίθετους δρόμους της πίεσης, ώστε τα ακτινικά φορτία στο περιστρεφόμενο τμήμα να αλληλοεξουδετερώνονται. (Eaton, Hydraulics and Pneumatics 2020)

2.5.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ

Η κατασκευή των κινητήρων αυτών είναι πανομοιότυπη προς την κατασκευή των εμβολοφόρων αξονικών αντλιών. Ο άξονας του κινητήρα και οι άξονες των εμβόλων είναι παράλληλοι, ενώ η πίεση στα άκρα των εμβόλων δημιουργεί μία δύναμη αντίστασης στην υπό κλίση πλάκα. Η αντίσταση αυτή περιστρέφει τον άξονα και δημιουργεί την ροπή στρέψης, η οποία είναι ανάλογη προς την επιφάνεια των κεφαλών των εμβόλων και συνάρτηση της γωνίας της υπό κλίση πλάκας προς τον άξονα.

Όπως και οι αντλίες, οι κινητήρες αυτοί έχουν την δυνατότητα μεταβολής του κυβισμού τους, με μεταβολή της γωνίας που σχηματίζει η υπό κλίση πλάκα προς τον άξονα, όπως φαίνεται στα σχήματα 59 και 60. Αύξηση της γωνίας αυτής, σημαίνει μείωση του κυβισμού, αύξηση της ροπής στρέψης και αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Αντιστρόφως, ελάττωση της γωνίας σημαίνει αύξηση του κυβισμού, αλλά ελάττωση της ροπής και μείωση της ταχύτητας περιστροφής.

Όπως και στις αντλίες, οι κινητήρες αξονικών εμβόλων είναι δυνατόν να μεταβάλλουν τον κυβισμό τους με πολλούς τρόπους. Μια σημαντική μέθοδος μεταβολής του κυβισμού είναι αυτή με σύστημα ισοστάθμισης με πίεση. Ένα έμβολο που συγκρατείται από ένα ελατήριο συνδέεται μηχανικά με την υπό κλίση πλάκα και μεταβάλλει την κλίση της, ανταποκρινόμενο στις μεταβολές της πίεσης λειτουργίας του συστήματος. Κάθε αύξηση του φορτίου του κινητήρα, συνοδεύεται με αύξηση της πίεσης, που είναι βέβαια αποτέλεσμα της αύξησης της ροπής στρέψης. Ο ισοσταθμιστής με πίεση επενεργεί έτσι, ώστε η ροπή στρέψης του κινητήρα αυξάνει, όταν αντιμετωπίζει ένα μεγάλο φορτίο και ελαττώνεται, όταν ο κινητήρας αντιμετωπίζει ένα μικρό φορτίο. (A staff report, Hydraulics and Pneumatics 2020)

Οι κινητήρες αξονικών εμβόλων κατασκευάζονται και με την μορφή του τεθλασμένου άξονα. Η κατασκευή αυτή είναι εντελώς παρόμοια με την κατασκευή της αντλίας αξονικών εμβόλων και τεθλασμένου άξονα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία μεγεθών.

Ορισμένες κατασκευές υδραυλικών κινητήρων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και ως αντλίες ή αντιστρόφως. Ωστόσο, η μεγάλη πλειονότητα των κατασκευών είναι μελετημένες για συγκεκριμένες χρήσεις, και είναι συχνά άστοχη η χρήση αντλιών ή κινητήρων χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη οι οδηγίες του κατασκευαστή. Παρακάτω παρουσιάζονται διάφοροι τύποι υδραυλικών κινητήρων αξονικών εμβόλων, που έχουν άμεση εφαρμογή στο μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων.

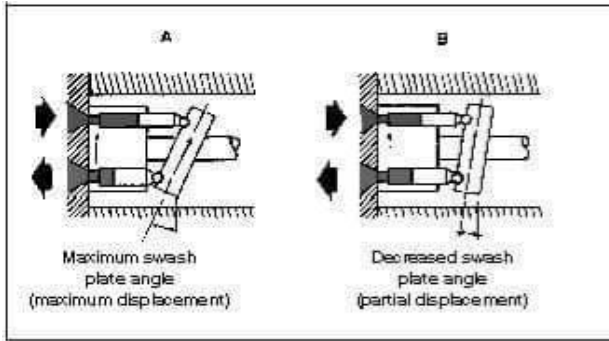
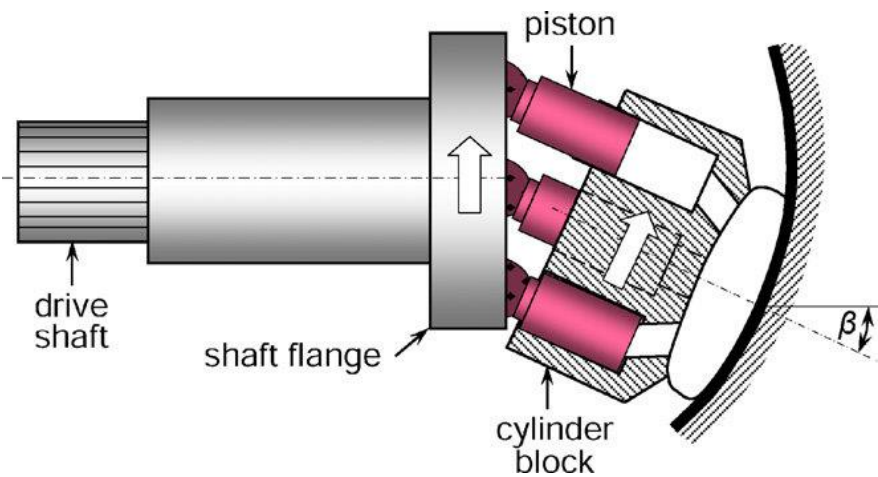


Figure 4-16. Swash plate

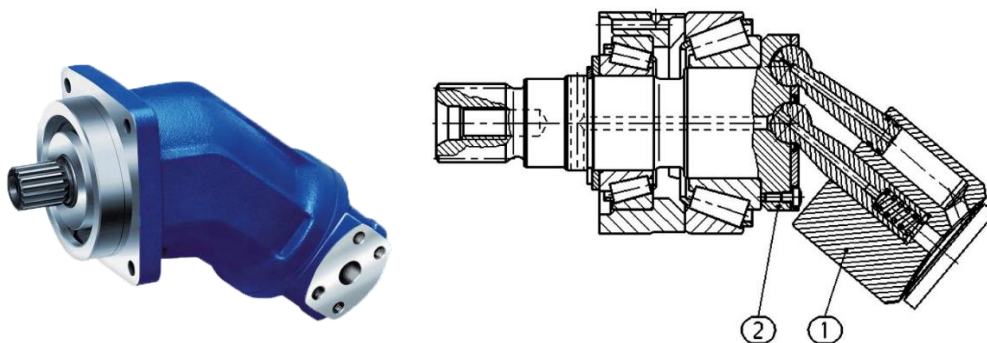
Σχήμα 59. Λειτουργία κινητήρα αξονικών εμβόλων. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

A. Μέγιστη γωνία πλάκας προς τον άξονα και μέγιστη αποδιδόμενη ροπή.

B. Ελάχιστη γωνία πλάκας προς τον άξονα και ελάχιστη αποδιδόμενη ροπή.



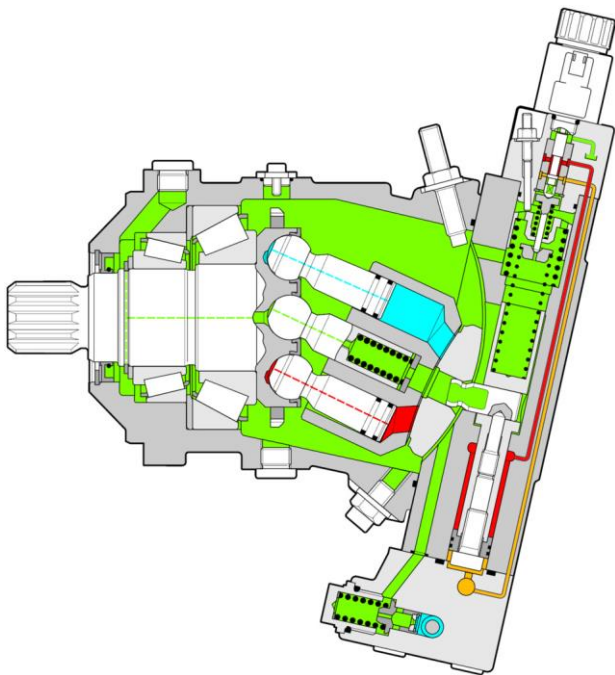
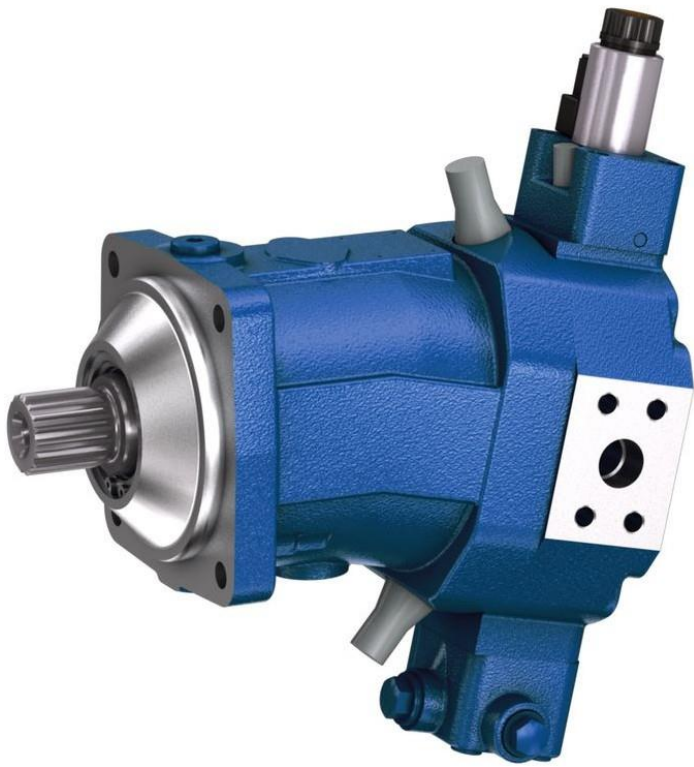
Σχήμα 60. Υδραυλικός κινητήρας τεθλασμένου άξονα. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

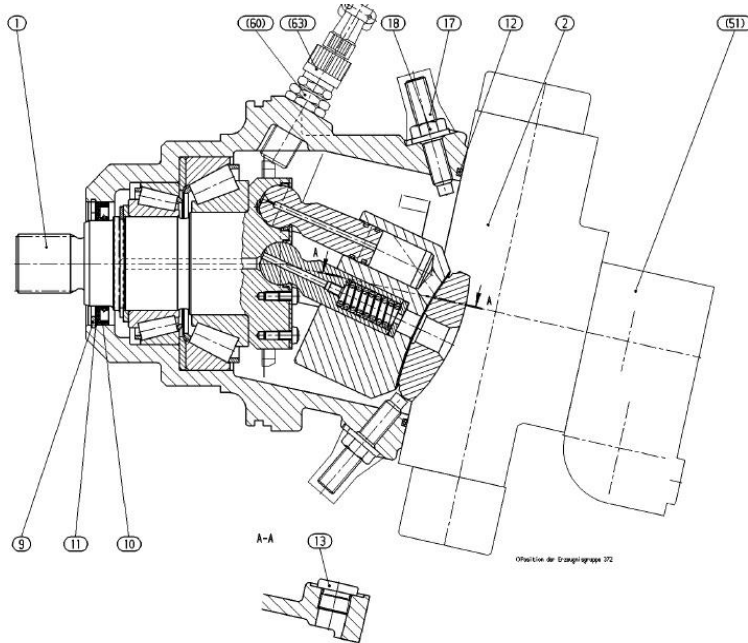
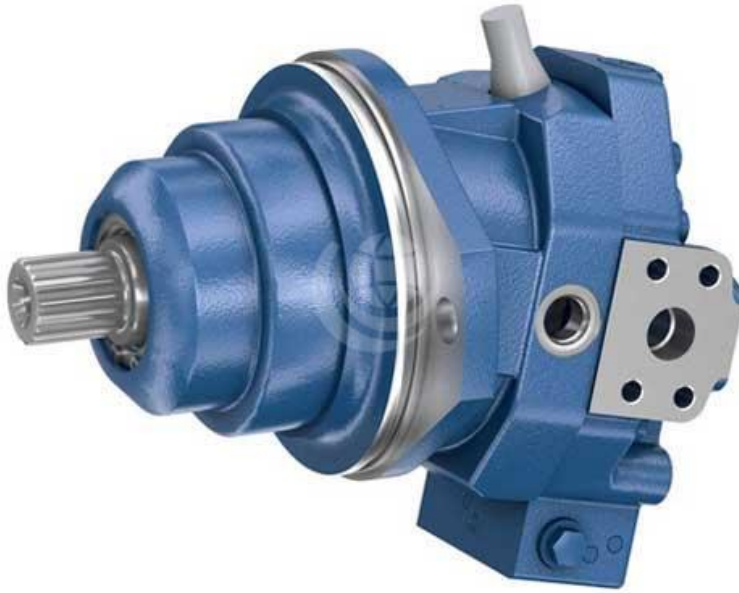


Σχήμα 61. Υδραυλικός κινητήρας τεθλασμένου άξονα σταθερής παροχής REXROTH σειράς A2FM. Εφαρμόζεται σε ερπυστριοφόρους εκσκαφείς για κίνηση του εκσκαφέα. (Rexroth 2020)



Σχήμα 62. Σε ειδικές περιπτώσεις ο παραπάνω κινητήρας εφαρμόζεται και σε γερανούς ξηράς πολύ μεγάλου μεγέθους, όπου σε συνδυασμό με κάποιο μειωτήρα χρησιμοποιείται για την άρση μεγάλων βαρών. Στην φωτογραφία: γερανός LIEBHERR LR 1300, δυναμικότητας 330 τόννων. (Liebherr 2020)





Σχήμα 63. Επάνω , υδραυλικός κινητήρας τεθλασμένου άξονα μεταβλητής παροχής REXROTH σειράς A6VM. Κάτω, υδραυλικός κινητήρας τεθλασμένου άξονα μεταβλητής παροχής REXROTH σειράς A6VE. Η λειτουργία των δυο συγκεκριμένων τύπων είναι ακριβώς ίδια. Πρόκειται για τον ίδιο κινητήρα, η διαφορά είναι εξωτερική. Οι υδραυλικοί κινητήρες σειράς A6VE είναι κινητήρες πορείας σε ερπυστριοφόρους εκσκαφείς. (Rexroth 2020)



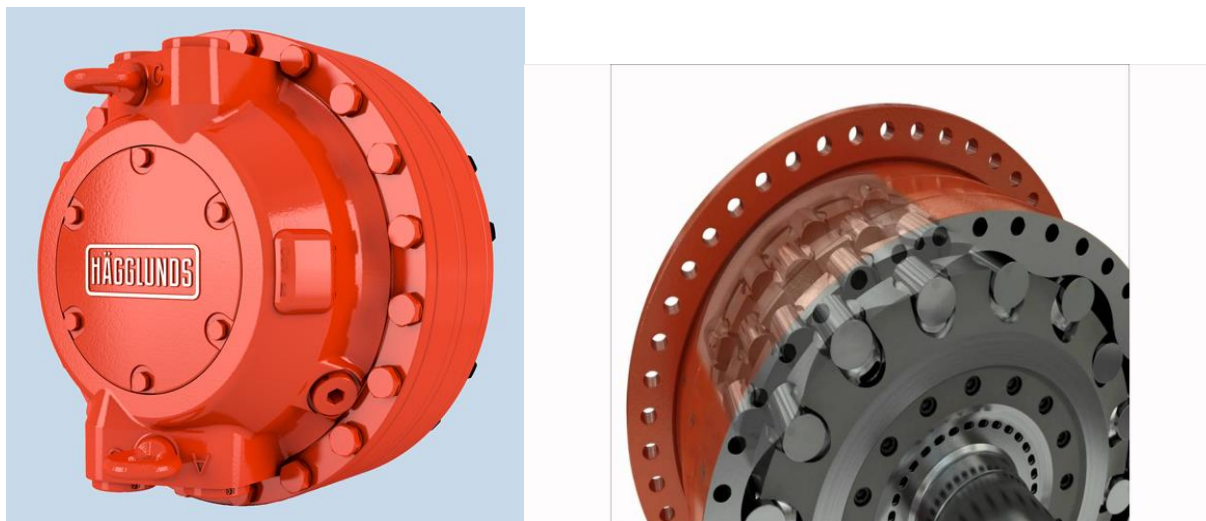
Σχήμα 64. Κινητήρας πορείας KAYABA MAG 33V μεταβλητής παροχής με υπό κλίση πλάκα μαζί με μειωτήρα που εφαρμόζεται σε μοντέλα της HITACHI, της DOOSAN και άλλων. (Kayaba 2020)

2.5.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΚΤΙΝΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ

Οι κινητήρες αυτοί διαθέτουν έμβολα τα οποία παλινδρομούν δεχόμενα ρευστό υπό πίεση. Η διάταξη των εμβόλων είναι ακτινική. Οι συγκεκριμένοι κινητήρες διαθέτουν ένα ρότορα που έχει γύρω του έμβολα τα οποία παλινδρομούν και εφάπτονται σε ένα δαχτυλίδι δημιουργώντας πίεση και κίνηση. Χαρακτηριστικοί κινητήρες είναι οι POCLAIN του σχήματος 65. Κατασκευάζονται για πιέσεις μέχρι 350 bar για στροφές από 0 έως 600 RPM και με κυβισμούς μέχρι 7000 m³/Rev.



Σχήμα 65. POCLAIN κινητήρες. Αριστερά κινητήρας πορείας ακτινικών εμβόλων σειράς MS και δεξιά κινητήρας περιστροφής ακτινικών εμβόλων σειράς MZ. Εφαρμόζονται σε POCLAIN, CATERPILLAR και άλλους εκσκαφείς. (Poclain 2020)



Σχήμα 66. Οι υδραυλικοί κινητήρες ακτινικών εμβόλων HAGGLUNDS είναι κινητήρες με ποικίλες εφαρμογές. Όσον αφορά στα μεταλλεία και στα τεχνικά έργα, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι αναβάθμισης των μετωπικών και καδοφόρων εκσκαφών στα μεταλλεία (Rexroth 2020)

2.6 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ

Οι υδραυλικοί κύλινδροι στον χωματουργικό εξοπλισμό είναι τα στοιχεία που παρέχουν γραμμική κίνηση, με την έννοια ότι σαν αποτέλεσμα μίας υδραυλικής δράσης, έχουμε ευθύγραμμη κίνηση και εφαρμογή δύναμης. Οι υδραυλικοί κύλινδροι χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Τους κύλινδρους απλής ενέργειας και διπλής ενέργειας. Στα χωματουργικά μηχανήματα χρησιμοποιούνται κύλινδροι διπλής ενέργειας.

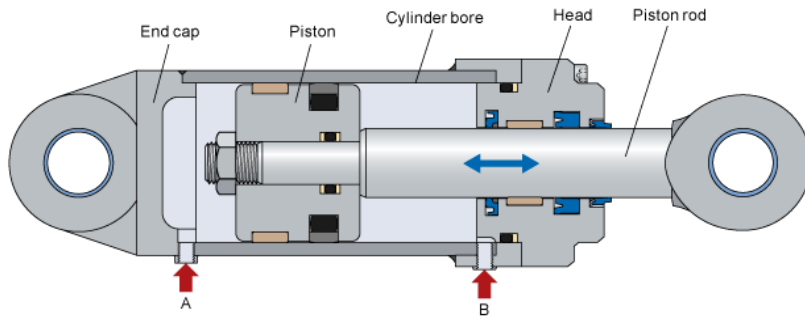
2.6.1 ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας δέχονται ρευστό και από τις δύο πλευρές τους και μπορούν να δράσουν σε κάθε κατεύθυνση τους. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή υδραυλικού κυλίνδρου. Χαρακτηριστικό των κυλίνδρων αυτών, είναι η κεφαλή του εμβόλου η οποία παρουσιάζει άνισες επιφάνειες και στις δύο πλευρές, αν και μόνο η μία πλευρά είναι μικρότερη σε επιφάνεια λόγω της παρουσίας του βάκτρου. Ομοίως, τα άκρα των κυλίνδρων παρουσιάζουν διαφορετικούς κυβισμούς. Το αποτέλεσμα είναι ότι κατά την παλινδρόμηση του κυλίνδρου εξασκούνται διαφορετικές δυνάμεις λόγω πίεσης του ρευστού, ενώ η ταχύτητα του κυλίνδρου κατά την μπροστινή κίνηση είναι μικρότερη από την ταχύτητα επιστροφής, αν και η παροχή ρευστού είναι η ίδια. Στην περίπτωση όπου το χαρακτηριστικό αυτό είναι μειονέκτημα, χρησιμοποιούνται κύλινδροι με διαμπερές βάκτρο, ώστε οι δύο επιφάνειες του εμβόλου και οι όγκοι των δύο πλευρών του να είναι ίσοι. (Steve Cavera, Hydraulics and Pneumatics 2020)

Ένας κύλινδρος αποτελείται από το σώμα, το έμβολο, το βάκτρο, τα παράπλευρα καλύμματα και τους δακτυλίους στεγανότητας, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 67. Οι κύλινδροι κατασκευάζονται από χαλύβδινο σωλήνα χωρίς ραφή με μηχανουργική κατεργασία ακρίβειας στο εσωτερικό τους. Το έμβολο, συνήθως χυτοσίδηρο ή χαλύβδινο, διαθέτει δακτυλίους στεγανότητας, ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα της υπό πίεση πλευράς. Το βάκτρο αποτελείται από χαλύβδινο επιχρωμιωμένο άξονα. Οι οπές του κυλίνδρου βρίσκονται στα παράπλευρα καλύμματα, τα οποία προσαρμόζονται στο σώμα ή κοχλιώνονται μεταξύ τους.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι έδρασης των κυλίνδρων, ανάλογα με την κατασκευή του τελικού χωματουργικού μηχανήματος. Τα άκρα των βάκτρων είναι συνήθως κοχλιωμένα έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμοσθούν προς την διάταξη του φορτίου. Οι κύλινδροι επιλέγονται ανάλογα με τις απαιτούμενες πιέσεις, δυνάμεις και ταχύτητες. Συνήθως είναι τυποποιημένοι, αλλά η ποικιλία των εφαρμογών στα διαφορετικά μηχανήματα επιβάλλει συχνά την κατασκευή κυλίνδρων ειδικού σκοπού. Υδραυλικοί κύλινδροι σε διάφορα μηχανήματα φαίνονται στα σχήματα 68, 69 και 70.

Εκτός από τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν, οι κύλινδροι μπορούν να κατασκευασθούν και με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως με δακτυλίους στεγανότητας κατάλληλους για μεγάλη συχνότητα παλινδρομήσεων ή με διατάξεις για επιβράδυνση της κίνησης κατά το τέλος της κίνησης, καθώς και με ειδικές διατάξεις για την αντιμετώπιση ακτινικών φορτίων.



Σχήμα 67. Κύλινδρος διπλής ενέργειας. Παρατηρούνται τα εξής:

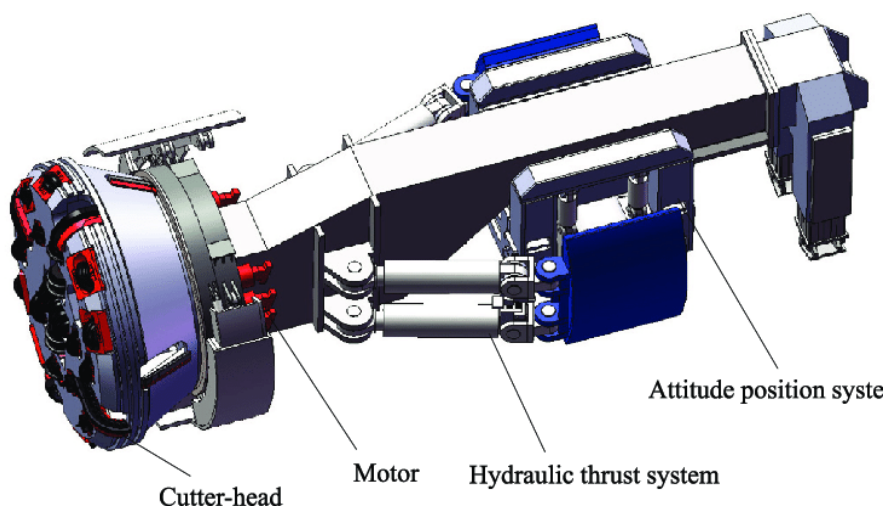
- A) Κεφαλή
 - B) Δίοδος για εξαέρωση
 - Γ) Δακτύλιος απόσβεσης
 - Δ) Δακτύλιος στεγανότητας
 - E) Δακτύλιος καθαρισμού
 - ΣΤ) Σώμα του υδραυλικού κυλίνδρου
 - Z) Κεφαλή εμβόλου
 - H) Έμβολο
- (Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 68. Υδραυλικοί κύλινδροι σε έναν ελαστικοφόρο φορτωτή. Στην φωτογραφία φαίνεται και η δεξαμενή λαδιού. (Caterpillar 2020)



Σχήμα 69. Σύνολο υδραυλικών κυλίνδρων και συσσωρευτών σε φορτηγό μεταλλείων. (Caterpillar 2020)



Σχήμα 70. Υδραυλικοί κύλινδροι στο σύστημα ώθησης ενός TBM, καθώς και υδραυλικοί κινητήρες για την περιστροφή της διατρητικής κεφαλής. (Research Gate 2020)

2.7 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ

Οι βαλβίδες πίεσης χρησιμοποιούνται για διάφορες μορφές ελέγχου των πιέσεων στο υδραυλικό σύστημα χωματουργικών μηχανημάτων.

2.7.1 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ

Οι βαλβίδες πίεσης περιορίζουν, ελέγχουν και διανέμουν την πίεση σε όλο το σύστημα ή σε τμήματα του. Συνήθως, η λειτουργία των βαλβίδων πίεσης βασίζεται σε μία ισορροπία μεταξύ υδροστατικών δυνάμεων πάνω σε ένα έμβολο και αντίθετων δυνάμεων που εξασκεί ένα ελατήριο στο ίδιο έμβολο. Οι περισσότερες βαλβίδες πίεσης είναι βαλβίδες απεριόριστων θέσεων, ώστε να μπορούν να καταλάβουν θέσεις μεταξύ της πλήρως ανοικτής και της πλήρως κλειστής, αναλόγως προς τις εντολές που δέχονται και τις διαφορές πίεσης που επενεργούν. Υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης απεριόριστων τιμών της πίεσης μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης πίεσης. (Κωστόπουλος 2020)

2.7.1.1 Η ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ

Ανακουφιστική είναι η βαλβίδα η οποία ρυθμίζει την πίεση που επικρατεί σε ολόκληρο το υδραυλικό σύστημα. Είναι η πιο κοινή βαλβίδα πίεσης. Είναι μία βαλβίδα που κανονικά είναι κλειστή και διαθέτει δύο οπές, μία προς την γραμμή πίεσης και μία προς τη δεξαμενή. Η απλή μορφή της ανακουφιστικής βαλβίδας αποτελείται από ένα σφαιρίδιο ή κωνικό έμβολο, που συγκρατείται από ένα σκληρό ελατήριο, ενώ ταυτόχρονα φράζει μία δίοδο – παρουσιάζεται στα σχήματα 71 και 72. Όταν η πίεση στην είσοδο της βαλβίδας είναι χαμηλή, για να υπερνικήσει την δύναμη που αναπτύσσει το ελατήριο, η βαλβίδα παραμένει εντελώς κλειστή.

Όταν επιτευχθεί στο κύκλωμα η πίεση που έχει ρυθμιστεί μέσω του ελατηρίου, το έμβολο υποχρεώνεται να υποχωρήσει και τμήμα του ρευστού διαρρέει μέσω της βαλβίδας προς τη δεξαμενή. Η διαρροή ρευστού προς την δεξαμενή συνεχίζεται μέσω της βαλβίδας, όσο η πίεση παραμένει πάνω από την ρύθμιση της βαλβίδας και μάλιστα αυξάνει, τόσο περισσότερο, όσο η πίεση είναι υψηλότερη, αφού τότε, το ελατήριο θα υποχωρήσει περισσότερο και μία μεγαλύτερη δίοδος θα απελευθερωθεί. Με την αποφόρτιση μικρού τμήματος της ροής προς τη δεξαμενή, η πίεση περιορίζεται στα επίπεδα της ρύθμισης. Η αποφόρτιση γίνεται υπό πίεση και η ενέργεια του ρευστού μετατρέπεται σε θερμότητα. Οι ανακουφιστικές βαλβίδες διαθέτουν μία διάταξη αυξομείωσης της τάσης του ελατηρίου με κοχλία, έτσι ώστε, η βαλβίδα να μπορεί να ρυθμισθεί για να ανοίγει σε κάθε επιθυμητή πίεση μέσα στην περιοχή ρύθμισης της. (Hydraulics pneumatics 2020)

Η πίεση στην οποία η ανακουφιστική βαλβίδα αρχίζει να κατευθύνει ροή προς την δεξαμενή ονομάζεται πίεση ανοίγματος. Με την αύξηση της πίεσης έχουμε διεύρυνση του ανοίγματος

διαρροής και αύξηση της διαρροής. Επειδή το ελατήριο, καθώς συμπιέζεται, εξασκεί διαφορετική δύναμη, είναι δυνατόν να φτάσουμε σε μία κατάσταση, όπου η πίεση του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη από την πίεση ανοίγματος. Η διαφορά αυτή των πιέσεων ονομάζεται πίεση υπερκεράσεως. Η εμφάνιση της πίεσης υπερκεράσεως είναι ένα μειονέκτημα, αφού έτσι δεν είναι δυνατή η ακριβής ρύθμιση πίεσης στο σύστημα και επί πλέον μπορεί να παρατηρηθούν σημαντικές απώλειες ενέργειας που καταλήγουν σε υπερθέρμανση του ρευστού.

Μία ανακουφιστική βαλβίδα δύο σταδίων δεν παρουσιάζει υπολογίσιμη πίεση υπερκεράσεως. Το άνω τμήμα της βαλβίδας αποτελείται από μία απλή ανακουφιστική βαλβίδα, όπως αυτή που προαναφέρθηκε. Ωστόσο, η κυρίως λειτουργία γίνεται με το υδραυλικά ισορροπημένο έμβολο, στο κάτω τμήμα της βαλβίδας. Το υδραυλικά ισορροπημένο έμβολο διαθέτει μία δίοδο ρευστού, μέσα από το σώμα του προς την δεξαμενή, καθώς και μία δίοδο πολύ μικρής διαμέτρου, που επιτρέπει στις δύο πλευρές του να επικοινωνούν. Η πίεση του συστήματος είναι συνεπώς παρούσα και στις δύο επιφάνειες του εμβόλου, οι οποίες είναι ίσες. Το έμβολο συγκρατείται με την δύναμη ενός ελατηρίου και σε θέση ηρεμίας κλείνει την γραμμή προς την δεξαμενή. Όταν η πίεση του συστήματος φθάσει την ρύθμιση του ελατηρίου, το έμβολο 2 υποχωρεί με αποτέλεσμα μία ροή από την δίοδο -μέσω του εμβόλου- προς την δεξαμενή. Η ροή αυτή έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τριβές στην δίοδο και κατ'ακολουθία, δημιουργία μίας διαφοράς πιέσεων στις δύο πλευρές του εμβόλου 1. Έτσι βαθμιαία φθάνουμε σε μία κατάσταση, όπου η διαφορά πιέσεων στον άνω και κάτω χώρο της βαλβίδας είναι αρκετή για να αναπτύξει μία δύναμη του μαλακού ελατηρίου που βρίσκεται στην δίοδο 5. Στην κατάσταση αυτή, το έμβολο ανέρχεται αναλογικά, επιτρέποντας τμήμα της ροής να κατευθυνθεί προς την δεξαμενή. Η πίεση υπερκεράσεως είναι ελάχιστη, γιατί το ελατήριο που ελέγχει το έμβολο 1 είναι πολύ μαλακό. Η πίεση στο κύκλωμα παραμένει με αυτόν τον τρόπο σταθερή. (Hydraulics pneumatics 2020)

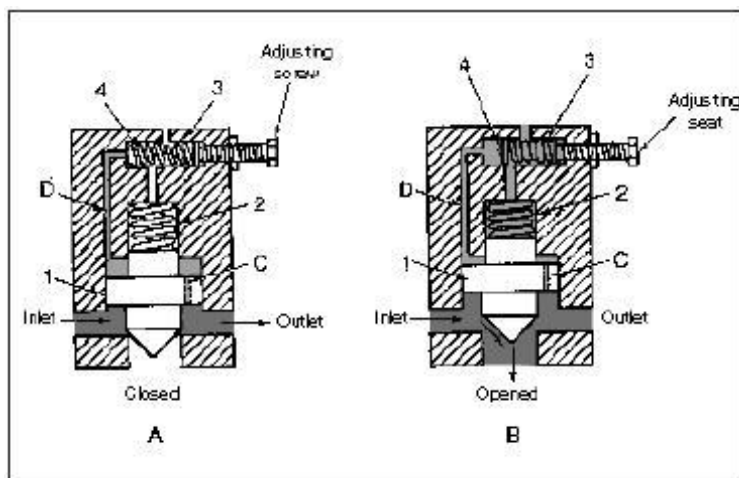


Figure 5-3. Compound relief valve

Σχήμα 71. Ανακουφιστική βαλβίδα δύο σταδίων. (Modern Hydraulics 2020)

Οι ανακουφιστικές βαλβίδες δύο σταδίων έχουν την πρόσθετη δυνατότητα του τηλεχειρισμού και του μηδενισμού της πίεσης. Είναι δυνατόν, να συνδεθεί στην οπή της αεραγωγής μία

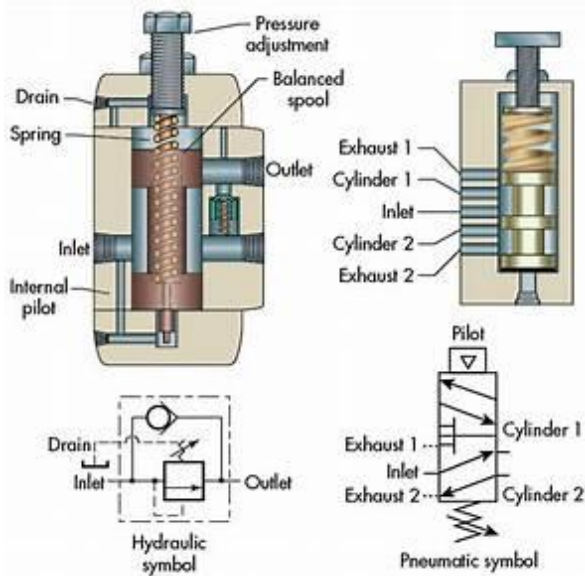
ηλεκτροβαλβίδα, ώστε να ελέγχεται η πίεση της βαλβίδας με τηλεχειρισμό (ηλεκτρική εντολή). Με ανάλογο τρόπο η απλή ανακουφιστική βαλβίδα είναι δυνατόν να ελέγχει την πίεση της κυρίως ανακουφιστικής δύο σταδίων από μια απομακρυσμένη θέση, όπως για παράδειγμα, αυτή του χειριστή. (www.hydraulicspneumatics.com)



Σχήμα 72. Rexroth ανακουφιστικές βαλβίδες. Άλλος ένας τομέας υδραυλικών που η REXROTH πρωτοπορεί. Επάνω, ανακουφιστική βαλβίδα κυκλώματος. Κάτω, ανακουφιστική βαλβίδα Rexroth που εφαρμόζεται σε αντλία σειράς A4VG για εκσκαφέα CATERPILLAR E320. (Rexroth, Caterpillar 2020)

2.7.1.2 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΔΙΑΔΟΧΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ

Η βαλβίδα αυτή, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 73, χρησιμοποιείται για να προκαλέσει μία δράση σε ένα κλάδο του κυκλώματος μετά από υδραυλική εντολή, ενώ η πίεση του κυρίως κυκλώματος διατηρείται όπως έχει ρυθμισθεί. Μία βαλβίδα διαδοχικής δράσεως δύο σταδίων είναι σχεδόν όμοια με την αντίστοιχη βαλβίδα ανακούφισης, με μόνη διαφορά, ότι η γραμμή αποστράγγισης από το τμήμα εντολής είναι εξωτερική, αντί να διέρχεται μέσα από το κυρίως έμβολο. Όταν η πίεση στο κυρίως σύστημα ανέλθει στην πίεση ανοίγματος, το κυρίως έμβολο της βαλβίδας ανέρχεται και επιτρέπει την ροή να διοχετευθεί προς το δευτερεύον κύκλωμα, που είναι συνδεδεμένο στην γραμμή επιστροφής. Αντίστροφη ροή του ρευστού δεν είναι δυνατή και αν είναι απαραίτητη, επιτυγχάνεται μέσω μίας βαλβίδας αντεπιστροφής, η οποία ενσωματώνεται στην ίδια την βαλβίδα διαδοχικής δράσης.



Σχήμα 73. Βαλβίδα διαδοχικής δράσης. (IDC 2020)

2.7.1.3 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΙΕΣΗΣ

Η βαλβίδα περιορισμού πίεσης χρησιμοποιείται για να περιορίζει την πίεση σε κλάδους του κυκλώματος σε ένα χωματουργικό μηχάνημα. Είναι βαλβίδα ανοικτή σε κανονικές συνθήκες και ενεργοποιείται από την πίεση του κυρίως κυκλώματος, η οποία τείνει να την κλείνει, έτσι ώστε η πίεση να μην ανέλθει περισσότερο από μία αρχική ρύθμιση. Υπάρχουν τύποι βαλβίδας περιορισμού που ενεργούν άμεσα ή έμμεσα με υδραυλική εντολή.

Η πίεση λειτουργίας καθορίζεται από την ρύθμιση του μικρού σκληρού ελατηρίου στο τμήμα εντολής της βαλβίδας. Στην θέση Α του σχήματος 74 φαίνεται η λειτουργία της βαλβίδας όταν η

κύρια πίεση είναι χαμηλότερη από την πίεση ρύθμισης της βαλβίδας. Το κυρίως έμβολο κρατείται στην κάτω θέση με την δράση του κυρίως ελατηρίου. Όταν η πίεση του κυρίως κυκλώματος φτάσει την πίεση ρύθμισης της βαλβίδας, το κωνικό έμβολο υποχωρεί με αποτέλεσμα την δημιουργία μίας ροής, η οποία μέσω του κυρίως εμβόλου κατευθύνεται προς την αποστράγγιση της βαλβίδας. Η ροή αυτή, δημιουργεί μία διαφορά πίεσης στις δύο πλευρές του εμβόλου με αποτέλεσμα την άνοδο και τον στραγγαλισμό της ροής του ρευστού προς το δευτερεύον κύκλωμα. Ο στραγγαλισμός αυτός, κρατά την πίεση προς το δευτερεύον κύκλωμα στα επιθυμητά όρια. Η έξοδος προς το δευτερεύον κύκλωμα δεν κλείνει ποτέ. Όταν το δευτερεύον κύκλωμα δεν απαιτεί ροή, πάντα υπάρχει μία ροή προς την αποστράγγιση. Η βαλβίδα αυτή, επιτρέπει αντίστροφη ροή μόνο στην περίπτωση όπου η κύρια πίεση του συστήματος είναι χαμηλότερη από την πίεση ρύθμισης της βαλβίδας. Στην αντίθετη περίπτωση, απαιτείται η εγκατάσταση μίας βαλβίδας αντεπιστροφής, που συχνά ενσωματώνεται στην βαλβίδα περιορισμού πίεσης.

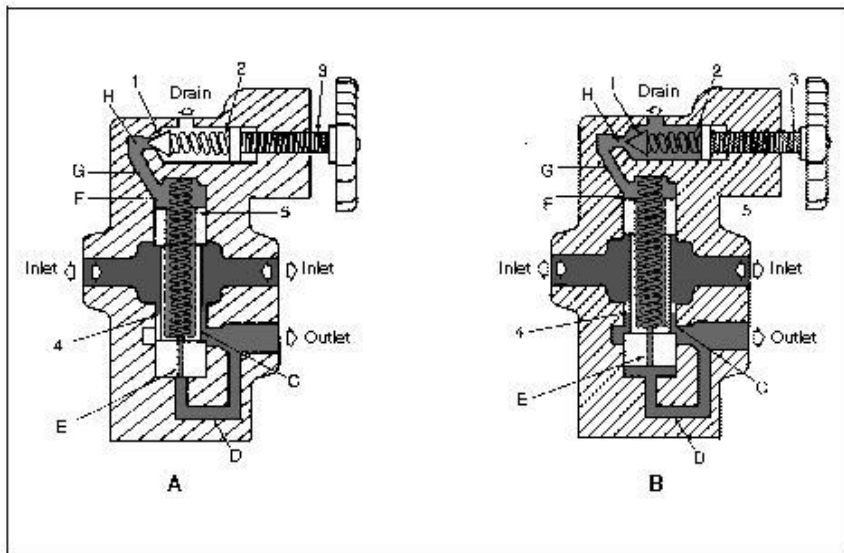


Figure 5-5. X-series, pressure-reducing valve

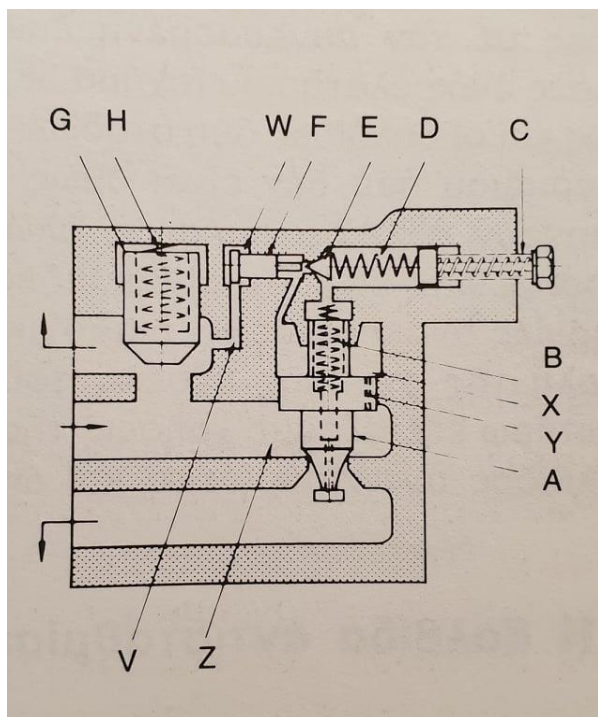
Σχήμα 74. Βαλβίδα περιορισμού πίεσης. (Modern Hydraulics 2020)

2.7.1.4 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ

Υπάρχουν στιγμές κατά την διάρκεια του κύκλου λειτουργίας ενός μηχανήματος τεχνικών έργων ή μεταλλείων, όπου η παροχή της αντλίας είναι αναγκαία. Η βαλβίδα αποφόρτισης χρησιμοποιείται για την επιστροφή της ροής της αντλίας στην δεξαμενή, υπό την πίεση που απαιτείται για την υπερνίκηση των τριβών. Η χρήση της βαλβίδας αυτής είναι απαραίτητη σχεδόν σε όλα τα χωματουργικά μηχανήματα, καθώς χρησιμοποιείται σε κυκλώματα με συσσωρευτές ή σε κυκλώματα δύο αντλιών υψηλής – χαμηλής πίεσης.

Η βαλβίδα αποφόρτισης, με βάση το σχήμα 75, περιέχει μία ανακουφιστική βαλβίδα δύο σταδίων (A, E, D), μία αντεπίστροφη βαλβίδα, που εμποδίζει την αντίστροφη ροή στο κύκλωμα (G), και ένα έμβολο (F) το οποίο λειτουργεί με την πίεση του κυκλώματος και για το πλήρες άνοιγμα του εμβολιδίου (E), όταν η πίεση του κυκλώματος φτάσει το όριο ρύθμισης. Έτσι, η βαλβίδα αυτή λειτουργεί όπως η βαλβίδα ανακούφισης δύο σταδίων όταν αποφορτίζεται με πλήρη αεραγωγή της οπής αεραγωγής. Η βαλβίδα αποφόρτισης δεν λειτουργεί ως ανακουφιστική όταν η πίεση του κυκλώματος είναι μικρότερη από την πίεση ανοίγματος που προρυθμίζεται με το ελατήριο D μέσω του κοχλία C.

Εκτός από τις βαλβίδες πίεσης δύο σταδίων χρησιμοποιούνται συχνά και βαλβίδες με την συνδυασμένη επίδραση υδροστατικών δυνάμεων και της δυνάμεως ενός ελατηρίου. Οι βαλβίδες αυτές έχουν την δυνατότητα, όπως και οι βαλβίδες δύο σταδίων, να δέχονται τηλεχειρισμό μέσω μίας οπής τηλεχειρισμού που δεν είναι όμως οπή αεραγωγής. Υπάρχουν βαλβίδες πίεσης όλων των μορφών του τύπου αυτού, όπως φαίνεται στο σχήμα 76. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι βαλβίδες αυτές μπορούν να επιτελέσουν όλες τις λειτουργίες ανακούφισης, διαδοχικής δράσης αποφόρτισης κ.λπ. με απλή μεταβολή της σχετικής θέσης του σώματος προς το κάτω κάλυμμα.



Σχήμα 75. Διατομή βαλβίδας αποφόρτισης. (Κωστόπουλος 2020)

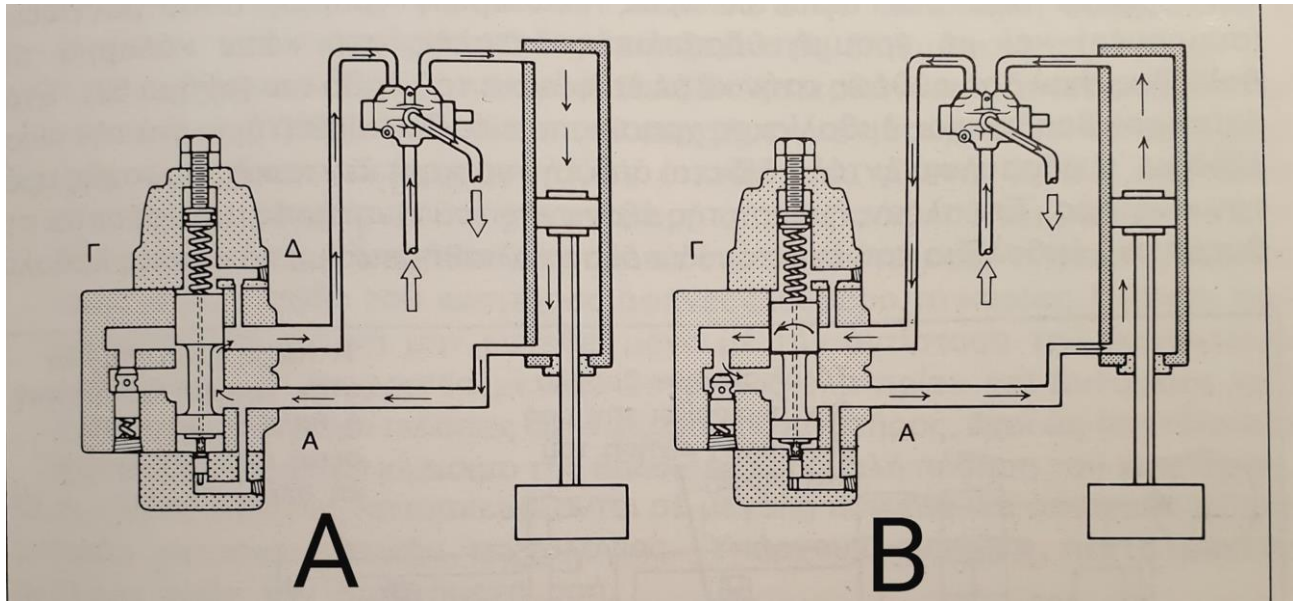


Σχήμα 76. Βαλβίδα αποφόρτισης PARKER DENISON, για υδραυλικό σύστημα κατευθύνσεως ελαστικοφόρου μηχανικού εξοπλισμού μεταλλείων. (Parker 2020)

2.7.1.5 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΕΣΩΣ

Μια βαλβίδα αντισταθμίσεως χρησιμοποιείται για να θέσει υπό έλεγχο ένα μεγάλο βάρος που μετακινείται κατακόρυφα ή έχει την τάση να μετακινηθεί ελεύθερα λόγω βαρύτητας. Για παράδειγμα στους τηλεσκοπικούς γερανούς σε μεγάλα κατασκευαστικά έργα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 77, η κύρια οπή της βαλβίδας συνδέεται με την κάτω λήψη του κυλίνδρου που κινεί το βάρος. Η ρύθμιση της βαλβίδας είναι τέτοια, ώστε η πίεση ανοίγματος να είναι λίγο υψηλότερη από την πίεση που χρειάζεται για να συγκρατήσει το βάρος. (Hank Ayers, Hydraulics and Pneumatics 2020)

Όταν η παροχή της αντλίας κατευθύνεται στην άνω λήψη του κυλίνδρου για να κατεβάσει το βάρος (Α), η πίεση στην κύρια οπή Α της βαλβίδας υψώνεται και το έμβολο της ανέρχεται, ανοίγοντας την δίοδο για την επιστροφή του ρευστού μέσω της βαλβίδας κατεύθυνσης στην δεξαμενή. Η άνοδος του εμβόλου ελέγχεται πάντα από την δύναμη του ελατηρίου Γ, που τείνει να προβάλλει αντίσταση στην κάθοδο του βάρους. Η βαλβίδα μπορεί να ελέγχεται από μακριά με υδραυλική εντολή στην οπή Δ. Στην εικόνα Β, εικονίζεται η φάση ανόδου του βάρους όπου η ροή διέρχεται ελεύθερα μέσω της ενσωματωμένης αντεπίστροφης βαλβίδας. (Hank Ayers, Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 77. Λειτουργία βαλβίδας αντισταθμίσεως. (Κωστόπουλος 2020)



Σχήμα 78. Βαλβίδα αντισταθμίσεως σε υδραυλικό κύλινδρο. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

2.7.1.6 Η ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΕΔΗΣΕΩΣ

Μία βαλβίδα πεδήσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 79, χρησιμοποιείται συνήθως στην γραμμή επιστροφής ενός υδραυλικού κινητήρα είτε για να εμποδίσει την ανεξέλεγκτη αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα όταν το φορτίο τείνει να επιταχυνθεί, είτε για να εμποδίσει την ανεξέλεγκτη αύξηση της πίεσης κατά την επιβράδυνση ή το απότομο σταμάτημα της κίνησης, όπως για παράδειγμα σε ένα υδραυλικό φρένο το οποίο φαίνεται στο σχήμα 80.

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται μία βαλβίδα πίεσης με απλό ολισθαίνον έμβολο που δεν διαθέτει όμως εσωτερική γραμμή αποστράγγισης και με γραμμή υδραυλικής εντολής στο κάτω κάλυμμα της βαλβίδας, που δρα ευθέως στην κάτω επιφάνεια του εμβόλου. Ένας δεύτερος βοηθητικός εμβολίσκος χρησιμοποιείται ως αισθητήριο για την πίεση εξόδου. Η υδραυλική εντολή δίδεται από την γραμμή κεντρικής παροχής προς τον κινητήρα. Επί πλέον, η πίεση της εξαγωγής του κινητήρα μεταφέρεται στο βοηθητικό εμβολίδιο που έχει τον ίδιο άξονα ολίσθησης με το κυρίως έμβολο.

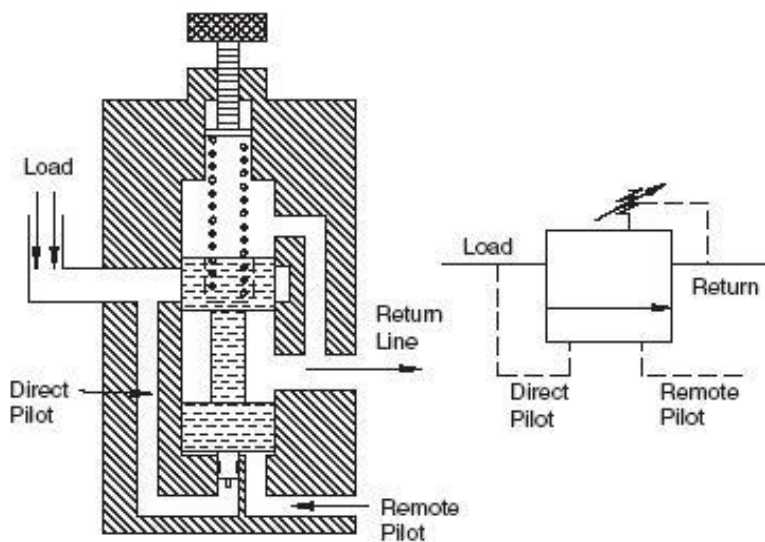


FIGURE 3.29 Brake valve functional diagrams showing construction required for valve to open at different internal and remote pilot pressures.

Σχήμα 79. Λειτουργία βαλβίδας πεδήσεως. (Modern Hydraulics 2020)

A) Φάση επιτάχυνσης. Κατά την συγκεκριμένη φάση η πίεση είναι η μέγιστη δυνατή που μπορεί η κεντρική ανακουφιστική βαλβίδα να επιτρέψει. Η πίεση αυτή κρατά το έμβολο της βαλβίδας σταθερά επάνω, με αποτέλεσμα η δίοδος του ρευστού επιστροφής του κινητήρα να είναι ελεύθερη μέσω της βαλβίδας.

B) Φάση κανονικής πίεσης. Όταν ο κινητήρας αποκτήσει τις επιθυμητές στροφές, η βαλβίδα συγκρατείται ανοικτή, εκτός εάν ο κινητήρας συνεχίσει την επιτάχυνση, οπότε υπάρχει κίνδυνος ανεξέλεγκτης κίνησης και σπληαίωσης. Στην περίπτωση αυτή, η πίεση εισόδου στον κινητήρα

πέφτει, όπως και στην είσοδο του εμβόλου. Η δύναμη του ελατηρίου ωθεί τότε το έμβολο ώστε να κλείσει την δίοδο του ρευστού και η αντίθετη πίεση αυξάνεται. Η κίνηση του κινητήρα επιβραδύνεται λόγω της αντίθετης πίεσης που έχει δημιουργηθεί. Ταυτόχρονα, το βοηθητικό έμβολο ανασπώνεται και συγκρατεί την βαλβίδα στην κατάλληλη θέση, ώστε η ταχύτητα του κινητήρα να ισορροπήσει στις επιθυμητές στροφές.

Γ) Φάση πεδήσεως. Όταν η κεντρική βαλβίδα κατεύθυνσης τοποθετηθεί στην κεντρική της θέση, η αδράνεια του κινητήρα τον υποχρεώνει να συνεχίσει την κίνηση του. Στην φάση αυτή, ο κινητήρας γίνεται αντλία, έως ότου σταματήσει λόγω τριβών. Η κατάσταση αυτή, εκτός του ότι μπορεί να μην είναι επιθυμητή, οδηγεί και σε σπηλαίωση του κινητήρα. Η πτώση πίεσης όμως στην είσοδο του κινητήρα αφήνει ελεύθερο το κυρίως έμβολο, που συγκρατείται για να μην κατέβει μόνο με την αντίσταση του βοηθητικού εμβόλου. Η ισορροπία μεταξύ δύναμης ελατηρίου και δύναμης που δημιουργείται λόγω πίεσης στην έξοδο του κινητήρα, έχει ως αποτέλεσμα βαθμιαίο και θετικό κλείσιμο της βαλβίδας και ομαλή πέδηση του κινητήρα.

Οι βαλβίδες πέδησης κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία και απαιτούν μέτρια επίπεδα κατασκευαστικής τεχνολογίας. Υπάρχουν συνήθως πέντε μεγέθη ανάλογα με την διερχόμενη ροή. Ο υπολογισμός των βαλβίδων πέδησης απαιτεί ακριβή προσδιορισμό των ρυθμίσεων, αλλιώς είναι δυνατόν να συμβαίνουν απώλειες ενέργειας.



Σχήμα 80. Υδραυλικό φρένο εκτάκτου ανάγκης POCLAIN. Κάτω από την λαβή, μια βαλβίδα πεδήσεως. (Poclair 2020)

2.7.2 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ

Οι βαλβίδες κατεύθυνσης κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κατεύθυνσης του ρευστού στο υδραυλικό σύστημα. Η ποικιλία που συναντάται στις βαλβίδες κατεύθυνσης οφείλεται στην πολυμορφία των χαρακτηριστικών τους, όπως:

A) Στις διάφορες μορφές των εσωτερικών δρόμων. Η κατανομή των δρόμων γίνεται με: έμβολο (κωνικού ή σφαιρικού τύπου), περιστροφικό έμβολο και ολισθαίνον έμβολο.

B) Στις διάφορες μορφές κίνησης και ελέγχου που επιτυγχάνονται με: χειροκίνητη βαλβίδα, μηχανικό τρόπο, ηλεκτρικό πηνίο, υδραυλική πίεση (υδραυλικά ελεγχόμενες βαλβίδες), πεπιεσμένο αέρα κ.α.

Γ) Στην ποικιλία των διόδων ροής: Δύο, τριών, τεσσάρων δρόμων καθώς και την ποικιλία των συνδυασμών των δρόμων.

Δ) Στο μέγεθος, δηλαδή στην δυνατότητα διακίνησης όγκου ρευστού.

Ε) Στις διάφορες μορφές σύνδεσης, που γίνονται με: Απ'ευθείας κοιλίωση των βαλβίδων στην γραμμή ή με έδραση σε βάση ή με φλάντζες.

2.7.2.1 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ

Μία βαλβίδα αντεπιστροφής, σύμφωνα με τον Κωστόπουλο (2020) δεν είναι παρά μια βαλβίδα κατεύθυνσης ενός δρόμου και δύο θέσεων. Επιτρέπει την ροή προς μια κατεύθυνση. Υπάρχουν διάφορες μορφές βαλβίδων αντεπιστροφής οι κυριότερες των οποίων είναι οι ακόλουθες:

- **Ευθύγραμμη βαλβίδα αντεπιστροφής.** Το ρευστό ρέει ευθύγραμμα μέσα από την ελεύθερη πλευρά των βαλβίδων αυτών. Το σώμα της βαλβίδας είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να υποδέχεται το σφαιρίδιο ή το κωνικό εμβολίδιο που φράζει την ροή και συγκρατείται στη θέση του από ένα μαλακό ελατήριο. Στην ελεύθερη δίοδο, η ροή υπερνικά εύκολα την αντίσταση του ελατηρίου και απωθεί το έμβολο ή το σφαιρίδιο, ώστε να διέρχεται ελεύθερα. Η αντίθετη ροή δεν είναι δυνατή. Το ελατήριο δεν ρυθμίζεται, διάφορα όμως ελατήρια μπορούν να δημιουργήσουν διαφορετικές αντιστάσεις στην ροή του ρευστού και πολλές φορές σκληρότερα ελατήρια χρησιμοποιούνται σε ειδικές χρήσεις. Τέτοιες χρήσεις είναι η δημιουργία μίας αντιθέτου πίεσης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πίεση εντολής ή η παράκαμψη φίλτρων ή ψυκτών, όταν αυτά για κάποιο λόγο φράξουν. Οι ευθύγραμμες βαλβίδες αντεπιστροφής δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις, όπου υπάρχει αντίθετη ροή με σχετικώς μεγάλη ταχύτητα ή σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν κρουστικά κύματα. Παρουσιάζεται στο σχήμα 81.

- Γωνιακές βαλβίδες αντεπιστροφής.** Είναι βαλβίδες με μεγάλη αντοχή και αποτελούνται από χαλύβδινο έμβολο τοποθετημένο μέσα σε περίβλημα χυτοσιδήρου. Βρίσκονται σε ορθή γωνία οι δύο οπές και οι κατευθύνσεις της ροής. Οι βαλβίδες αυτές είναι κατασκευασμένες για σύνδεση με σπείρωμα, φλάντζα ή βάση. Σε ειδικές περιπτώσεις το έμβολο της γωνιακής βαλβίδας αντεπιστροφής είναι δυνατόν να διαθέτει μία μικρή οπή για έλεγχο ροής σε κλειστή θέση. Οι βαλβίδες αυτές χρειάζονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπου μια περιορισμένη ροή απαιτείται στο ένα άκρο και ελεύθερη ροή στο άλλο άκρο. Παρουσιάζεται στο σχήμα 81.
- Βαλβίδες αντεπιστροφής με υδραυλική εντολή.** Οι βαλβίδες αυτές είναι μεν βαλβίδες αντεπιστροφής, αλλά ένα υδραυλικό σήμα είναι δυνατόν να επιτρέψει την ροή και από την απαγορευμένη πλευρά. Η χρήση της βαλβίδας αυτής της μορφής είναι διαδεδομένη. Μία τέτοια βαλβίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βαλβίδα ταχείας πλήρωσης κατά την γρήγορη κίνηση ενός κυλίνδρου σε έναν φορτωτή ή σε έναν εκσκαφέα. Στο σχήμα 84 φαίνεται η λειτουργία ενός τύπου βαλβίδας αντεπιστροφής με υδραυλική εντολή. Είναι βαλβίδα κωνικού εμβόλου, που συγκρατείται από ένα μαλακό ελατήριο. Στις εικόνες A και B η βαλβίδα ενεργεί ως κοινή βαλβίδα αντεπιστροφής. Ένα δεύτερο έμβολο επενεργεί με πίεση εντολής στην εικόνα C, για να ωθήσει το κωνικό έμβολο, ώστε να ελευθερώσει την θέση μη διόδου, όταν χρειαστεί. Η δύναμη που αναπτύσσεται στο βοηθητικό έμβολο πρέπει φυσικά να υπερβαίνει τις αντιστάσεις του ελατηρίου. Παρουσιάζεται στο σχήμα 82.

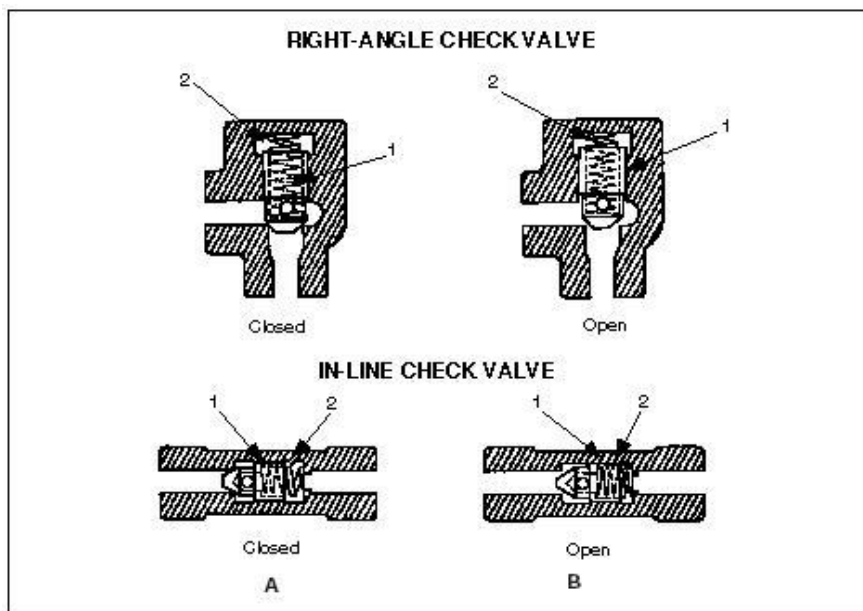


Figure 5-17. Standard check valve

Σχήμα 81. Επάνω, Γωνιακή βαλβίδα αντεπιστροφής. Κάτω, Ευθύγραμμη βαλβίδα αντεπιστροφής. (Modern Hydraulics 2020)

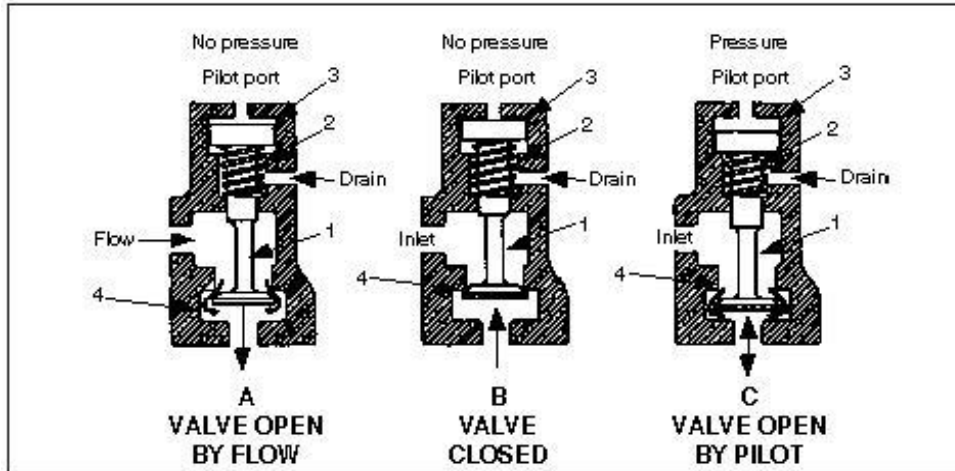


Figure 5-20. Pilot-operated check valve, second type

Σχήμα 82. Λειτουργία αντεπίστροφης βαλβίδας με υδραυλική εντολή. (Modern Hydraulics 2020)

2.7.2.2 ΟΙ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΩΣ

- Βαλβίδες δύο και τεσσάρων δρόμων.** Όλες οι βαλβίδες κατευθύνσεως διαθέτουν τέσσερις οπές, που χαρακτηρίζονται ως A, B, P, και T. Οι βαλβίδες δύο ή τεσσάρων δρόμων κατευθύνουν την κεντρική ροή, που παρέχεται στην οπή P προς κάθε μία, εναλλακτικά, από τις δύο οπές εξόδου. Οι οπές εξόδου χαρακτηρίζονται ως οπές A και B. Η οπή T είναι πάντα η οπή της επιστροφής της ροής στην δεξαμενή και συνήθως δεν δέχεται πίεση. Συνήθως υπάρχουν στις βαλβίδες δύο εναλλακτικές οπές T που δεν φαίνονται στο σύμβολο. Στις βαλβίδες δύο δρόμων η οπή T είναι μόνιμα κλειστή και χρησιμεύει μόνο για αποστράγγιση των εσωτερικών διαρροών. Οι βαλβίδες κατευθύνσεως είναι στην συντριπτική πλειονότητα τους βαλβίδες ολισθαίνοντος εμβόλου. Ο τύπος της περιστροφικής βαλβίδας περιορίζεται σε χρήσεις σε γραμμές εντολών με χειροκίνητο έλεγχο και για μικρές παροχές. Η βαλβίδα ολισθαίνοντος εμβόλου παρουσιάζει μεγάλη διάδοση λόγω των δυνατοτήτων κίνησης, που προσφέρονται και κυρίως λόγω της δυνατότητας ελέγχου με ηλεκτρικό πηνίο και χειρολαβή. Μόνο τελευταία, τα μεγάλα μεγέθη της βαλβίδας με ολισθαίνον έμβολο αντικαθίστανται από τις ένθετες βαλβίδες. Παρουσιάζονται και οι δύο περιπτώσεις στο σχήμα 83.
- Κίνηση ολισθαίνοντος εμβόλου.** Η κίνηση του εμβόλου στις βαλβίδες αυτές είναι δυνατόν να γίνει με πολλούς τρόπους. Ο απλούστερος είναι η χειροκίνηση με μία χειρολαβή, που συνηθίζεται σε μικρά μεγέθη, όπως στο σχήμα 89. Η μηχανική κίνηση είναι επίσης συνηθισμένη. Σε μεγάλα μεγέθη ή όταν ο αυτοματισμός του κυκλώματος το απαιτεί, χρησιμοποιούνται βαλβίδες εμβόλου με υδραυλική εντολή, όπως στο σχήμα 90. Η κίνηση του ολισθαίνοντος εμβόλου γίνεται με υδραυλική πίεση, που επενεργεί στα δύο άκρα του εμβόλου και δημιουργεί μία δύναμη ικανή να το μετακινήσει. Η πιο διαδεδομένη

όμως μέθοδος κινήσεως των βαλβίδων κατευθύνσεων είναι αυτή με τη χρήση ηλεκτρικών πηνίων. Η μαγνητική δύναμη του πηνίου, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, σύρει το έμβολο στην επιθυμητή θέση με την βοήθεια εμβόλων ωθήσεως. Είναι προφανές ότι, μία βαλβίδα μεγάλου μεγέθους, όπου το έμβολο έχει μεγάλη μάζα και τριβές με το περίβλημα μέσα στο οποίο ολισθαίνει, δεν είναι δυνατόν να κινηθεί με ηλεκτρικά πηνία, αφού η μαγνητική δύναμη που απαιτείται είναι μεγάλη και το απαιτούμενο πηνίο πολύ μεγάλων διαστάσεων. Στην περίπτωση αυτή, μία βοηθητική βαλβίδα ελέγχου, βοηθά στην κίνηση της κυρίως βαλβίδας με υδραυλική πίεση. Η πίεση που επενεργεί στα άκρα του εμβόλου της κυρίως βαλβίδας ελέγχεται από την μικρή βαλβίδα εντολής, ώστε η κίνηση να γίνεται με τα συνηθισμένα πηνία των βαλβίδων κατευθύνσεως. Οι σύνθετες αυτές βαλβίδες χρησιμοποιούνται για παροχές ρευστού άνω των 100 lt/min. (A staff report, Hydraulics and Pneumatics 2020)

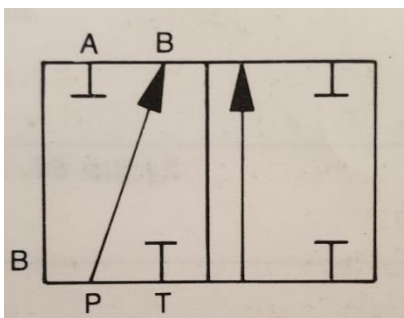
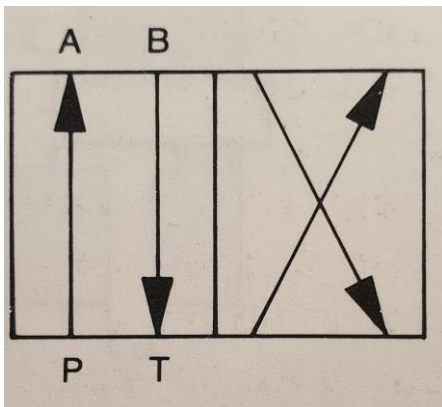
Στις σύνθετες αυτές βαλβίδες κατευθύνσεως είναι πάντα απαραίτητη η ύπαρξη μίας ελάχιστης πίεσης, ώστε ακόμα και σε περίπτωση λειτουργίας εν κενώ, να υπάρχει μία ελάχιστη πίεση εντολής διαθέσιμη για την πραγματοποίηση της κινήσεως του εμβόλου. Γι' αυτό σε μορφές κυκλωμάτων, όπου η αντλία εργάζεται σε κάποια φάση εν κενώ, εγκαθίστανται βαλβίδες με ενσωματωμένη βαλβίδα αντεπιστροφής, που δημιουργεί μία αντίθετη πίεση με την αντίσταση ενός σκληρού ελατηρίου, όπως στα σχήματα 84 και 85. Η αντίθετη αυτή πίεση είναι πάντα παρούσα, ώστε να υπάρχει πάντα μία διαθέσιμη πίεση εντολής, αρκετή για την μετακίνηση του κυρίως εμβόλου. Η μεγάλη πλειονότητα των βαλβίδων κατευθύνσεως σε χωματουργικά και αυτοκινούμενα μηχανήματα κινείται με ηλεκτρικά πηνία. Ο τρόπος αυτός ελέγχου εξασφαλίζει ηλεκτρική διασύνδεση και μεγάλες δυνατότητες ηλεκτρικών αυτοματισμών. Σε παλαιότερα μηχανήματα είναι πιο διαδεδομένος ο χειρισμός μέσω χειριστηρίου με λαβή που πραγματοποιείται με άμεση παρέμβαση του χειριστή. (A staff report, Hydraulics and Pneumatics 2020)

Η κίνηση των βαλβίδων κατευθύνσεως δεν είναι απαραίτητο να γίνεται με απ' ευθείας ηλεκτρική δράση ή μυϊκή δύναμη για όλες τις θέσεις της. Μια θέση της βαλβίδας είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την αυτόματη επαναφορά με την δράση ενός ελατηρίου. Η επιλογή της κατάλληλης μορφής του ολισθαίνοντος εμβόλου είναι πρόβλημα επιλογής της κατάλληλης βαλβίδας. Φυσικά η μορφή των δρόμων της ροής στην κεντρική θέση της βαλβίδας υπαγορεύει την εκλογή. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις, όπου εκτός από την μορφή του υδραυλικού κυκλώματος, δηλαδή την κατάλληλη επιλογή δρόμων για το ρευστό, η εκλογή της μορφής του ολισθαίνοντος εμβόλου υπαγορεύεται και από άλλους παράγοντες, συνηθέστερα από την επιθυμία αποφυγής απότομων κρούσεων, όταν η αλλαγή της θέσης της βαλβίδας σημαίνει και ακαριαία αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής ή απότομη διακοπή της ροής, με αποτέλεσμα την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ρευστού σε κρουστικό κύμα.

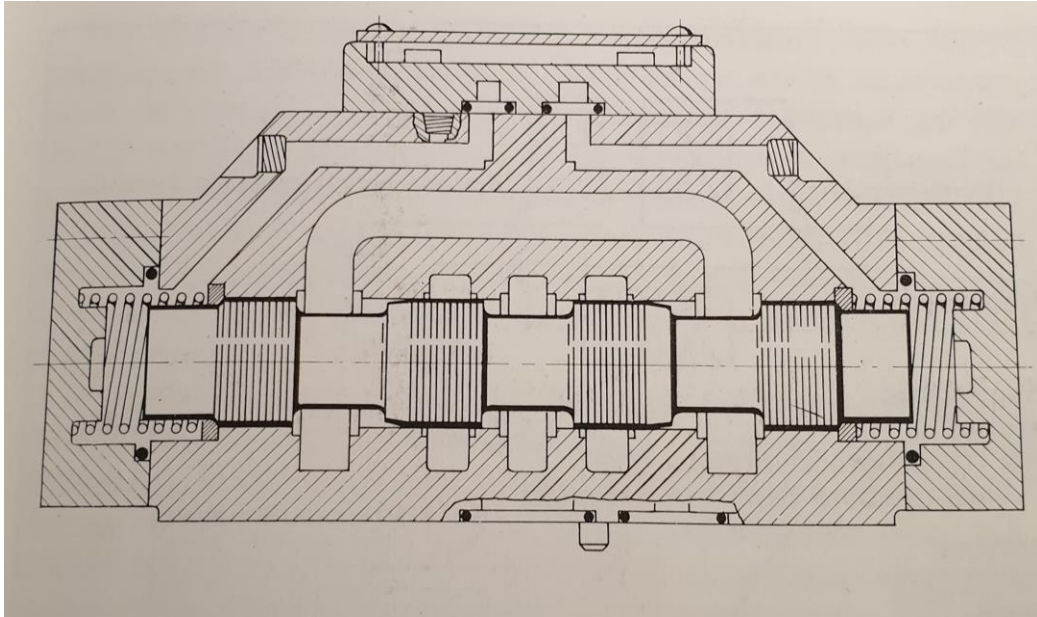
- **Μορφές ολισθαίνοντος εμβόλου.** Όλες οι βαλβίδες κατευθύνσεως με ολισθαίνον έμβολο παράγονται σε ποικιλία κεντρικών θέσεων. Σε σπανιότερες περιπτώσεις, ακόμη και οι παράπλευρες θέσεις μπορεί να διαφέρουν. Οι βαλβίδες είναι ουσιαστικά οι ίδιες με μόνη διαφορά την μορφή του ολισθαίνοντος εμβόλου. Η μορφή του κυκλώματος υπαγορεύει και την εκλογή της κατάλληλης βαλβίδας. Υπάρχει ποικιλία βαλβίδων κατευθύνσεως σε χωματουργικά και αυτοκινούμενα μηχανήματα, που καθορίζεται από το μέγεθος τους,

δηλαδή την ποσότητα ρευστού, που έχει την δυνατότητα να διέλθει χωρίς μεγάλη πτώση πίεσης. Παρουσιάζονται στα σχήματα 86 και 87.

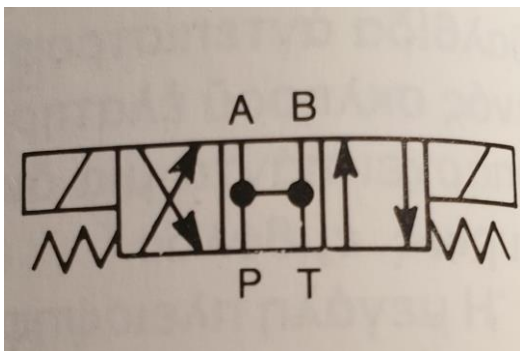
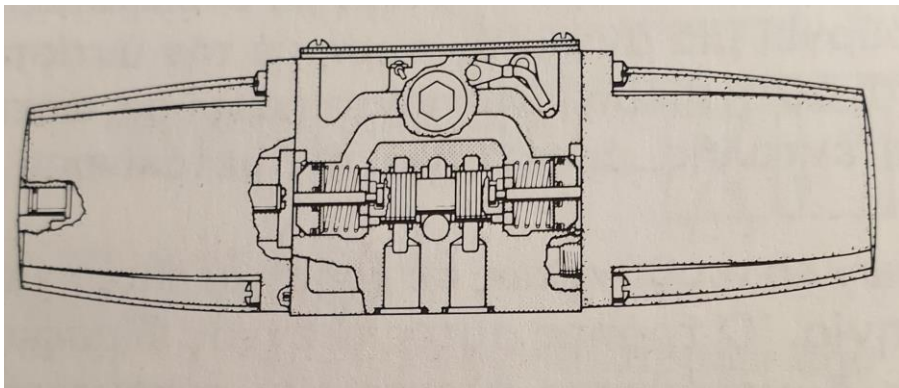
- **Βαλβίδες επιβράδυνσης.** Οι βαλβίδες επιβράδυνσεως είναι δυνατόν να καταταγούν στις βαλβίδες κατευθύνσεως. Παρουσιάζονται στο σχήμα 88. Οι υδραυλικοί κύλινδροι κατασκευάζονται συχνά με ενσωματωμένες διατάξεις επιβράδυνσης, που εξομαλύνουν τις κρούσεις κατά την κίνηση στα ακραία σημεία της κίνησης του εμβόλου τους. Συχνά, όμως, είναι αναγκαία η επιβράδυνση του κυλίνδρου σε μία ενδιάμεση θέση του εμβόλου. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται οι βαλβίδες επιβράδυνσεως, οι οποίες είναι βαλβίδες μηχανικής δράσης, αφού ο υδραυλικός κύλινδρος επιδρά μηχανικά σε σφαιρίδιο στερεά συνδεδεμένο με το κυρίως έμβολο της βαλβίδας. Η μηχανική δράση στραγγαλίζει βαθμιαία την ροή προς ή από τον υδραυλικό κύλινδρο, που διέρχεται μέσα από την βαλβίδα επιβράδυνσης. Υπάρχουν τέτοιες βαλβίδες, που είναι κανονικά ανοικτές ή κανονικά κλειστές, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κυκλώματος. Εκτός από την ενέργεια επιβράδυνσης, οι βαλβίδες επιβράδυνσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως βαλβίδες διασύνδεσης ή διαδοχικής δράσης, ώστε η ροή να διοχετευθεί προς ένα διαφορετικό κλάδο του κυκλώματος, όταν το φορτίο φτάσει σε μία προκαθορισμένη θέση. (A staff report, Hydraulics and Pneumatics 2020)



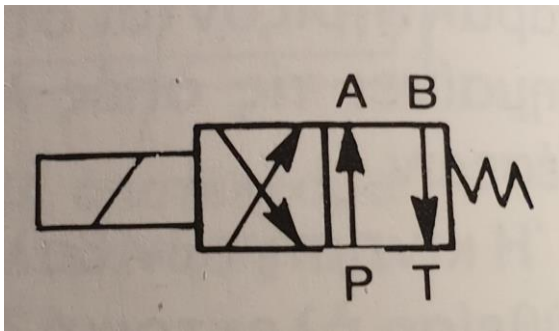
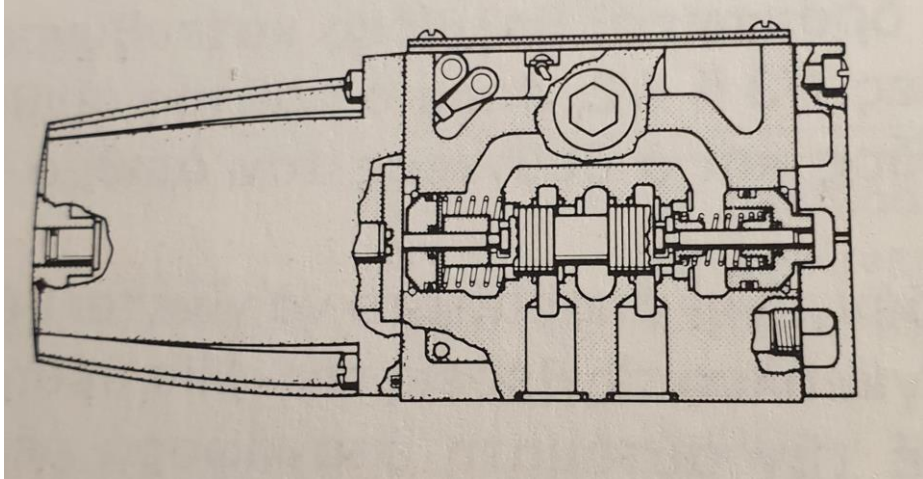
Σχήμα 83. Επάνω, Γραμμή ροής τεσσάρων δρόμων. Κάτω, Γραμμή ροής δύο δρόμων. (Hydraulics and Pneumatics 2020)



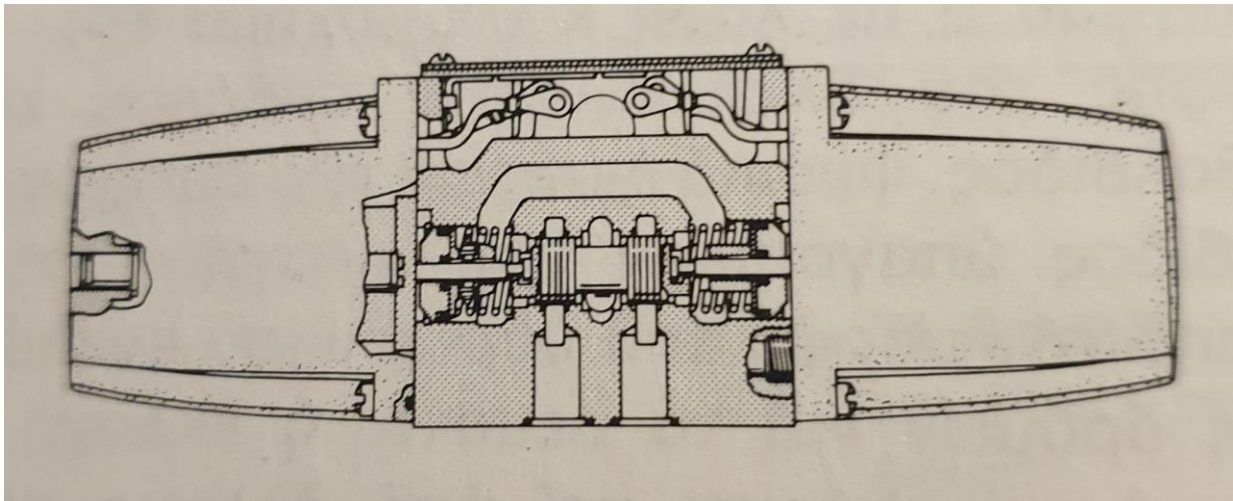
Σχήμα 84. Διατομή βαλβίδας κατευθύνσεως ολισθαίνοντος εμβόλου με υδραυλική εντολή. (Modern Hydraulics 2020)

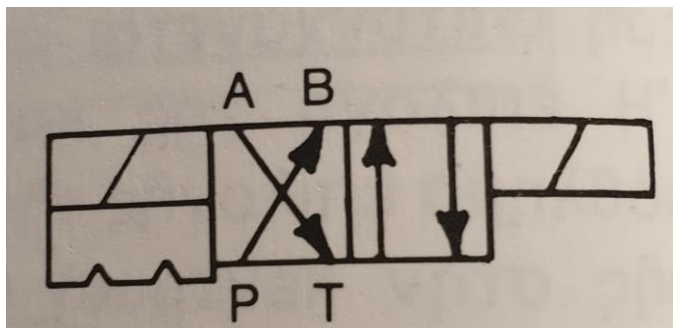


Σχήμα 85. Βαλβίδα κατευθύνσεως με θέση στο κέντρο με ελατήριο. (Modern Hydraulics 2020)

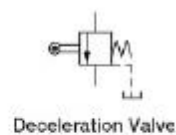
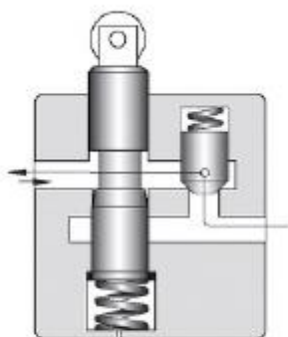


Σχήμα 86. Βαλβίδα κατευθύνσεως με επαναφορά ελατηρίου. (Modern Hydraulics 2020)

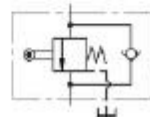




Σχήμα 87. Βαλβίδα κατευθύνσεως με συγκράτηση. (Modern Hydraulics 2020)



Deceleration Valve



Deceleration and Check Valve

Graphic Symbols

Fig. 5.5 Deceleration and Check Valve
(Normal Close Type)

Σχήμα 88. Τύπος βαλβίδας επιβράδυνσης. (Hydraulic Static 2020)



Σχήμα 89. WALVOIL χειροκίνητη βαλβίδα κατευθύνσεως τεσσάρων διόδων. Συνήθως εφαρμόζονται σε φορητά με γερανούς ανύψωσης σε τεχνικά έργα. (Walvoil 2020)



Σχήμα 90. Επάνω CATERPILLAR βαλβίδα 10 κατευθύνσεων. Μέσω αυτής της βαλβίδας, περνάει το πεπιεσμένο λάδι σε κινητήρες, υδραυλικούς κυλίνδρους και σε άλλες βαλβίδες. Συνδέονται πάντα με την δεξαμενή και την αντλία υψηλής πίεσης. (Caterpillar 2020) Κάτω βαλβίδες κατευθύνσεως για KOMATSU εκσκαφείς (δεξιά από PC 400 – 7).

2.7.3 ΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ

Οι αναλογικές βαλβίδες είναι υδραυλικές βαλβίδες κατευθύνσεως, ροής και πίεσης, οι οποίες λαμβάνουν απεριόριστες θέσεις και των οποίων το αποτέλεσμα είναι ανάλογο προς ένα ηλεκτρικό σήμα ελέγχου.

2.7.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για αυτοματισμό, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής, οδηγούν σε μία σύζευξη του υδραυλικού συστήματος με τα ηλεκτρονικά. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις ελέγχου των υδραυλικών αντλιών και βαλβίδων οδηγούν σε αναλογική επιλογή της κατάλληλης παροχής και πίεσης, ώστε να ταιριάζουν απόλυτα προς τις στιγμιαίες απαιτήσεις του χωματουργικού ή αυτοκινούμενου μηχανήματος.

Το συμβατικό υδραυλικό σύστημα διαθέτει μία αντλία, την οποία η ανακουφιστική βαλβίδα υποχρεώνει να εργάζεται υπό την ίδια πίεση σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του συστήματος. Η αντλία μεταβλητής παροχής, οι βοηθητικές βαλβίδες και ο συσσωρευτής ή το σύστημα δύο αντλιών υψηλής – χαμηλής πίεσης, εξομαλύνουν την κατάσταση αυτή. Παρ'όλα αυτά, ένα πολύπλοκο σύστημα, που απαιτεί πολύ μεγάλες ακρίβειες, είναι αντιοικονομικό και σπαταλά υπολογίσιμο τμήμα της ενέργειας που απορροφά. (Κωστόπουλος 2020)

Εκτός από την περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου και την σπατάλη ενέργειας, το συμβατικό υδραυλικό σύστημα χαρακτηρίζεται και από μία ακαμψία σε περιπτώσεις όπου απαιτείται επιτάχυνση και επιβράδυνση των στοιχείων δράσης του μηχανήματος. Υπάρχουν τρεις τύποι αναλογικών βαλβίδων:

A) Αναλογικές βαλβίδες ελέγχου πίεσης. Κυρίως βαλβίδες ανακούφισης και περιορισμού πίεσης. Η ρύθμιση της πίεσης στις βαλβίδες αυτές ελέγχεται και ρυθμίζεται ηλεκτρονικά.

B) Αναλογικές βαλβίδες ελέγχου ροής. Στις βαλβίδες αυτές η διερχόμενη παροχή μεταβάλλεται με ηλεκτρονικό έλεγχο.

Γ) Αναλογικές βαλβίδες κατευθύνσεως. Βαλβίδες κατευθύνσεως οι οποίες μπορούν να ελέγξουν ταυτόχρονα την κατεύθυνση και την παροχή αναλόγως προς ένα ηλεκτρονικό σήμα.

2.7.3.2 ΠΗΝΙΑ ΚΑΙ ΕΜΒΟΛΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

Τα πηνία των αναλογικών βαλβίδων είναι πάντα πηνία υγρού περιβλήματος. Η διέλευση ρεύματος από το πηνίο δημιουργεί μία μαγνητική δύναμη, η οποία είναι ανάλογη προς την ένταση του ρεύματος. Η δύναμη αυτή επενεργεί στο ολισθαίνον έμβολο της βαλβίδας μέσω ενός πείρου. Η διαφορά μεταξύ του αναλογικού και του συμβατικού πηνίου βρίσκεται στην κατασκευή, η οποία επιτρέπει στο αναλογικό πηνίο να εξασκήσει μία σχεδόν σταθερή δύναμη καθ' όλο το μήκος της κίνησης του ολισθαίνοντος εμβόλου.

Η σχέση δύναμης επαγωγής και ρεύματος επί του πηνίου είναι κατά μεγάλο ποσοστό γραμμική στις αναλογικές βαλβίδες. Αυτό σημαίνει ότι η δύναμη που εξασκείται στο ολισθαίνον έμβολο είναι ανάλογη προς το ρεύμα που διέρχεται δια του πηνίου. Συνεπώς, το ολισθαίνον έμβολο, που ισορροπεί μεταξύ της επαγωγικής δύναμης του πηνίου και της τάσης ενός ελατηρίου ή μίας πίεσης, θα ισορροπεί σε απεριόριστες θέσεις, που καθορίζονται από την τιμή του ρεύματος διά του πηνίου. Ωστόσο αστάθμητοι παράγοντες, όπως οι ανοχές, το ιξώδες του ρευστού, ρύποι και θερμοκρασιακές διαφορές, είναι δυνατόν να επιδράσουν, έτσι ώστε με την ίδια τιμή ρεύματος, το ολισθαίνον έμβολο να καταλάβει διαφορετικές θέσεις. Η εξουδετέρωση του μειονεκτήματος αυτού γίνεται με την εφαρμογή ενός αισθητηρίου θέσης, που προσαρμόζεται στο ολισθαίνον έμβολο και δίνει ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο προς την θέση του εμβόλου. Το σήμα αυτό μεταδίδεται και προκαλεί μία ανάδραση στον ενισχυτή που ελέγχει την βαλβίδα, ώστε το ολισθαίνον έμβολο να τοποθετηθεί στην σωστή θέση με μία διάταξη κλειστού βρόχου. Το αισθητήριο θέσης, με την ανάδραση που προκαλεί, εξουδετερώνει τα αποτελέσματα των τριβών. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

2.7.3.3 ΤΥΠΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

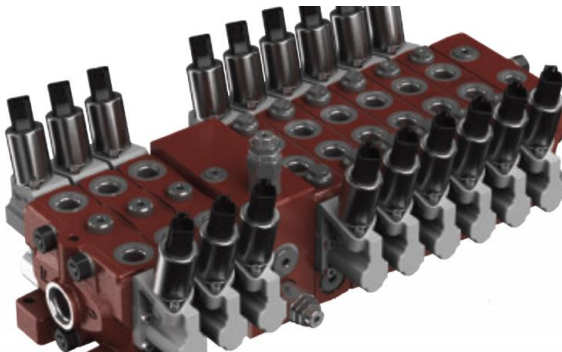
- **Αναλογικές βαλβίδες πίεσης.** Οι αναλογικές βαλβίδες πίεσης χωρίζονται σε ανακουφιστικές αναλογικές βαλβίδες και αναλογικές βαλβίδες περιορισμού πίεσης. Ο έλεγχος της κύριας ανακουφιστικής βαλβίδας ή κύριας βαλβίδας περιορισμού πίεσης πραγματοποιείται μέσω της βασικής ανακουφιστικής αναλογικής βαλβίδας. Υπάρχουν δύο τύποι αναλογικών βαλβίδων πίεσης, ο τύπος του ακροφυσίου και ο τύπος του ελάσματος. Ο τύπος του ακροφυσίου εργάζεται με την εφαρμογή ενός αιχμηρού κωνικού εμβολιδίου στο στόμιο ενός ακροφυσίου. Η θέση του κωνικού εμβολιδίου ελέγχεται από το αναλογικό πηνίο. Η σχετική θέση ακροφυσίου – κωνικού εμβολιδίου προσδιορίζει την πίεση. Ο τύπος ελάσματος χρησιμοποιεί ένα έλασμα, του οποίου η θέση ελέγχεται από την δύναμη του αναλογικού πηνίου. Το έλασμα είναι τοποθετημένο μπροστά από ένα ακροφύσιο. Η σχετική θέση ελάσματος – ακροφυσίου προσδιορίζει την πίεση. (Κωστόπουλος 2020)
- **Αναλογικές βαλβίδες ελέγχου ροής.** Οι αναλογικές βαλβίδες ελέγχου ροής είναι βαλβίδες κατευθύνσεως ολισθαίνοντος εμβόλου. Η θέση του εμβόλου καθορίζει το ποσό της παροχής. Οι βαλβίδες αυτές, ενώ δεν έχουν ισοσταθμιστή πίεσης, παρουσιάζουν κάποιο

βαθμό ισοστάθμισης με ειδικό σχεδιασμό των αιχμών του ολισθαίνοντος εμβόλου. Ωστόσο πλήρης ισοστάθμιση πίεσης μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ενός πρόσθετου στοιχείου με υδροστάτη. Τέτοια στοιχεία υπάρχουν τυποποιημένα με την μορφή πλάκας. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

- **Αναλογικές βαλβίδες κατευθύνσεως.** Οι αναλογικές βαλβίδες κατευθύνσεως συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των αναλογικών βαλβίδων ελέγχου ροής με την ικανότητα να ελέγχουν την κατεύθυνση της ροής. Είναι πανομοιότυπες με τις αναλογικές βαλβίδες ελέγχου ροής με την προσθήκη ενός δεύτερου αναλογικού πηνίου, ώστε να ελέγχεται και η κατεύθυνση της ροής. Υπάρχουν αναλογικές βαλβίδες κατευθύνσεως με ή χωρίς αισθητήριο θέσης. Όλες οι αναλογικές βαλβίδες κατευθύνσεως δέχονται στην είσοδο τους ένα τμήμα υδροστάτου που τους επιτρέπει να ρυθμίσουν την παροχή με ισοστάθμιση πίεσης. Παρουσιάζεται στα σχήματα 91 και 92. (Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 91. Απλή αναλογική βαλβίδα κατευθύνσεως, REXROTH. (Rexroth 2020)



Σχήμα 92. WALVOIL αναλογική βαλβίδα κατευθύνσεως 18 διόδων, με ηλεκτρικά πηνία για αυτόματη διάδοση του λαδιού στο σύστημα. (Walvoil 2020)

2.8 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

2.8.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΙΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

Καλούμε υδροστατικό μεταφορέα κίνησης το υδραυλικό σύστημα, όπου το ζεύγος αντλίας – υδραυλικού κινητήρα συνεργάζεται για την κατάλληλη μεταφορά ισχύος, υπό την μορφή ροπής στρέψης, όπως φαίνεται στο σχήμα 93. Ο υδροστατικός μεταφορέας κίνησης είναι μία μορφή κιβωτίου ταχύτητας και χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα κίνησης αυτοκινούμενων μηχανημάτων.

Ο υδροστατικός μεταφορέας κίνησης παρουσιάζει ορισμένα σοβαρά πλεονεκτήματα σύμφωνα με τον Jack Johnson (Hydraulics Pneumatics, 2020), μερικά εκ των οποίων είναι τα ακόλουθα:

A) Απεριόριστη και συνεχής μεταβολή των στροφών και της ροπής στρέψης στον άξονα του υδραυλικού κινητήρα.

B) Ο αριθμός των στροφών στον υδραυλικό κινητήρα μπορεί να παραμένει σταθερός ανεξαρτήτως των στροφών της αντλίας.

Γ) Η ταχύτητα και η ροπή στρέψης του υδραυλικού κινητήρα μπορεί να ελέγχεται με μεγάλη ακρίβεια και εξ'αποστάσεως.

Δ) Ο υδροστατικός μεταφορέας κίνησης ξεκινάει αμέσως και αποδίδει πρακτικώς ακαριαία ροπή στρέψης.

E) Ο υδραυλικός κινητήρας μπορεί να αποδίδει σταθερή ισχύ σε μεγάλο φάσμα ταχυτήτων.

ΣΤ) Η φορά περιστροφής του υδραυλικού κινητήρα μπορεί να αναστραφεί ακαριαία και χωρίς ισχυρό κραδασμό.

Z) Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σχετικά εύκολη, ενώ το σύστημα διαθέτει άριστη ασφάλεια έναντι υπερφόρτωσης.

H) Το μέγεθος, ο χειρισμός, οι φθορές και ο τρόπος εγκατάστασης του υδροστατικού μεταφορέα κίνησης είναι σαφώς πλεονεκτικά σε σύγκριση με τα μηχανικά ή ηλεκτρικά συστήματα.

Υπάρχουν τέσσερα στοιχεία που δίνουν τους συνδυασμούς αντλιών ή κινητήρων για την κατασκευή ενός μεταφορέα κίνησης: αντλία σταθερού κυβισμού, αντλία μεταβλητού κυβισμού, κινητήρας σταθερού κυβισμού και κινητήρας μεταβλητού κυβισμού (παροχής). Έτσι μπορούμε να έχουμε τέσσερα βασικά κυκλώματα που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Κυβισμός		Αποτέλεσμα		
Αντλία	Κινητήρας	Ροπή Στρέψης	Αριθμός Στροφών	Ισχύς
Σταθερός	Σταθερός	Σταθερά	Σταθερά	Σταθερά
Μεταβλητός	Σταθερός	Σταθερά	Μεταβλητή	Μεταβλητή
Σταθερός	Μεταβλητός	Μεταβλητή	Μεταβλητή	Σταθερά
Μεταβλητός	Μεταβλητός	Μεταβλητή	Μεταβλητή	Μεταβλητή

Κάθε ένα από τα τέσσερα αυτά κυκλώματα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας στην έξοδο (κινητήρας). Στα κυκλώματα αυτά, ο αριθμός στροφών της αντλίας θεωρείται σταθερός. Η μεταβολή του αριθμού στροφών της αντλίας, που στις περισσότερες περιπτώσεις συμβαίνει στην πράξη, περιπλέκει τα πράγματα και δημιουργεί και άλλους συνδυασμούς. Η αποδιδόμενη ισχύς είναι ανάλογη της πίεσης λειτουργίας του συστήματος και της παροχής της αντλίας. Η αποδιδόμενη ροπή στρέψης εξαρτάται από τον κυβισμό της αντλίας και του κινητήρα, καθώς και από την πίεση λειτουργίας του συστήματος.

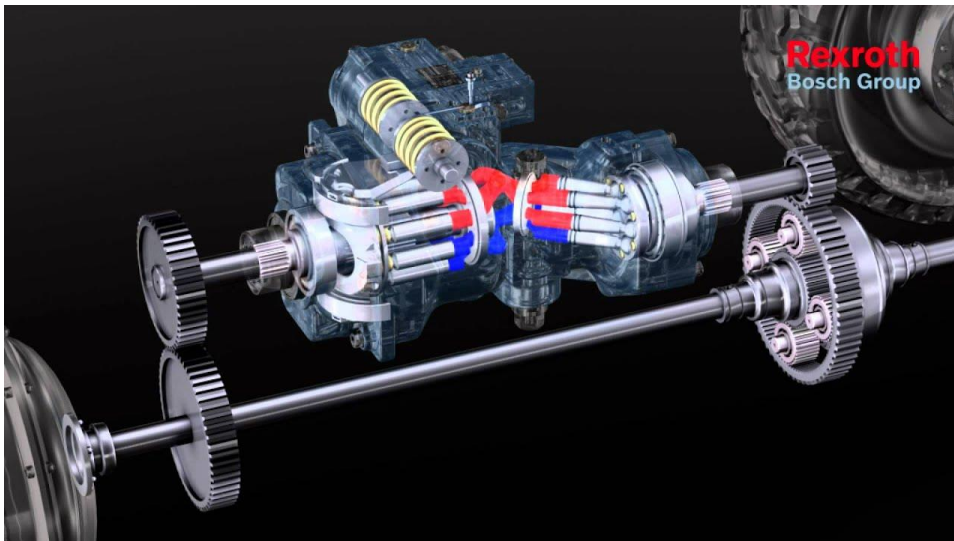
Διακρίνονται κλειστά και ανοικτά κυκλώματα υδροστατικών μεταφορέων κίνησης. Ένα κλειστό κύκλωμα είναι το κύκλωμα όπου οι επιστροφές τροφοδοτούν αμέσως την αναρρόφηση της αντλίας. Τα κλειστά κυκλώματα έχουν το πλεονέκτημα της απουσίας δεξαμενής, πράγμα σημαντικό σε ένα όχημα. Ένα ανοικτό κύκλωμα είναι το κύκλωμα όπου οι επιστροφές καταλήγουν σε μία δεξαμενή. Η απουσία δεξαμενής στο κλειστό κύκλωμα δημιουργεί το πρόβλημα της αναπλήρωσης του ρευστού που χάνεται με εξωτερικές απώλειες. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μία αντλία συμπλήρωσης μικρής παροχής, που εξασφαλίζει την συμπλήρωση του κλειστού κυκλώματος με ρευστό. (Jack Johnson, Hydraulics and Pneumatics 2020)

2.8.2 ΟΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΟΥΝ ΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

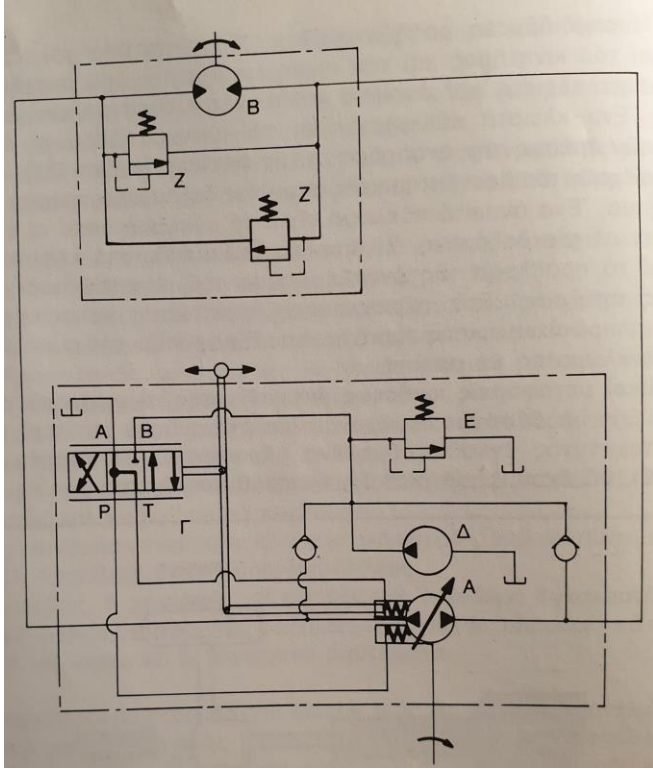
Εάν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα όχημα όπου αντί του κλασσικού κιβωτίου ταχύτητας εγκαθιστούμε ένα υδροστατικό μεταφορέα κίνησης, θα έχουμε μία διάταξη κλειστού κυκλώματος. Στο κύκλωμα που φαίνεται αναλυτικά στο σχήμα 94 έχουμε μία τέτοια διάταξη. Η αντλία μεταβλητού κυβισμού A και ο κινητήρας B είναι βασικά στοιχεία του κυκλώματος. Η βαλβίδα Γ ελέγχει με χειρισμό του οδηγού τον κυβισμό της κύριας αντλίας A, ενώ η αντλία Δ συμπληρώνει το ρευστό που χάνεται από το κύκλωμα και δίνει πίεση ελέγχου στο χειριστήριο. Η ανακουφιστική βαλβίδα E είναι βαλβίδα του συστήματος ελέγχου, ενώ οι ανακουφιστικές Z προστατεύουν τον κινητήρα κατά την πέδηση και εμποδίζουν την σπηλαιώση. Το σύστημα αυτό δεν παρουσιάζει σημαντικές απώλειες ενέργειας, αφού όλη η ενέργεια της αντλίας μεταφέρεται στον κινητήρα. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι ο κινητήρας αυτοσυγκρατείται σε περίπτωση που το φορτίο

τείνει να παρασύρει το όχημα, όπως σε κατηφόρα. Στις περιπτώσεις αυτές, ο κινητήρας γίνεται αντλία, ενώ οι στροφές ελέγχονται από τις ανακουφιστικές βαλβίδες Z και την αντλία A, που λειτουργεί ως κινητήρας. Τα κλειστά κυκλώματα χρησιμοποιούν συνήθως αντλίες μεταβλητής παροχής. Παρουσιάζεται στα σχήματα 95 και 96.

Εάν εξεταστεί η περίπτωση του ανοικτού κυκλώματος, το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 97, είναι κατανοητό ότι μια δεξαμενή είναι αναγκαία, αλλά και ότι είναι αναπόφευκτη η χρήση κιβωτίου ταχυτήτων, πλανητικών οδοντωτών τροχών και άξονος, με την προσαρμογή των υδραυλικών κινητήρων κατ'ευθείαν πάνω στους τροχούς. Στα ανοικτά αυτά κυκλώματα χρησιμοποιούνται αντλίες και κινητήρες σταθερής παροχής. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα του οχήματος ρυθμίζεται από τις στροφές της μηχανής ή από ρυθμιστή ροής. Ένα σημαντικό μειονέκτημα σε παρόμοια ανοικτά κυκλώματα, είναι η δυσκολία πεδήσεως. Η πέδηση του οχήματος μπορεί να γίνει μόνο με στραγγαλισμό της ροής στη χειροκίνητη βαλβίδα κατευθύνσεως.



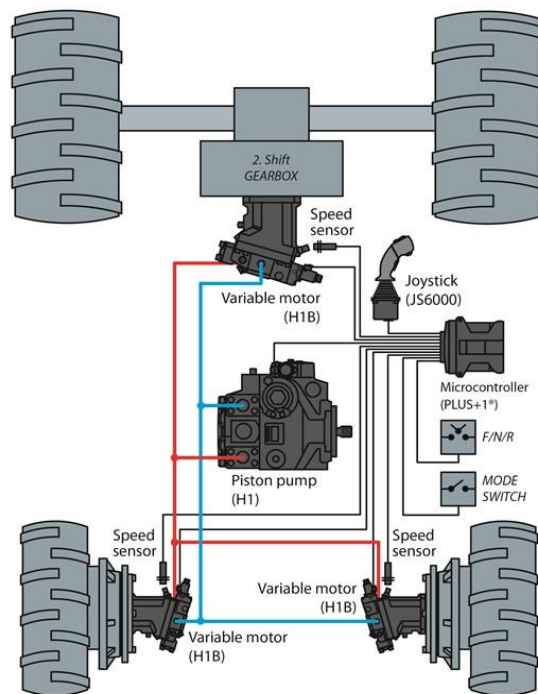
Σχήμα 93. Υδροστατικό κλειστό σύστημα μεταφοράς κίνησης (αντλία – κινητήρας) για την κίνηση οχήματος από την REXROTH. (Rexroth 2020)



Σχήμα 94. Κλειστό κύκλωμα υδροστατικού μεταφορέα κίνησης. (Κωστόπουλος 2020)

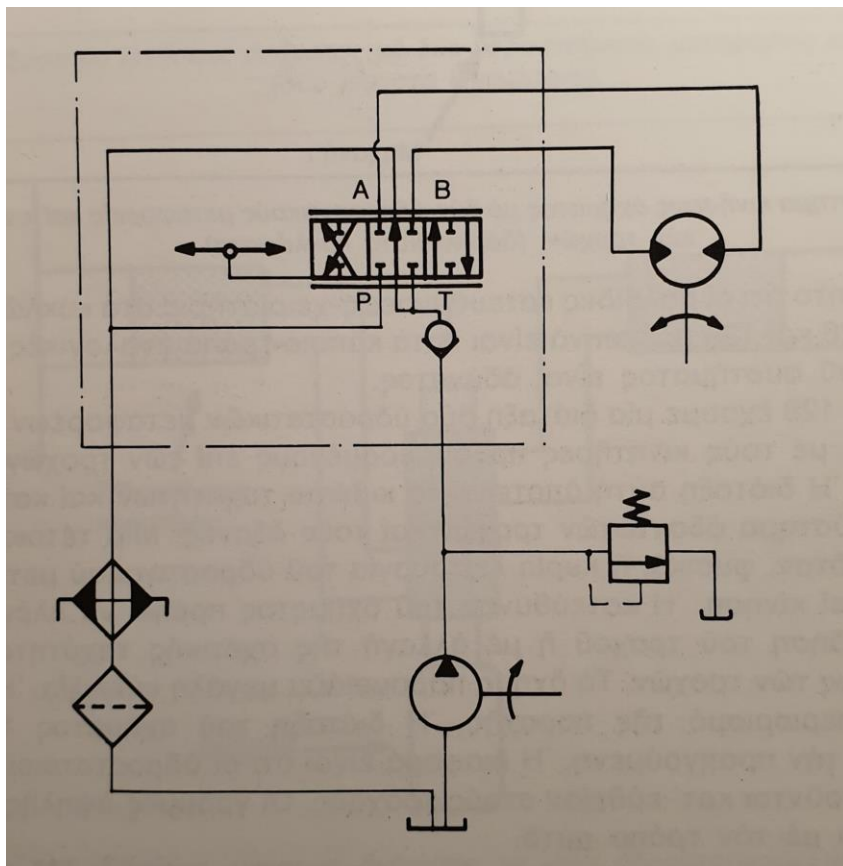


Σχήμα 95. Υδροστατικός κλειστός μεταφορέας κίνησης με πλανητικό σύστημα από την REXROTH. (Rexroth 2020)

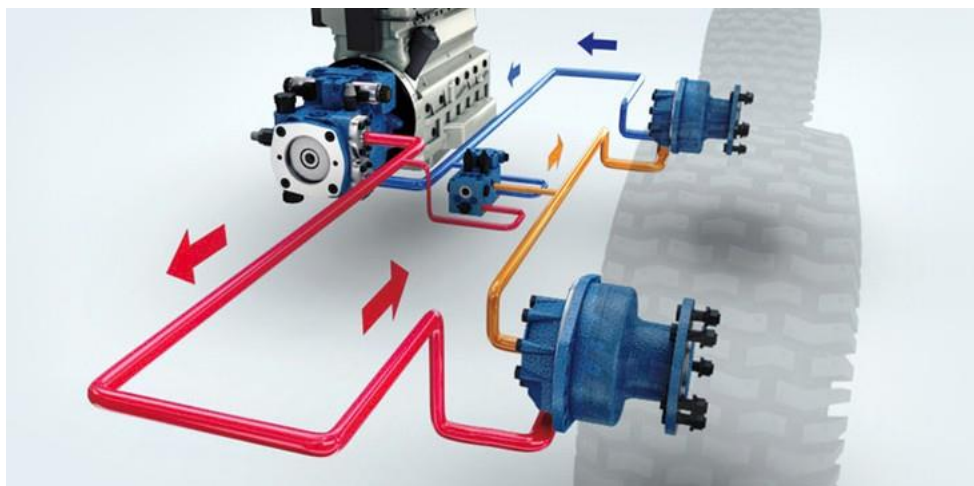


Σχήμα 96. Υδροστατικός κλειστός μεταφορέας κίνησης με πλανητικό σύστημα στους εμπρός τροχούς και με κινητήρες εφαρμοσμένους απευθείας επάνω στους πίσω τροχούς από την SAUER DANFOSS. (Danfoss 2020)

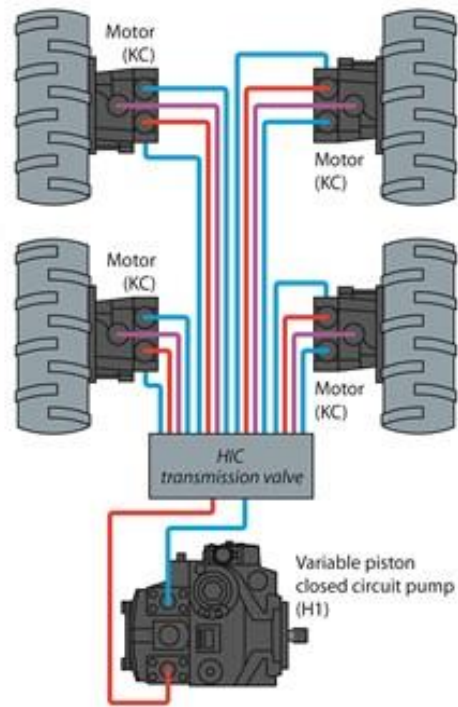
Είναι προφανές ότι οι βαλβίδες κατευθύνσεως – χειριστήρια στα κυκλώματα πρέπει να είναι κατά κάποιον τρόπο αναλογικές, αλλιώς ο χειρισμός του συστήματος είναι αδύνατος. Στα σχήματα 98 και 99 έχουμε διάταξη κλειστού κυκλώματος με τους κινητήρες προσαρμοσμένους επί των τροχών, ένα για κάθε τροχό. Η διάταξη αυτή αποτελεί το κιβώτιο ταχυτήτων και καταργεί το πλανητικό σύστημα οδοντωτών τροχών και τους άξονες. Μία τέτοια διάταξη συνηθίζεται όταν, φυσικά, η κύρια λειτουργία του υδροστατικού μεταφορέα είναι να δοθεί κίνηση. Η κατεύθυνση του οχήματος πρέπει να ελέγχεται με μηχανική πέδηση του τροχού ή με αλλαγή της σχετικής ταχύτητας ή της κατεύθυνσης των τροχών. Το όχημα παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία. Η πέδηση γίνεται με περιορισμό της παροχής.



Σχήμα 97. Ανοικτό κύκλωμα υδροστατικού μεταφορέα κίνησης. (Hydraulics and Pneumatics 2020)



Σχήμα 98. Σύστημα κίνησης οχήματος με τέσσερις κινητήρες στους τροχούς από την REXROTH. (Rexroth 2020)



Σχήμα 99. Σύστημα κίνησης οχήματος με τέσσερις κινητήρες στους τροχούς από την SAUER DANFOSS. (Danfoss 2020)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

3.1 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ο τρόπος για να εξασφαλισθεί η οικονομική και μακρά λειτουργία του υδραυλικού συστήματος στο μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων, είναι η τήρηση μερικών βασικών αρχών, που αφορούν στην καθαριότητα και την προληπτική συντήρηση του κάθε μηχανήματος. Οι ιδιαίτερες ή και τοπικές συνθήκες μέσα στις οποίες το κάθε σύστημα λειτουργεί, επηρεάζουν σημαντικά τις απαιτήσεις συντήρησης και επισκευής.

3.1.1 ΟΡΘΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σημαντικός είναι ο έλεγχος των παρακάτω σε τακτικά χρονικά διαστήματα:

- **Στάθμη ρευστού:** Η στάθμη του ρευστού της δεξαμενής πρέπει να ελέγχεται κατά την πρώτη περίοδο της λειτουργίας πολύ συχνά. Μείωση της στάθμης δημιουργεί κινδύνους αναρρόφησης αέρα και καταστροφής της αντλίας. Απώλεια ρευστού πρέπει να επισκευάζεται χωρίς καθυστέρηση. Ρευστό το οποίο διαπιστώνεται ότι έχει καταστραφεί πρέπει να αλλάζεται αμέσως.
- **Έδραση:** Η έδραση των αντλιών, των κινητήρων, των βαλβίδων και των κυλίνδρων πρέπει να ελέγχεται σε θερμοκρασία λειτουργίας και εάν είναι δυνατόν υπό πίεση λειτουργίας.
- **Σωληνώσεις:** Ολόκληρο το δίκτυο σωληνώσεων πρέπει να ελέγχεται ώστε να αποτρέπεται η διαρροή λαδιού.
- **Λειτουργία:** Η λειτουργία και οι συνθήκες λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος στο μηχάνημα πρέπει να ελέγχεται περιοδικά.

3.1.2 ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μετά από ένα διάστημα λειτουργίας, όλα τα στοιχεία ενός υδραυλικού συστήματος πρέπει να υπόκεινται σε εξέταση. Αναλόγως του τύπου του υλικού και των συνθηκών λειτουργίας, η εξέταση γίνεται μεταξύ ενός και πέντε ετών. Κατά την εξέταση αυτή πρέπει να εξετάζεται η παρουσία αλλοίωσης ή ρύπανσης. Στις περιπτώσεις αυτές, το ρευστό αλλάζεται και η δεξαμενή καθαρίζεται. Η αλλαγή του ρευστού δεν σημαίνει απλή αντικατάσταση με νέο. Η δεξαμενή πρέπει να καθαρισθεί προσεκτικά και όλο το κατεστραμμένο ρευστό να απομακρυνθεί. Μόνο όταν η δεξαμενή είναι καθαρή και οι σωληνώσεις ελεύθερες από κατεστραμμένο ρευστό, είναι η αλλαγή επιτυχής. Τα φίλτρα πρέπει να καθαρισθούν και ο πυρήνας τους να αλλαχθεί, εάν είναι αναγκαίο. Τα φίλτρα πρέπει να καθαρίζονται ή να αλλάζονται σε τακτά διαστήματα, για παράδειγμα κάθε 500 ώρες λειτουργίας. Η συχνότητα αλλαγής εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας και το περιβάλλον. Στο σχήμα 100 παρουσιάζεται το υδραυλικό ρευστό σε διάφορες καταστάσεις κατά την διάρκεια της ζωής του. (Κωστόπουλος 2020)



Σχήμα 100. Από τα αριστερά προς τα δεξιά, το υδραυλικό ρευστό σε άριστη κατάσταση και το ρευστό μετά από αρκετές ώρες λειτουργίας υπό πίεση. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

3.1.3 ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

Είναι πρακτικά δύσκολη η κωδικοποίηση των ενεργειών που χρειάζονται για την επισήμανση και ανεύρεση βλαβών σε ένα υδραυλικό σύστημα. Ωστόσο, μία λογική ανάλυση οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα. Η συνηθέστερη μέθοδος είναι η αλλαγή τυχαίων ή ύποπτων στοιχείων του συστήματος και δοκιμές μέχρι να εντοπισθεί η αιτία του προβλήματος. Όμως κατά κανόνα, χρόνος και προσπάθειες μπορούν να εξοικονομηθούν με στοχευμένη αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων. Τέτοια προβλήματα είναι ο υπερβολικός θόρυβος, η υπερθέρμανση, η λανθασμένη παροχή, η εσφαλμένη πίεση και η γενικότερα κακή λειτουργία του συστήματος. Το πρώτο βήμα, όμως, για την ανεύρεση μίας βλάβης, είναι η ακινητοποίηση του συστήματος και η εξουδετέρωση πηγών ενέργειας που είναι δυνατόν να γίνουν επικίνδυνες κατά την προσπάθεια εντοπισμού της βλάβης. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι αιτίες αλλά και οι ενέργειες για την αντιμετώπιση υπερβολικού θορύβου σε ένα μηχάνημα. Παρόμοιες είναι και οι ενέργειες αντιμετώπισης άλλων προβλημάτων, όπως, η υπερθέρμανση, μηδενική – χαμηλή – υπερβολική παροχή λαδιού, καθώς και μηδενική – χαμηλή – ακανόνιστη – υπερβολική πίεση. (Ian Miller, Hydraulics and Pneumatics, 2020)

Υπερβολικός θόρυβος μπορεί να υπάρχει στην αντλία, στον κινητήρα ή στην ανακουφιστική βαλβίδα. Θόρυβος στην αντλία μπορεί να υπάρχει λόγω σπηλαίωσης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνουν ή να ελεγχθούν τα ακόλουθα:

1. Αλλαγή κατεστραμμένων φίλτρων
2. Καθαρισμός των φίλτρων προστασίας της αντλίας με κάποιο διαλυτικό υγρό που δεν προσβάλλει το υδραυλικό ρευστό.
3. Απελευθέρωση της αναρρόφησης από ξένα σώματα.
4. Καθαρισμός ή αντικατάσταση του αναπνευστήρα της δεξαμενής.
5. Αλλαγή του υδραυλικού ρευστού.

6. Ρύθμιση της αντλίας στον κατάλληλο αριθμό στροφών.
7. Επισκευή ή αλλαγή της αντλίας τροφοδοσίας της αναρρόφησης.
8. Έλεγχος αν το ρευστό είναι πολύ ψυχρό.

Θόρυβος στην αντλία σημαίνει επίσης, ότι ενδέχεται να υπάρχει αέρας στο ρευστό. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ελεγχθεί ή να γίνει κάποιο από τα ακόλουθα:

1. Σύσφιξη των συνδέσμων που παρουσιάζουν διαρροές.
2. Συμπλήρωση της δεξαμενής μέχρι το κατάλληλο επίπεδο.
3. Απομάκρυνση του αέρα από το σύστημα.
4. Αλλαγή του δακτυλίου στεγανότητας διατομής του άξονα της αντλίας και του ίδιου του άξονα, αν έχει φθορά στο σημείο επαφής του δακτυλίου στεγανότητας.

Θόρυβος σε κινητήρα και αντλία μπορεί να προκύψει από την κακή ευθυγράμμιση του συμπλέκτη. Με την σωστή ευθυγράμμιση μεταξύ τους, τον έλεγχο των δακτυλίων στεγανότητας, των ένσφαιρων τριβέων και του συμπλέκτη μπορεί να αντιμετωπιστεί ο υπερβολικός θόρυβος. Αν υπάρχει θόρυβος στην ανακουφιστική βαλβίδα, μια λύση είναι η εγκατάσταση μανομέτρου και η ρύθμιση στην σωστή πίεση. Τέλος, αν η αντλία, ο κινητήρας και η ανακουφιστική βαλβίδα είναι εντελώς κατεστραμμένα πρέπει να γίνει άμεση επισκευή ή αντικατάσταση.



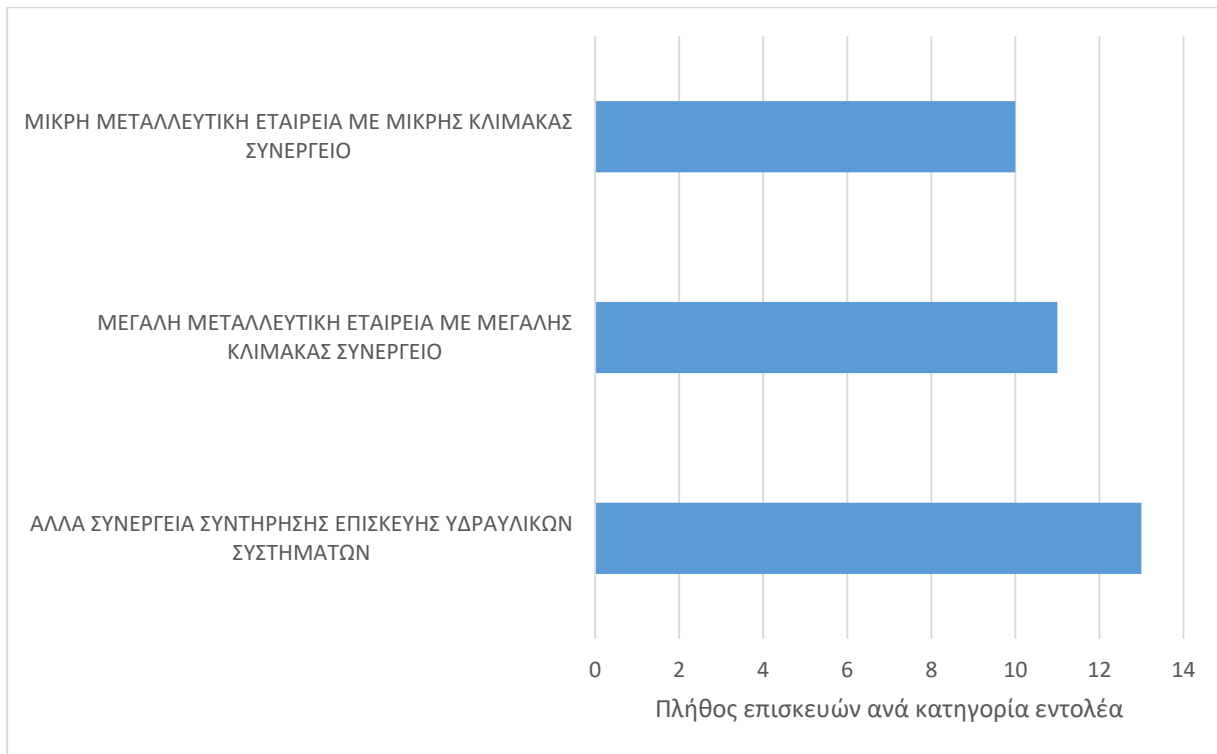
Σχήμα 101. Στην συγκεκριμένη φωτογραφία παρουσιάζονται κάποια από τα ανταλλακτικά μιας υδραυλικής αντλίας, τα οποία προφανώς χρειάζονται αντικατάσταση. Τα αποτελέσματα αυτά προκύπτουν από κακό καθαρισμό του συστήματος, από αέρα στο κύκλωμα και από λειτουργία του μηχανήματος έως την βλάβη.

3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται πραγματικά δεδομένα που αφορούν στην επισκευή και συντήρηση υδραυλικών συστημάτων μηχανικού εξοπλισμού μεταλλείων και τεχνικών έργων. Αυτή η μελέτη πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια ενός συνεργείου υδραυλικών συστημάτων, το οποίο βρίσκεται στην Αθήνα. Το συγκεκριμένο συνεργείο είναι ένα από τα παλαιότερα και ισχυρότερα στον κλάδο του. Η εταιρεία Hydro Titan διαθέτει εμπειρία 45 ετών στον τομέα των υδραυλικών συστημάτων και το πελατολόγιο της αποτελείται από κατασκευαστικές, μεταλλευτικές και ναυτιλιακές εταιρείες, ενώ μπορεί να εξυπηρετήσει και την βαριά βιομηχανία. Η Hydro Titan είναι επίσημος “Sales and Service Partner” της Bosch Rexroth και είναι “Official Distributor and Representative” της Hansaflex, η οποία είναι εταιρεία εύκαμπτων σωλήνων. Η συνεργασία της, λοιπόν, με την Rexroth την καθιστά βασική εταιρεία για την επισκευή των υδραυλικών αντλιών, κινητήρων και βαλβιδών σε μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων. Η εταιρεία διαθέτει εγκαταστάσεις 2000 τ.μ., ένα δοκιμαστήριο αντλιών και κινητήρων της Rexroth, εμπορεύματα καινούργιων και μεταχειρισμένων αντλιών και κινητήρων, καθώς και ανταλλακτικών αυτών, και το προσωπικό της ανέρχεται στα 35 άτομα. Τέλος, η Hydro Titan αποτελεί βασικό πυλώνα παροχής υπηρεσιών και υδραυλικών εξαρτημάτων σε διάφορα ανάλογα συνεργεία της Ελλάδας, κυρίως στην επαρχία. Η τεχνογνωσία της εταιρείας και η εμπορική της δύναμη, την καθιστούν μία από τις δυναμικότερες εταιρείες του συγκεκριμένου κλάδου στην ελληνική αγορά.

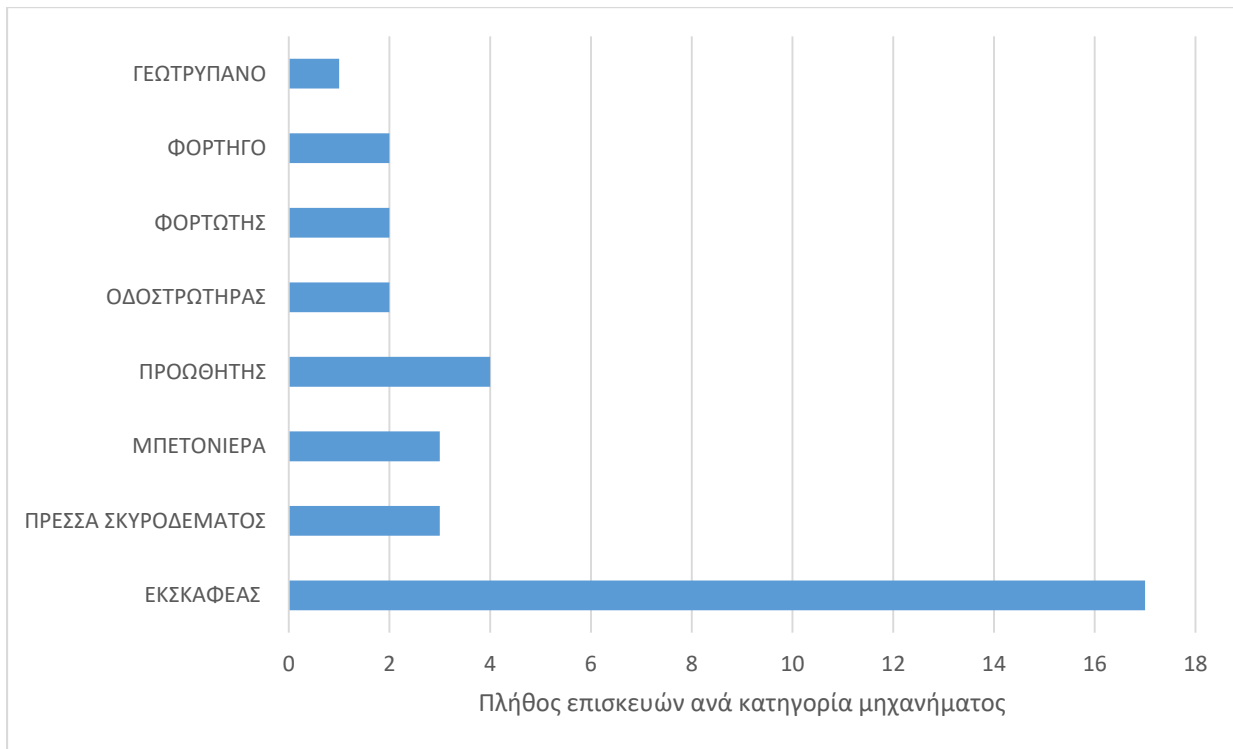
Η μελέτη αυτή αφορά το έτος 2019 και συγκεκριμένα δεδομένα από 1/1/2019 έως και 31/12/2019. Τα γραφήματα αφορούν στην κατανομή εργασιών συντήρησης ανά μήνα, στις διαφορετικές κατηγορίες μηχανημάτων των οποίων ο υδραυλικός εξοπλισμός επισκευάζεται, στις μάρκες του υδραυλικού εξοπλισμού, στο είδος των μηχανημάτων, στο είδος συντήρησης και, τέλος, στις διαφορετικές κατηγορίες εντολέα που χρειαζόταν την επισκευή. Συγκεκριμένα:

A) Κατηγορίες εντολέων



Στο γράφημα αυτό παρατηρεί κανείς τρεις κύριες κατηγορίες εντολέων: Μικρή μεταλλευτική εταιρεία με μικρής κλίμακας συνεργείο, μεγάλη μεταλλευτική εταιρεία με μεγάλης κλίμακας συνεργείο, και άλλα συνεργεία συντήρησης και επισκευής υδραυλικών συστημάτων. Μεγάλη μεταλλευτική εταιρεία μπορεί να θεωρηθεί ένα μεγάλο μεταλλείο, ένα ορυχείο ή μια μεγάλη τεχνική εταιρεία. Μικρή μεταλλευτική εταιρεία θεωρείται μία μικρή τεχνική εταιρεία, ένας ιδιώτης με ένα μηχάνημα ή και μία εταιρεία ενοικίασης μηχανολογικού εξοπλισμού σε μεταλλεία και τεχνικά έργα. Τέλος, σε ολόκληρη την Ελλάδα υπάρχουν συνεργεία συντήρησης και επισκευής υδραυλικών συστημάτων, τα οποία επιθυμούν να μην πραγματοποιήσουν ορισμένες επισκευές, διότι δεν κατέχουν το κατάλληλο εξοπλισμό ή την κατάλληλη τεχνογνωσία. Έτσι, λοιπόν, το συνεργείο στην Αθήνα επισκευάζει τα συγκεκριμένα υδραυλικά εξαρτήματα με σκοπό να εξυπηρετηθούν τα υπόλοιπα συνεργεία και εν συνεχεία να εξυπηρετηθούν οι διαφορετικές εταιρείες που διαθέτουν τον μηχανικό εξοπλισμό. Αν παρατηρήσει κάποιος το συγκεκριμένο γράφημα, θα διαπιστώσει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά στους εντολείς. Δηλαδή, από τις 34 επισκευές οι 13 είναι από διάφορα συνεργεία, οι 11 από μεγάλες μεταλλευτικές εταιρείες και οι 10 από μικρές μεταλλευτικές εταιρείες.

Β) Κατηγορίες μηχανημάτων



Το συγκεκριμένο γράφημα φαίνονται οκτώ διαφορετικά είδη μηχανημάτων: Εκσκαφέας, πρέσσα σκυροδέματος, μπετονιέρα, προωθητής, οδοστρωτήρας, φορτωτής, φορτηγό, γεωτρύπανο. Εννοείτε πως υπάρχουν και άλλα είδη μηχανημάτων στην Ελλάδα. Παρ'όλα αυτά, όμως, το συγκεκριμένο συνεργείο επισκεύασε, με βάση τη μελέτη περίπτωσης, τον υδραυλικό εξοπλισμό των συγκεκριμένων μηχανημάτων. Ο εκσκαφέας, με βάση το διάγραμμα, είναι το συχνότερο μηχάνημα. Αυτό συμβαίνει, διότι, ένας εκσκαφέας δεν χρησιμοποιείται μόνο από τεχνικές και μεταλλευτικές εταιρείες, αλλά χρησιμοποιείται αρκετά συχνά και από ιδιώτες για τοπικές εργασίες. Συχνές, επίσης, είναι οι πρέσσες σκυροδέματος και μπετονιέρες, καθώς και οι προωθητές. Το μηχάνημα που συναντάται συχνότερα σε μεταλλεία και κατασκευαστικά έργα στην παγκόσμια αγορά είναι ο εκσκαφέας και μετά ο προωθητής. Για την πρώτη και την δεύτερη θέση συμφωνούν και τα δεδομένα του περιοδικού MASCUS, το οποίο, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα, τοποθετεί στις πρώτες τρεις θέσεις τους ερπυστριοφόρους εκσκαφείς, τους ελαστικοφόρους φορτωτές και τους μικρούς εκσκαφείς, δυναμικότητας κάτω από επτά τόνους, για τα κατασκευαστικά έργα.

MOST REQUESTED TOP 10 CONSTRUCTION

MACHINES

#01 CRAWLER EXCAVATORS

#02 WHEEL LOADERS

#03 MINI EXCAVATORS < 7T

**#04 WHEELED EXCAVATORS | #05 BACKHOE
LOADERS | #06 TELESCOPIC HANDLERS |**

#07 ALL TERRAIN CRANES | #08 DOZERS |

#09 TRUCK MOUNTED AERIAL PLATFORMS |

#10 MIDI EXCAVATORS 7T - 12T

BRANDS

#01 CATERPILLAR

#02 VOLVO

#03 JCB

#04 KOMATSU | #05 LIEBHERR |

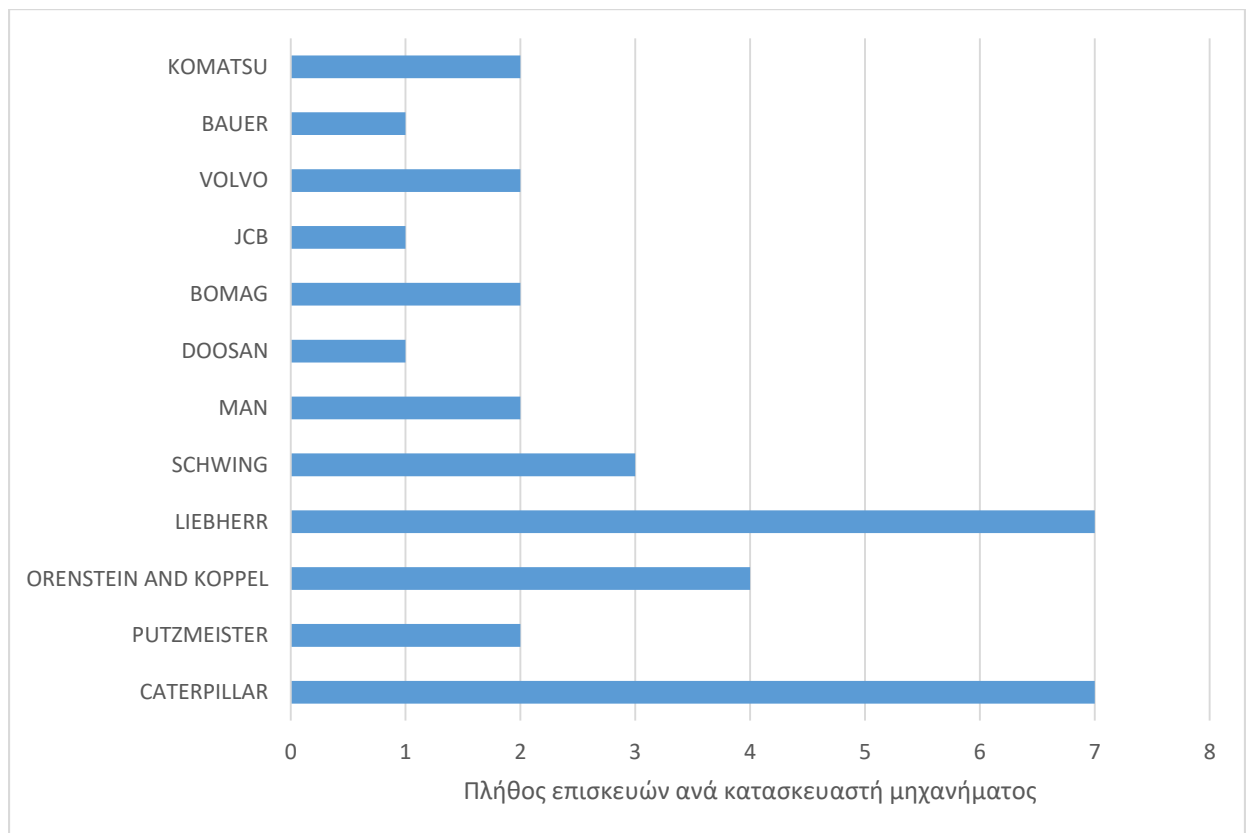
#06 HITACHI | #07 MANITOU |

#08 DOOSAN | #09 KUBOTA |

#10 BOBCAT

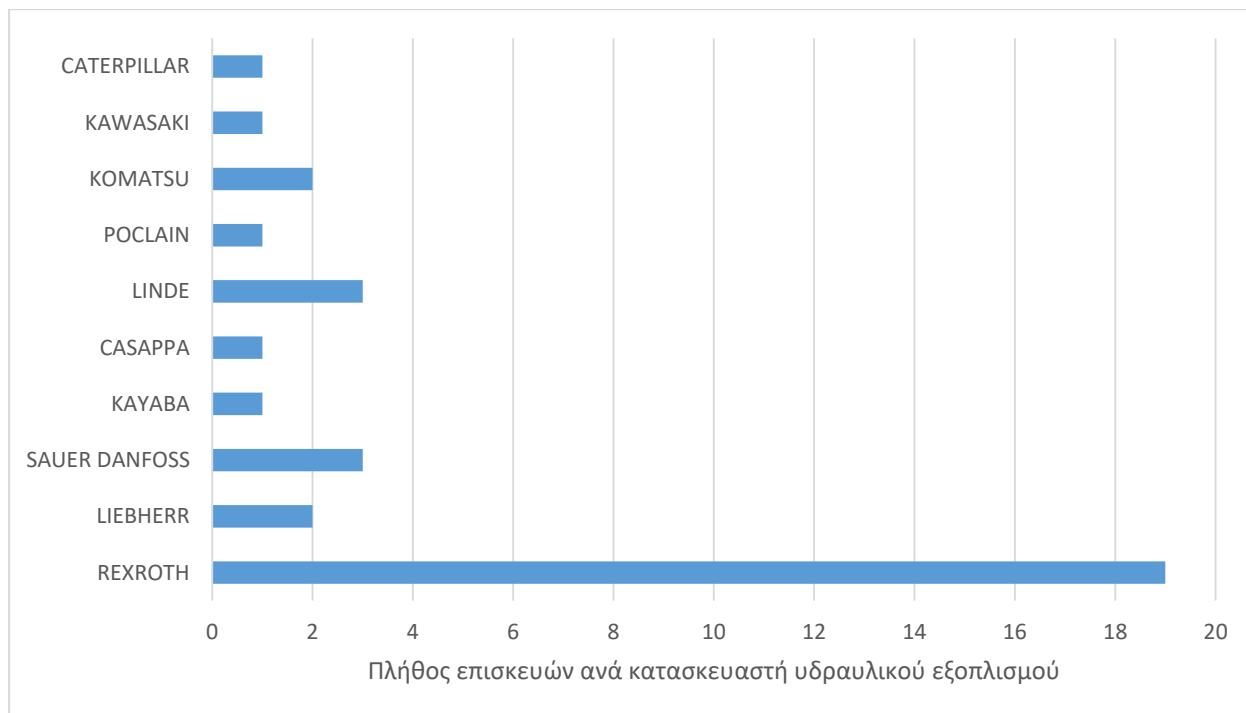
Σχήμα 102. Κατάταξη του πληθυσμού μηχανημάτων σύμφωνα με το περιοδικό MASCUS.

Γ) Κατασκευαστής μηχανημάτων



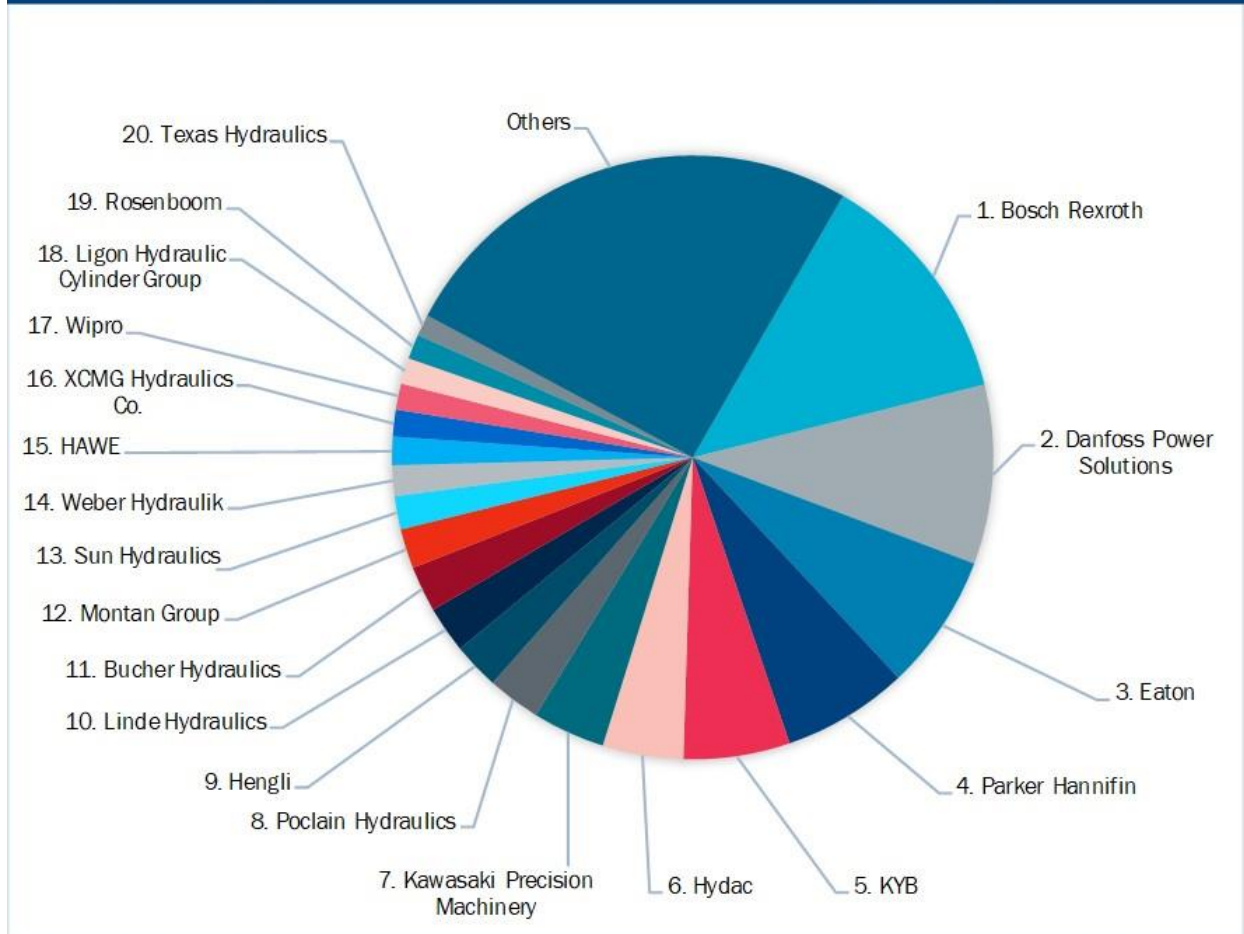
Με βάση το παραπάνω γράφημα υπάρχουν 12 κατασκευαστές, σε μηχανήματα των οποίων εκτελέστηκαν εργασίες επισκευής και συντήρησης: Caterpillar, Putzmeister, Orenstein and Koppel, Liebherr, Schwing, MAN, Doosan, Bomag, Volvo, JCB, Bauer, και Komatsu. Με βάση το διάγραμμα, συχνότερα επισκευάστηκαν μηχανήματα των Caterpillar και Liebherr. Οι συγκεκριμένοι κατασκευαστές διαθέτουν την μεγαλύτερη ποικιλία μηχανημάτων, όλα τα μεγέθη και γενικά πρωτοπορούν σε κατασκευή νέων τεχνολογιών με αποτέλεσμα το μερίδιό τους στη σχετικά γορά να είναι από τα μεγαλύτερα.. Το ίδιο ισχύει και για την O&K, η οποία όμως δεν υπάρχει πλέον στην αγορά καθώς εξαγοράστηκε το 1999 από μία μεγάλη αυτοκινητοβιομηχανία της Ιταλίας, την FIAT, και εν συνεχεία δεν αναπτύχθηκε στο τμήμα των μηχανημάτων. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν ακόμα αρκετά μηχανήματα O&K στην ελληνική αγορά, με τα περισσότερα να είναι παλιά. Σύμφωνα με την Marcia Gruver Doyle και το MASCUS, CATERPILLAR, VOLVO και JCB είναι οι πιο διαδεδομένες μάρκες για το 2019, όσον αφορά στα τεχνικά έργα. Συνεπώς, τα δεδομένα του γραφήματος δεν βρίσκονται σε σημαντική αναντιστοιχία με τα διεθνή ισχύοντα.

Δ) Κατασκευαστές υδραυλικού εξοπλισμού



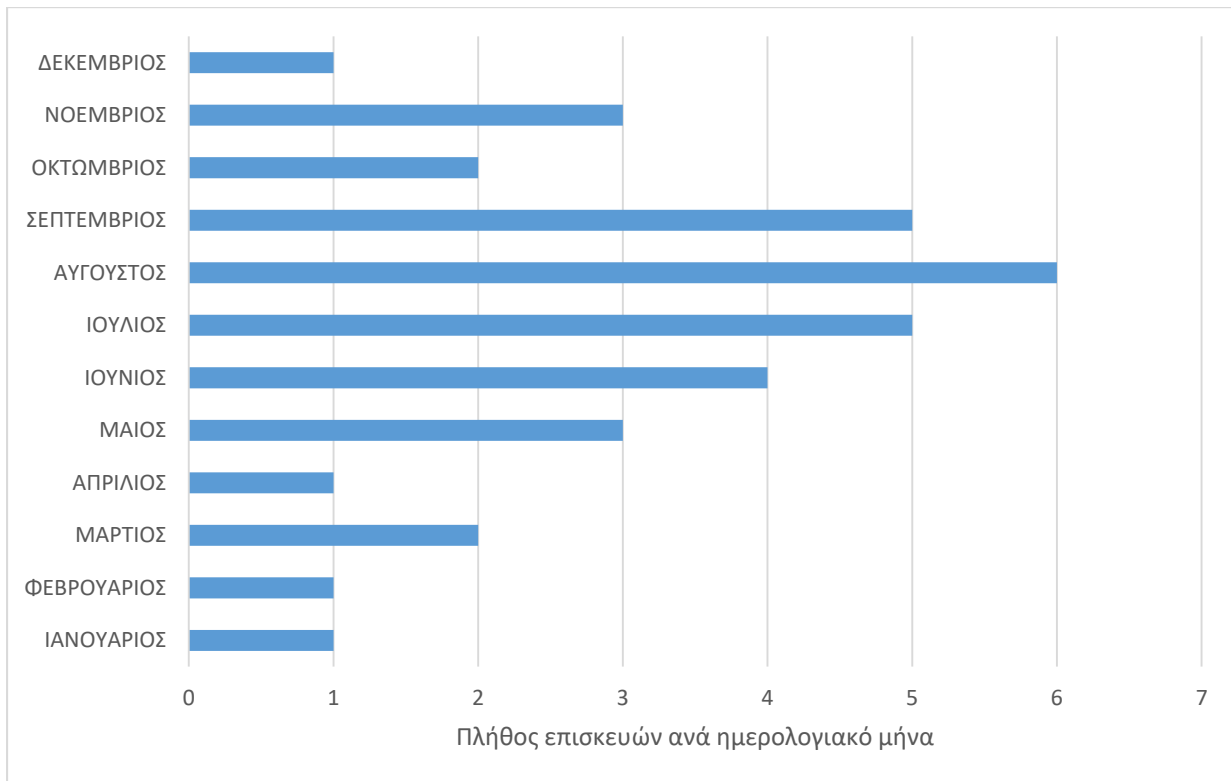
Στο παραπάνω γράφημα φαίνονται δέκα κατασκευαστές υδραυλικών συστημάτων υψηλής πίεσης. Αυτοί είναι οι εξής: Rexroth, Liebherr, Sauer Danfoss, Casappa, Kayaba, Linde, Poclain, Komatsu, Kawasaki, Caterpillar. Οι μάρκες αυτές είναι γερμανικές, ιαπωνικές, αμερικάνικες και ιταλικές. Η πιο γνωστή, αξιόπιστη και πρωτοποριακή είναι η Rexroth, που ανήκει στον όμιλο της Bosch. Είναι γερμανική εταιρεία που έχει εργοστάσια, εκπροσώπους και επισκευαστικά κέντρα σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με το γράφημα Γ, η Caterpillar και η Liebherr είναι οι πιο συχνές μάρκες μηχανικού εξοπλισμού σε μεταλλεία και τεχνικά έργα. Στις συγκεκριμένες δύο μάρκες τα περισσότερα υδραυλικά εξαρτήματα του κυκλώματος είναι Rexroth, οπότε είναι λογικό και η Rexroth να είναι πρώτη σε εφαρμογές, όπως φαίνεται στο γράφημα Δ. Από τις 34 εφαρμογές υδραυλικών οι 19 είναι Rexroth. Επίσης, σύμφωνα με τον Blake Griffin της Interact Analysis, για το έτος 2017, η Rexroth είναι η πρώτη, με διαφορά, εταιρεία σε εφαρμογές και πωλήσεις και αυτό παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Για το έτος 2016, ίδια σχεδόν αποτελέσματα εκφράζει η Michelle Difrangia της Technavio, η οποία τοποθετεί με σειρά τις παρακάτω τέσσερις πιο γνωστές και αποδοτικές μάρκες υδραυλικών: Rexroth, Eaton, Kawasaki και Parker και Danfoss.

Global Mobile Hydraulic Market - Estimated Market Shares (FY2017)



Σχήμα 103. Το διάγραμμα της Interact Analysis.

Ε) Επισκευές ανά ημερολογιακό μήνα

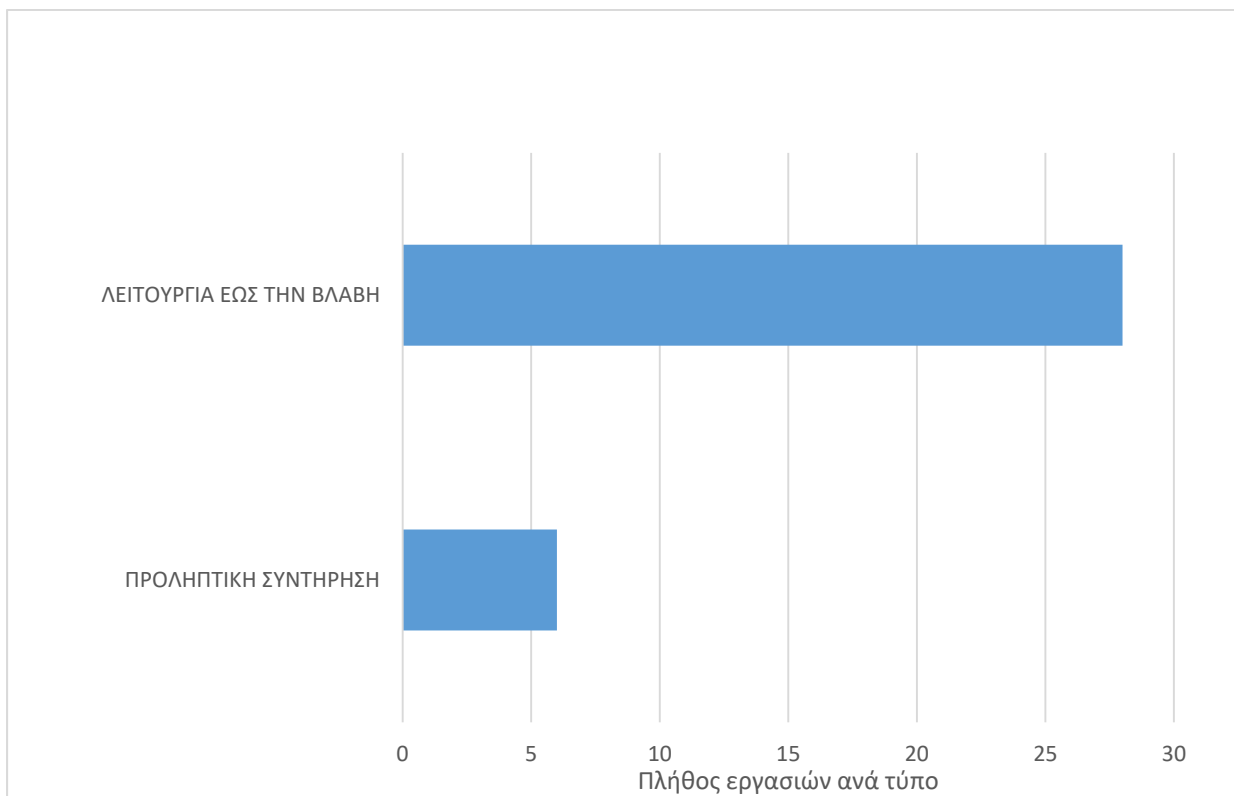


Το παραπάνω γράφημα παρουσιάζει την κατανομή των επισκευών ανά ημερολογιακό μήνα. Είναι εμφανές ότι τους καλοκαιρινούς μήνες οι επισκευές είναι πολύ περισσότερες. Αυτό συμβαίνει διότι οι θερμοκρασίες τους μήνες αυτούς είναι υψηλές. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα για ένα υδραυλικό κύκλωμα μηχανήματος είναι η υψηλή θερμοκρασία. Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος σε συνδυασμό με αυξημένες εσωτερικές διαρροές, οι οποίες προκύπτουν από φθορά ανταλλακτικών και τριβή εξαρτημάτων σε αντλίες και κινητήρες, οδηγεί σε επισκευαστική συντήρηση. Επισκευαστική συντήρηση προκύπτει από την λειτουργία έως την βλάβη. Η υψηλή θερμοκρασία επίσης μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των εύκαμπτων σωλήνων, σε ολική καταστροφή στεγανών, καθώς και σε πτώση πίεσης λόγω φθοράς των ανταλλακτικών. Τέλος, η υψηλή θερμοκρασία έχει μεγάλο αντίκτυπο στο ρευστό του κυκλώματος, του οποίου, λόγω υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, η σύσταση αλλάζει.

Επίσης, επισκευή προκύπτει και για άλλους λόγους. Καταρχάς, η πτώση της παροχής είναι ένα συχνό φαινόμενο, το οποίο προκύπτει από εσωτερική διαρροή λόγω φθοράς. Η πτώση της πίεσης είναι, όμως, ένας κύριος λόγος επισκευής. Είναι αποτέλεσμα προχωρημένων διαρροών. Πτώση παροχής, πίεσης και αύξηση θερμοκρασίας προκύπτουν και λόγω άλλων υδραυλικών εξαρτημάτων, όπως οι ασφαλιστικές βαλβίδες ή οι αντεπίστροφες βαλβίδες, οι οποίες δεν κλείνουν καλά. Για τον εντοπισμό του προβλήματος είναι απαραίτητος ο εξονυχιστικός έλεγχος, όπου κρίσιμο ρόλο παίζει η εμπειρία του επισκευαστή. Σημαντικές είναι και οι απώλειες εντός

των σωληνώσεων. Η ελαστικότητα των κυλίνδρων και των σωληνώσεων και η συμπιεστότητα που έχουν τα υδραυλικά υγρά, καθώς και ο αέρας που υπάρχει σε αυτά, είναι αρκετά για να δημιουργήσουν διάφορα φαινόμενα, σε περιπτώσεις που οι πιέσεις είναι υψηλές και ο όγκος, υπό πίεση, μεγάλος. Η συμπιεστότητα γίνεται αντιληπτή όταν, για παράδειγμα, είναι απότομη η πτώση της πίεσης σε έναν κύλινδρο λίγο πριν την αναστροφή κίνησης του ή σε ένα απότομο σταμάτημα του μηχανήματος. Οι τριβές, λοιπόν, έχουν ως αποτέλεσμα τις απώλειες από πτώση της πίεσης. Συμπιεστότητα και τριβές σε συνδυασμό, παρ'όλα αυτά, μπορούν, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, να επηρεάσουν θετικά την απόσβεση των κρούσεων και του θορύβου στα υδραυλικά συστήματα στον μηχανικό εξοπλισμό. Οι παραπάνω αιτίες επισκευής μπορούν να συμβούν οποτεδήποτε, έχουν όμως, έως ένα βαθμό, σχέση και με τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού, οι οποίες δεν επηρεάζουν μόνο κινητήρες και αντλίες, αλλά και σωληνώσεις, βαλβίδες και ευρύτερα το κύκλωμα σε ένα μηχανήμα.

ΣΤ) Τύπος εργασιών



Στο παραπάνω διάγραμμα υπάρχουν τα δύο βασικά είδη επισκευής. Η επισκευή μετά από λειτουργία έως την βλάβη και η προληπτική συντήρηση. Ενώ είναι κατανοητό πως η προληπτική

συντήρηση είναι πιο αποτελεσματική, οικονομικότερη και βοηθάει στην μακροζωία όχι μόνο των υδραυλικών συστημάτων αλλά και του ίδιου του μηχανήματος, δεν είναι η επικρατούσα επιλογή συντήρησης για όλους τους εντολείς. Από τις 34 περιπτώσεις, μόνο 6 αποτελούν προληπτική συντήρηση. Συντήρηση των υδραυλικών συστημάτων στο μηχανικό εξοπλισμό τεχνικών έργων και μεταλλείων σημαίνει:

- Τεχνικός και χρονικός προγραμματισμός εργασιών.
- Διαχείριση εργαλείων και παραγωγικών μέσων γενικότερα.
- Διαχείριση υλικών και ανταλλακτικών.
- Προληπτικές ενέργειες και αντικαταστάσεις.
- Προγραμματισμός λίπανσης.
- Επισκευές, κατασκευές και βελτιώσεις.
- Προληπτικός, προγνωστικός και διαγνωστικός έλεγχος.

Είναι κατανοητό ότι η προληπτική συντήρηση δεν έχει σαν στόχο μόνο τις επισκευές, αλλά αποτελεί ένα βασικό παράγοντα για την ζωή της επιχείρησης, ειδικά όταν αυτή βασίζεται μόνο στη μακροζωία και στην απόδοση του μηχανικού εξοπλισμού. Εξασφαλίζεται ικανοποιητική κατάσταση λειτουργίας μέσω συστηματικών επιθεωρήσεων, εντοπισμού και διόρθωσης επικείμενων αστοχιών πριν εμφανιστούν ή πριν εξελιχθούν σε μεγάλες καταστροφές. Κατ' αυτόν τον τρόπο μειώνονται:

- Η ποιοτική υποβάθμιση του εξοπλισμού.
- Οι απρόβλεπτες βλάβες του εξοπλισμού.
- Οι περιττές επισκευές μηχανών.
- Η άσκοπη επανάληψη δραστηριοτήτων συντήρησης.
- Τα ελαττώματα σε καινούργιες μηχανές.
- Η ποσότητα των απαραίτητα διαθέσιμων ανταλλακτικών.
- Το επενδύμενο κεφάλαιο.
- Η κατανάλωση ενέργειας.
- Οι υπερωρίες.
- Οι λανθασμένες ενέργειες συντήρησης.

Παράλληλα αυξάνονται και βελτιώνονται:

- Η διάρκεια ζωής του μηχανικού εξοπλισμού.
- Η παραγωγικότητα του προσωπικού συντήρησης.
- Η συμμόρφωση σε κανονισμούς και νόμους.
- Η ασφάλεια και η αξιοπιστία.

3.3 ΕΙΔΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Με βάση το τελευταίο διάγραμμα για την κατανομή του τύπου εργασιών, κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση των τύπων συντήρησης και του αντίκτυπου τους τόσο στη ζωή του μηχανήματος, όσο και στην ίδια την επιχείρηση.

3.3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΩΣ ΤΗΝ ΒΛΑΒΗ

Το είδος αυτής της συντήρησης μηχανημάτων εφαρμόζεται όχι μόνο στο υδραυλικό σύστημα ενός μηχανήματος, αλλά και σε όλα τα υπόλοιπα τμήματα του. Η λογική αυτής της μεθόδου είναι ιδιαίτερα απλή. Τα μηχανήματα λειτουργούν χωρίς κάποια επέμβαση ή έλεγχο μέχρι την εμφάνιση βλάβης ή την μείωση της απόδοσης. Τότε και μόνο γίνεται αναγκαστική επέμβαση για την αποκατάσταση του προβλήματος. Μπορεί να ονομαστεί, επίσης και διορθωτική συντήρηση, με την έννοια ότι επεμβαίνει μόνο για να διορθώσει τις βλάβες και είναι συντήρηση εξ αντιδράσεως, με την έννοια ότι το τμήμα συντήρησης αντιδρά στις βλάβες που εμφανίζονται, αντί να τις προλαμβάνει. (Κωστόπουλος 2020)

Η λειτουργία ως την βλάβη δεν απαιτεί σπουδαία οργάνωση, ούτε προγραμματισμό. Απαιτεί όμως εκτέλεση εργασιών κάτω από συνθήκες πίεσης και περιορισμένου χρόνου που συνοδεύουν την εμφάνιση βλάβης. Παρόλα αυτά καλό είναι να εφαρμόζεται μόνο σε μικρής σημασίας και χαμηλού κόστους εξοπλισμό. Αν εφαρμόζεται σε υδραυλικά συστήματα, το κόστος είναι μεγάλο και αυτό αποτελεί πρόβλημα για την οικονομική και επικερδή λειτουργία του κάθε μηχανήματος. Εάν ένα μηχανήμα αφεθεί να λειτουργήσει μέχρι την βλάβη, πέρα από την σημαντική αύξηση του κόστους που προκύπτει από την μη προγραμματισμένη παραμονή της μονάδας εκτός λειτουργίας, υπάρχει το πρόσθετο κόστος της καταστροφής των εξαρτημάτων του υπόλοιπου υδραυλικού συστήματος. Αν, για παράδειγμα, μια αντλία καταστραφεί πλήρως, τότε τα ρινίσματα της, μικρά και μεγάλα, μπορούν να εισχωρήσουν στο κύκλωμα και να καταστρέψουν κινητήρες, βαλβίδες, φίλτρα, ακόμη και τις σωληνώσεις. Αυτές είναι οι λεγόμενες δευτερογενείς βλάβες. Στην φωτογραφία 104 παρουσιάζονται αποτελέσματα αντλιών που λειτουργούν έως την βλάβη. (Κωστόπουλος 2020)

HYDRAULIC PUMP PROBLEMS?



Σχήμα 104. Επάνω αντλία KAWASAKI K3V, κάτω αριστερά περιστρεφόμενο τμήμα αντλίας REXROTH σειράς A4VG, κάτω δεξιά περιστρεφόμενο τμήμα πτερυγιοφόρου αντλίας DENISON PARKER. Όλα εντελώς κατεστραμένα μετά από λειτουργία έως την βλάβη. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

3.3.2 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Διεθνώς έχουν καθιερωθεί πολλοί ορισμοί αυτής της μεθόδου. Κοινό σημείο αυτών είναι η ένταξη της διαδικασίας συντήρησης σε ένα χρονικά προγραμματισμένο πλαίσιο. Η λογική αυτής της μεθόδου συνίσταται στον προγραμματισμένο περιοδικό έλεγχο του υδραυλικού εξοπλισμού. Κάθε υδραυλικό σύστημα σε ένα μηχάνημα πρέπει να σταματάει και να επιθεωρείται επισταμένως μετά από συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας. Επειδή η προληπτική συντήρηση αποτελεί παρεμβατική μέθοδο συντήρησης, κάθε φθαρμένο εξάρτημα στο υδραυλικό σύστημα, και όχι μόνο, αντικαθίσταται και το μηχάνημα παραδίδεται σε λειτουργία.

Επομένως, η προληπτική συντήρηση συνίσταται σε έναν κύκλο από δραστηριότητες, οι οποίες προγραμματίζονται με συχνότητα που ορίζεται από το συνολικό χρονικό διάστημα από την προμήθεια ενός μηχανήματος, τις ώρες λειτουργίας του, την παραγωγική του ικανότητα και:

- Είτε παρατείνουν τη ζωή ενός μηχανήματος και του υδραυλικού του συστήματος, με την ανανέωση του ρευστού και τον καθαρισμό του κυκλώματος.
- Είτε αποκαλύπτουν ότι ένα εξάρτημα έχει φθαρεί σημαντικά και πρόκειται να αστοχήσει. Για παράδειγμα, τρίμηνη επιθεώρηση έδειξε ότι υπάρχει ρήγμα στο στεγανωτικό μίας αντλίας, οπότε η εύρεση του ρήγματος επιτρέπει την επισκευή πριν εμφανιστεί καταστροφική βλάβη.

Με βάση αυτήν την μέθοδο, η συντήρηση του υδραυλικού κυκλώματος σε ένα μηχάνημα οργανώνεται με σκοπό την πρόληψη ή διόρθωση καταστάσεων που μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφικές βλάβες, οι οποίες θα έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια παραγωγής, με όλα τα δυσάρεστα επακόλουθα. Ακόμα και αν αυτό σημαίνει ότι κάποια από τα εξαρτήματα πιθανότατα να αντικατασταθούν πριν την εξάντληση των ορίων λειτουργίας. Μολονότι στην προληπτική συντήρηση η παραγωγική διαδικασία σταματά, εντούτοις η παραγωγή που χάνεται προγραμματισμένα είναι πολύ μικρότερη από εκείνη που θα χανόταν σε μια απρόοπτη βλάβη. Η λογική αυτής της συντήρησης είναι ότι ο ρυθμός των βλαβών του εξοπλισμού ακολουθεί μία πορεία στην οποία μοναδικός παράγοντας επιρροής είναι ο χρόνος. Τα διαστήματα της συντήρησης είναι προκαθορισμένα, είτε από την εμπειρία του κατασκευαστή του συγκεκριμένου υδραυλικού τμήματος, είτε, σε μικρότερο βαθμό, από την συστηματική τήρηση αρχείων στην εγκατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο οι διαδικασίες συντήρησης μπορούν να προγραμματιστούν σε χρόνους αδράνειας του μηχανήματος και τα απαραίτητα ανταλλακτικά να εξασφαλισθούν σε κατάλληλο χρονικό διάστημα. Η λογική της υδραυλικής επισκευής πριν πραγματοποιηθεί η βλάβη αποτελεί την ουσιαστική διαφοροποίηση από τη λειτουργία του υδραυλικού συστήματος της μηχανής μέχρι την βλάβη αυτού. Ομοίως, η δυνατότητα προγραμματισμού του χρόνου επισκευής και προμήθειας ανταλλακτικών. Όταν υπάρχει αστοχία σε εξάρτημα του κυκλώματος, επακόλουθη είναι η καταστροφή των υπόλοιπων στοιχείων του, με αποτέλεσμα το αυξημένο κοστολόγιο επισκευών. Για παράδειγμα, εάν δεν αντικατασταθούν τα ρουλεμάν ενός υδραυλικού κινητήρα, θα χρειαστεί έπειτα να αντικατασταθούν τα έμβολα, ο άξονας και άλλα στοιχεία. Μερικές φορές, η βλάβη δεν είναι καταστροφική και έτσι το κόστος αποκατάστασης και το κόστος από τη βλάβη είναι παρόμοια. Όμως, η αναστολή της δράσης δημιουργεί την αβεβαιότητα και ένα συνεχώς αυξανόμενο πρόβλημα στο τμήμα συντήρησης. (Κωστόπουλος 2020)

Για να είναι υψηλή η απόδοση της προληπτικής συντήρησης, απαιτείται εκπαιδευμένο προσωπικό, αξιόπιστο και οργανωμένο σύστημα διακίνησης πληροφοριών, τα οποία υποστηρίζουν το σύστημα συντήρησης, δηλαδή την τακτική προγραμματισμένη επιθεώρηση και την προληπτική εργασία συντήρησης. Σημαντικό στοιχείο της προληπτικής συντήρησης είναι η διενέργεια ελέγχων. Έλεγχος είναι η διαδικασία η οποία:

- Εξετάζει εάν ο σχεδιασμός ή οι προδιαγραφές ενός υδραυλικού συστήματος σε ένα μηχάνημα είναι το προβλεπόμενο και με βάση τις απαιτήσεις.
- Εκτιμάει όλους τους παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν πιθανό πρόβλημα.
- Αναγνωρίζει όλους τους παράγοντες και τις αιτίες που μπορούν να οδηγήσουν σε διακοπή και εκτιμάει το χρονικό διάστημα στο οποίο πιθανότατα θα συμβεί.

Οι έλεγχοι πρέπει να προγραμματίζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία των μηχανημάτων, με τις επεμβάσεις, επισκευές ή αντικαταστάσεις που χρειάζεται να πραγματοποιηθούν, να μην έρχονται σε αντίθεση με το πρόγραμμα παραγωγής. Υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις όσον αφορά στην εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης, όπως:

- Οι αστοχίες που δεν εξαρτώνται από το χρόνο, δηλαδή εμφανίζονται σε τυχαία χρονικά διαστήματα.
- Οι εξαρτώμενες από τον χρόνο αστοχίες που σχετίζονται με την διάρκεια ζωής του υδραυλικού συστήματος και οι οποίες δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν γιατί και αυτές δεν εμφανίζονται μετά από ίσο χρονικό διάστημα. Υπάρχουν διάφορες αιτίες για αυτό, που οφείλονται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας και σε εξωτερικούς παράγοντες, όπως η κακή τοποθέτηση του εξαρτήματος, απώλεια ρευστού κ.λπ.
- Η διαδικασία για την διακοπή της λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος και η επανεκκίνηση του κάθε φορά που πραγματοποιείται επιθεώρηση. Μάλιστα όσο πιο μεγάλα και πιο βαριά είναι τα μηχανήματα που σταματούν, τόσο πιο δύσκολη και οικονομικά επιβαρυνόμενη είναι η επανεκκίνηση τους.

3.3.3 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗ – ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Το κρίσιμο σημείο για την επίτευξη μίας αποτελεσματικής συντήρησης, σύμφωνα με τον Κωστόπουλο (2020), είναι η εύρεση εκείνων των τεχνικών συντήρησης που θα είναι κατάλληλες για την δραστηριότητα της κάθε κατασκευαστικής ή μεταλλευτικής εταιρείας και κυρίως θα διασφαλίζουν:

- Προβλέψεις των μελλοντικών προβλημάτων και σχεδιασμό της αντιμετώπισης τους πριν αυτά γίνουν καταστροφικά.
- Περιορισμό της πιθανής αστοχίας στο στάδιο της αρχικής λειτουργίας και μείωση των επιπτώσεων όταν αυτή συμβεί.
- Εφαρμογή ενός προγράμματος ποιοτικής διασφάλισης, ιδιαίτερα για την συνεχή λειτουργία των καινούργιων μηχανημάτων.

- Παρακολούθηση και καταγραφή όλων των παραμέτρων της συντήρησης, έτσι ώστε τα στοιχεία που συλλέγονται να αξιοποιούνται και τα συμπεράσματα να αποτελούν το μέσο για την αύξηση και καλύτερευση της παραγωγικής διαδικασίας.

Με στόχο τα παραπάνω, τα οποία τελικά οδηγούν στην μεθοδική αλλαγή των εργασιών συντήρησης από εργασίες αποκατάστασης και επισκευών σε διαδικασία πρόγνωσης, πρόληψης και πρόβλεψης, αναπτύχθηκε η προβλεπτική ή προγνωστική συντήρηση. Η προγνωστική συντήρηση βασίζεται στην εφαρμογή συστήματος μέτρησης και ελέγχου που οδηγεί σε συμπεράσματα όσον αφορά στην πραγματική φυσική κατάσταση του εξοπλισμού εν ώρα λειτουργίας (μη παρεμβατική μέθοδος). Έτσι, λοιπόν, πριν την εμφάνιση σοβαρής βλάβης γίνεται πρόγνωση του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την επισκευή ή την συντήρηση.

Η προγνωστική συντήρηση χρησιμοποιεί τα θετικά χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων μεθόδων με το καλύτερο δυνατό συνδυασμό τους για να επιτύχει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Βασικό στοιχείο της διαδικασίας αυτής είναι η πρόληψη στην εμφάνιση βλάβης, αλλά με την χρήση της πρόγνωσης προκειμένου να επέμβει με διόρθωση της βλάβης, όπως στη διορθωτική συντήρηση, όταν πλέον αυτή είναι αναπόφευκτη. Αυτή η περίπτωση έχει μειωμένο κόστος σε σχέση με την επαναλαμβανόμενη προληπτική συντήρηση, επειδή οι δραστηριότητες της συντήρησης πραγματοποιούνται μόνο όταν υπάρχει πραγματική αιτία. Η προγνωστική - προβλεπτική συντήρηση απαιτεί ύπαρξη καλής οργάνωσης και υποδομής του συνεργείου συντήρησης. Δεν πρέπει να υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στα συνεργεία επεμβάσεων και ελέγχου. Χωρίζονται και αποκεντρώνονται σε μικρότερους τομείς ευθύνης που εκτελούν κάθε έλεγχο και επέμβαση. Ο έλεγχος του μηχανήματος γίνεται κατά τη διάρκεια που αυτό λειτουργεί και μάλιστα με το μέγιστο φορτίο του. Τα στοιχεία που προκύπτουν δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση του υδραυλικού συστήματος στο μηχάνημα και βοηθούν στην πρόβλεψη του χρόνου που απαιτείται για διόρθωση ή συντήρηση. Μόνο όταν είναι προγραμματισμένη η επισκευή γίνεται διακοπή της λειτουργίας του. (Κωστόπουλος 2020)

3.4 ΟΡΙΣΜΟΙ

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί ορισμοί που σχετίζονται με το ευρύτερο υδραυλικό σύστημα ενός μηχανήματος και κάποιες από τις βλάβες που μπορούν να προκληθούν.

Αέρας στο σύστημα: Εγκλωβισμός αέρα στις σωληνώσεις ενός συστήματος ή στους χώρους ενός υδραυλικού κυλίνδρου. Φαινόμενο που συχνά οδηγεί σε δυσάρεστα αποτελέσματα, όπως η διατάραξη των αποδόσεων των βαλβίδων, κακή κίνηση των κυλίνδρων, θόρυβος, οξειδωση του ρευστού, παρουσία φυσαλλίδων στο ρευστό κ.λπ. Ο εγκλωβισμός αέρα είναι αναπόφευκτος κατά την πρώτη εκκίνηση ενός συστήματος σε ένα μηχάνημα και αδικαιολόγητος μετά. Σε όλα τα μηχανήματα, στις εμβολοφόρες αντλίες, εγκαθίστανται ειδικές βαλβίδες ή διακόπτες εξαέρωσης. Η παρουσία αέρα στο σύστημα γίνεται αντιληπτή από τον θόρυβο λειτουργίας, την γαλακτώδη μορφή του ορυκτελαίου και από την παρουσία φυσαλλίδων.

Αναμενόμενη ζωή: Όρος ο οποίος κατά κανόνα αναφέρεται στην αναμενόμενη ζωή ενός συγκεκριμένου στοιχείου του υδραυλικού συστήματος. Συνήθως, η αναμενόμενη ζωή εκφράζεται

σε ώρες λειτουργίας υπό πίεση. Ένα σημαντικό μέγεθος για την αξιοπιστία ενός υδραυλικού συστήματος είναι η αναμενόμενη ζωή της αντλίας, η οποία είναι το κύριο στοιχείο του συστήματος και αυτό που καταπονείται εντονότερα. Η αναμενόμενη ζωή μίας αντλίας είναι συνήθως έξι έως δέκα χιλιάδες ώρες λειτουργίας υπό πίεση. Ωστόσο τα μεγέθη αυτά περιορίζονται δραστικά, αν υπάρχουν ρύποι στο ρευστό και αν η θερμοκρασία λειτουργίας του ρευστού είναι υψηλή. Η καθαρότητα του ρευστού έχει μεγάλη σημασία για την αναμενόμενη ζωή των στοιχείων.

Κλειστό κύκλωμα: Μορφή υδραυλικού κυκλώματος όπου η επιστροφή του ρευστού επανέρχεται στην αναρρόφηση της αντλίας. Είναι αδύνατον να μην υπάρχει δεξαμενή πέρα από μία για την αναπλήρωση των απωλειών. Πολλοί υδροστατικοί μεταφορείς κίνησης σε μηχανικό εξοπλισμό μεταλλείων και τεχνικών έργων είναι κλειστά κυκλώματα.

Ανοικτό κύκλωμα: Όρος αντίθετος του κλειστού κυκλώματος. Πρόκειται για υδραυλικό κύκλωμα, όπου η αναρρόφηση της αντλίας τροφοδοτείται κατευθείαν από τη δεξαμενή. Η μεγάλη πλειονότητα των υδραυλικών συστημάτων είναι ανοικτά κυκλώματα.

Διαρροή: Κάθε ροή ρευστού προς κατεύθυνση εκτός του υδραυλικού κυκλώματος. Η διαρροή μπορεί να είναι εσωτερική, μέσα από τα στοιχεία του συστήματος στους αγωγούς προς την δεξαμενή, ή εξωτερική προς το περιβάλλον. Στην πρώτη περίπτωση δημιουργεί θερμότητα και στην δεύτερη σημαίνει απώλεια ρευστού. Οι εξωτερικές διαρροές πρέπει να επισκευάζονται αμέσως μόλις γίνονται αντιληπτές. Οι εσωτερικές διαρροές προξενούνται από φθορά των στοιχείων. Οι διαρροές αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού, αφού έτσι γίνεται πιο λεπτόρευστο. Η πρόληψη των διαρροών είναι θέμα σωστής εγκατάστασης και λειτουργίας.

Απώλειες: Οι απώλειες ενέργειας στο υδραυλικό σύστημα προέρχονται από τις τριβές του ρευστού στους αγωγούς και τα στοιχεία του συστήματος. Όλες οι απώλειες ενέργειας μετατρέπονται σε θερμότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού. Αυτό είναι και το σοβαρότερο αποτέλεσμα των απωλειών, αφού η πτώση πίεσης στις γραμμές δεν έχει μεγάλη σημασία, εφόσον η πίεση του συστήματος είναι κατά κανόνα πολύ υψηλή. Οι συνηθέστερες αιτίες απωλειών είναι ο κακός σχεδιασμός και κατασκευή γραμμών ή η εκλογή ακατάλληλων βαλβίδων. Ωστόσο, η πηγή των μεγαλύτερων απωλειών είναι πάντα, τα σημεία αποφόρτισης ρευστού υπό πίεση μέσα στις βαλβίδες πίεσης και γενικά οι εσωτερικές διαρροές. Κακός σχεδιασμός του συστήματος ή κακή ρύθμιση των βαλβίδων πίεσης, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αποφόρτιση ρευστού υπό πίεση προς την δεξαμενή. Όλη η ενέργεια του υπό πίεση ρευστού, που αποφορτίζεται από βαλβίδες πίεσης, μετατρέπεται σε θερμότητα. Συχνά οι απώλειες υποχρεώνουν σε εγκατάσταση ψύκτη.

Εσωτερική διαρροή: Διαρροή ρευστού στο εσωτερικό ενός στοιχείου από την πλευρά πίεσης προς την πλευρά χαμηλότερης πίεσης ή προς την δεξαμενή. Η εσωτερική διαρροή είναι ένας συνηθισμένος λόγος θέρμανσης της μάζας του ρευστού και σημαντικός παράγοντας απωλειών ενέργειας. Οι εσωτερικές διαρροές είναι αποτέλεσμα γήρανσης των στοιχείων και διεύρυνσης των μηχανικών ανοχών.

Θόρυβος: Ο θόρυβος, που το υδραυλικό σύστημα ή τα στοιχεία του δημιουργούν, θεωρείται ως στοιχείο επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Οι αντλίες είναι μια σημαντική πηγή θορύβου. Μία

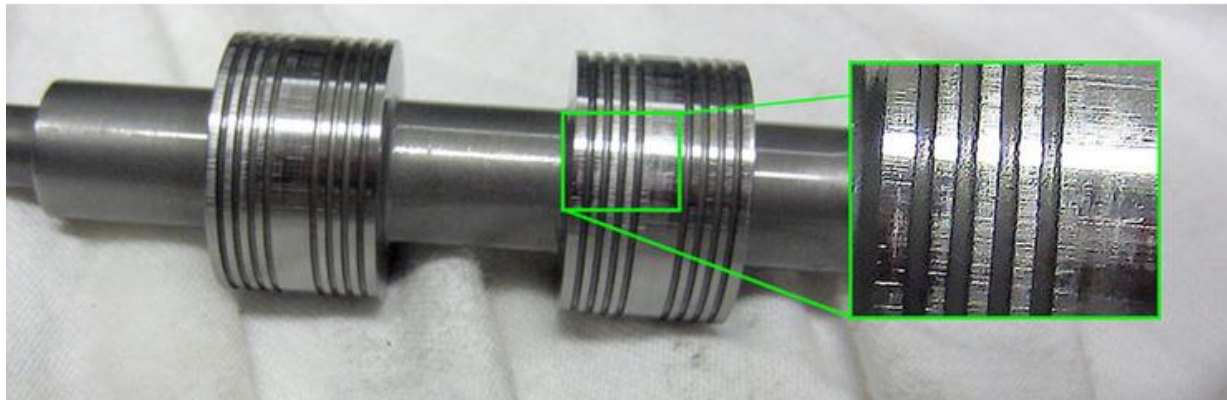
επίσης σημαντική πηγή θορύβου είναι οι ταλαντώσεις σε ολόκληρο το σύστημα του μηχανήματος. Αρκετοί κατασκευαστές προσφέρουν αντλίες χαμηλού θορύβου. Οι υδραυλικοί συσσωρευτές μπορούν να απορροφήσουν αποτελεσματικά τις ταλαντώσεις αυτές, περιορίζοντας τον σχετικό θόρυβο. Οι θόρυβοι των βαλβίδων είναι συνήθως εύκολο να αντιμετωπισθούν. Συχνά ο θόρυβος είναι αποτέλεσμα σπηλαίωσης, οπότε πρέπει να δημιουργηθεί μία αντίθετη πίεση. Σε άλλες περιπτώσεις, οφείλεται στην αλλαγή θέσης των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, οπότε χρειάζονται βαλβίδες με ομαλότερη ανταπόκριση ή διαφορετικά κέντρα. Η σωστή εγκατάσταση είναι, τέλος, σημαντική για την προληπτική αντιμετώπιση των θορύβων. Οι σωληνώσεις πρέπει να εδράζονται κατάλληλα και τα μηχανήματα να τοποθετούνται σε βάσεις που απορροφούν τους θορύβους.

Ιξώδες: Μέτρο των εσωτερικών τριβών της μάζας του υγρού κατά την κίνηση. Μέτρο σύγκρισης της ρευστότητας του υγρού.

Καθολική επισκευή: Επισκευή στοιχείου ή συστήματος που αποβλέπει στην επαναφορά τους στην κατάσταση αμέσως μετά την κατασκευή τους.

Κυβισμός: Μέτρο καθορισμού του μεγέθους μίας αντλίας ή κινητήρα. Η ποσότητα του ρευστού που περνά από μία αντλία, κινητήρα ή κύλινδρο σε μία πλήρη περιστροφή ή μετατόπιση.

Σπηλαίωση: Φαινόμενο που συμβαίνει κατά την αναταραχή ρευστών με μεγάλη ταχύτητα. Το αποτέλεσμα είναι περιορισμένη εξαέρωση του ρευστού που έχει αιτία την τοπική ελάττωση της πίεσης μέχρι την πίεση εξαέρωσης. Το αποτέλεσμα της σπηλαίωσης είναι προσβολή και καταστροφή των μεταλλικών επιφανειών. Το φαινόμενο της σπηλαίωσης γίνεται αντιληπτό από ήχους παρόμοιους προς τους ήχους που παράγει η κρούση μικρών μεταλλικών σωμάτων μεταξύ τους. Ο ήχος αυτός δεν είναι ίδιος με τον ήχο που εκπέμπει μία αντλία που αναρροφά αέρα. Κάποιες περιπτώσεις σπηλαίωσης παρουσιάζονται στο σχήμα 105.



Σχήμα 105. Επάνω αριστερά παρουσιάζεται σπηλαιώση σε μία πλάκα πίεσης, επάνω δεξιά υπάρχει σπηλαιώση στην πλάκα πίεσης στο περιστρεφόμενο τμήμα μιας πτερυγιοφόρου αντλίας και τέλος κάτω υπάρχει σπηλαιώση στο κεντρικό έμβολο μίας βαλβίδας. (Hydraulics and Pneumatics 2020)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το υδραυλικό σύστημα αποτελεί μία τεχνολογία που χρησιμοποιεί την ροή και την πίεση ρευστών για την μεταφορά ισχύος και τον έλεγχο δυνάμεων. Ένα υδραυλικό σύστημα αποτελείται από τρία αλληλοεξαρτώμενα στάδια: α) το στάδιο παροχής ενέργειας και μετατροπής σε δυναμική ενέργεια στο ρευστό, β) το στάδιο ελέγχου και χειρισμού της δυναμικής ενέργειας που περικλείεται στο ρευστό, γ) το στάδιο της μετατροπής της δυναμικής ενέργειας του ρευστού σε κινητική με την μορφή γραμμικής ώθησης ή περιστροφής ή και τα δύο μαζί. Ο μηχανικός εξοπλισμός μεταλλείων και τεχνικών έργων αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής των υδραυλικών συστημάτων. Το υδραυλικό ρευστό αντλείται σε διάφορους υδραυλικούς κινητήρες και υδραυλικούς κυλίνδρους σε όλο το μηχάνημα και συμπιέζεται ανάλογα με την αντίσταση που υπάρχει. Το ρευστό ελέγχεται άμεσα ή αυτόματα από βαλβίδες ελέγχου και διανέμεται μέσω εύκαμπτων σωλήνων ή χαλυβδοσωλήνων.

Σχετικά με την συντήρηση, πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να γίνεται έλεγχος στον θόρυβο και στην θερμοκρασία της αντλίας, καθαρισμός ή αντικατάσταση των φίλτρων, και έλεγχος στις σωληνώσεις. Ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και σε κάθε περίπτωση που γίνει αντιληπτή κάποια αύξηση του θορύβου ή της θερμοκρασίας ή διαπίστωση ελάττωσης της πίεσης ή της παροχής της αντλίας πρέπει οπωσδήποτε να γίνει έλεγχος και αν διαπιστωθεί βλάβη να πραγματοποιηθεί επισκευή πριν υπάρξει ολική καταστροφή. Η προληπτική και η προβλεπτική συντήρηση διαθέτουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Η συντήρηση γίνεται σε χρόνο που προγραμματίζεται από την επιχείρηση.
- Πραγματοποιούνται λιγότερες έκτακτες αστοχίες στο μηχανικό εξοπλισμό, άρα υπάρχουν λιγότερες καταστροφικές αστοχίες ή λιγότερες διακοπές παραγωγής.
- Υπάρχει προγραμματισμένο κόστος επισκευών και ισχυρός έλεγχος του αποθέματος των ανταλλακτικών.
- Αυξάνεται η ζωή των μηχανημάτων.
- Η αξιοπιστία των μηχανών είναι μεγαλύτερη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Anon. (n.d.a) *Hydraulic_machinery*. https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_machinery accessed on 18 March 2020.
- 2) Trinkel B (n.d.). *ISO symbols*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-technologies/article/21884116/chapter-4-iso-symbols>, accessed on 15 April 2020.
- 3) Heney P (n.d.) *What are hydraulic filters?* <https://www.mobilehydraulictips.com/what-are-hydraulic-filters/> , accessed on 30 April 2020.
- 4) Hydraulics and Pneumatics (2020a) *Engineering Essentials: Fundamentals of Hydraulic Pumps*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/fluid-power-basics/article/21884136/engineering-essentials-fundamentals-of-hydraulic-pumps> , accessed on 15 May 2020.
- 5) Hydraulics and Pneumatics (2020b) *A staff report - Fundamentals of Hydraulic Motors*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-pumps-motors/article/21884401/fundamentals-of-hydraulic-motors> , accessed on 23 May 2020.
- 6) Hydes (2020) *Hydraulic Vane Motors*. <http://www.modernhydraulics.net/hydraulic-vane-motors.html> , accessed on 27 May 2020.
- 7) Cavera S (2020) *Cylinders: The Basics and More*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/cylinders-actuators/article/21887822/cylinders-the-basics-and-more> , accessed on 3 June 2020.
- 8) Hydraulics and Pneumatics (2010) *Pressure-relief valves.*, <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-technologies/article/21884333/book-2-chapter-18-pressurerelief-valves> , accessed on 7 June 2020.
- 9) Ayers H (2020) *Understanding Counterbalance Valves*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-valves/article/21887669/understanding-counterbalance-valves#:~:text=Whenever%20uncontrolled%20movement%20can%20occur,port%20to%20raise%20the%20load> , accessed on 13 June 2020.
- 10) Hydraulics and Pneumatics (2020c) *A staff report - Basics of Directional-Control Valves*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-valves/article/21887940/basics-of-directionalcontrol-valves> , accessed on 17 June 2020.
- 11) Hydraulics and Pneumatics (2010) *Proportional control valves* <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-technologies/article/21884329/book-2-chapter-14-proportional-control-valves> , accessed on 21 June 2020.
- 12) Johnson J (2020) *Understanding hydrostatic transmissions*. [https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-pumps-motors/article/21885025/understanding-hydrostatic-transmissions#:~:text=in%20.PDF%20format-.A%20hydrostatic%20transmission%20\(HST\)%20exists%20any%20time%20a%20hydra](https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-pumps-motors/article/21885025/understanding-hydrostatic-transmissions#:~:text=in%20.PDF%20format-.A%20hydrostatic%20transmission%20(HST)%20exists%20any%20time%20a%20hydra)

- [ulic%20pump,continuously%20variable%20transmission%20\(CVT\)](#), accessed on 27 June 2020.
- 13) Miller I (2020) *Common Modes of Failure for Hydraulic Piston Pumps*. <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/hydraulic-pumps-motors/article/21136312/common-modes-of-failure-for-hydraulic-piston-pumps> , accessed 30 August 2020.
 - 14) Anon. (n.d.b) *Troubleshooting on hydraulic systems*. <http://www.hydraulicstatic.com/> accessed on 19 September 2020.
 - 15) Anon. (n.d.c) *Preventive maintenance on hydraulic systems of construction machinery*. <https://mac-hyd.com/blog/preventive-maintenance-for-hydraulic-systems/> accessed on 20 June 2020.
 - 16) Rexroth (n.d.) Τεχνικά φυλλάδια https://community.boschrexroth.com/t5/Rexroth-Community/ct-p/rexroth_community
 - 17) Κωστόπουλος ΘΝ (2009) *Διάγνωση Βλαβών και Συντήρηση Περιστρεφόμενων Μηχανών..*
 - 18) Κωστόπουλος ΘΝ (2009) *Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα*.
 - 19) Difrangia M (2020) *Technavio announces top 5 global hydraulic equipment vendors*. <https://www.hoseassemblytips.com/technavio-announces-top-5-global-hydraulic-equipment-vendors/> , accessed on 10 October 2020.
 - 20) Chaninovic A (2020) *Industry Report: The Used Heavy Machinery & Truck Market in 2019*. <https://blog.mascus.com/industry-report-the-used-heavy-machinery-truck-market-in-2019/> , accessed on 11 October 2020.
 - 21) Griffin B (2020) *Who are the Leading Vendors of Mobile Hydraulics?* <https://www.interactanalysis.com/mobile-hydraulics/> , accessed on October 2020.

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- 1) Θεόδωρος Ν. Κωστόπουλος, Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα, 2009, accessed on 18 March, 15 April, 10, 28 June, 3, 19, 20 July 2020.
- 2) Yuken www.yuken-usa.gr <https://yuken-usa.com/> accessed on 18 March 2020.
- 3) Clippard Technical Support Team (2020). What is the difference between Pascal's, Boyle's, and Charles' Laws? <https://www.hydraulicspneumatics.com/fluid-power-basics/hydraulics/article/21887658/whats-the-difference-between-pascals-boyles-and-charles-laws> , accessed on 24 March 2020.
- 4) Brendan Casey (2020). How to Size a Hydraulic Tank. <https://www.hydraulicspneumatics.com/hydraulics-at-work/article/21884901/how-to-size-a-hydraulic-tank> , accessed on 27 March 2020.
- 5) Vandijk Heavy Equipment (2020), <http://www.vandijkheavyequipment.com/> . accessed on 17 March, 15 April 2020.
- 6) Bosch Rexroth (2020), <https://www.boschrexroth.com/en/xc/> accessed on 27 March, 4, 10, 26 May, 7, 10, 11, 15, 19, 24 June, 17, 19, 20 July 2020.
- 7) Caterpillar (2020), <https://www.caterpillar.com/> , accessed on 27, 29 March, 5,11,15, 23 April, 19,24 June, 13 July 2020.
- 8) Hydac (2020), <https://www.hydac.com/de-en/start.html> , accessed on 27 March, 5 April 2020.
- 9) Linde (2020), <https://www.linde-hydraulics.com/en-gb/> , accessed on 27 March 2020.
- 10) Motor Mission (2020), <https://motormission.com/> , accessed on 29 March 2020.
- 11) Hydraulics and Pneumatics (2020), <https://www.hydraulicspneumatics.com/> , accessed on 27 March, 5,11 April, 4, 15, 26 May, 7, 11, 19 June, 3, 9 July, 17, 20 September 2020.
- 12) Parker (2020), <https://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.223a4a3cce02eb6315731910237ad1ca/?vgnextoid=dee0eea74775e210VgnVCM10000048021dacRCRD&vgnnextfmt=EN> , accessed on 5 April, 15 May, 28 June
- 13) Eaton (2020), <https://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/Hydraulics/index.htm?wtredirect=www.eaton.com/hydraulics> , accessed on 15 April, 10, 15 May, 10 June 2020.
- 14) Hansaflex (2020), <http://www.hansaflex.com/> , accessed on 23 April
- 15) Kawasaki Hydraulics (2020),<https://www.kawasakihydraulics.com/> , accessed on 23 April, 26 May 2020.
- 16) Casappa S.p.a. (2020), <https://www.casappa.com/> , accessed on 4 May, 9, 10 June 2020.
- 17) IDC online (2020), <https://idc-online.com/> , accessed on 4 May, 9, 26 June 2020.
- 18) Garage ASP (2020), <https://www.garageasp.com/> , accessed on 26 May 2020.
- 19) Danfoss (2020), <https://www.danfoss.com/en/> , accessed on 26 May, 19, 20 July 2020.
- 20) Liebherr (2020), <https://www.liebherr.com/en/usa/start/start-page.html> , accessed on 11 June 2020.
- 21) Kayaba (2020), <https://www.kybfluidpower.com/> , accessed on 11 June 2020.
- 22) Poclain (2020), <https://www.poclain-hydraulics.com/en> , accessed on 15 June, 5 July 2020.
- 23) Research Gate (2020), <https://www.researchgate.net/> , accessed on 19 June 2020.

- 24) Modern Hydraulics (2020), <http://www.modernhydraulics.net/> , accessed on 23, 27 June, 4, 7, 9 July 2020.
- 25) Hydraulic Static (2020), <http://www.hydraulicstatic.com/> , accessed on 13 July 2020.
- 26) Walvoil S.p.a. (2020), <http://www.walvoil.com/> , accessed on 13, 17 July 2020.