



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

“ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ “



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:

ΚΑΪΤΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ-ΛΕΛΟΥΔΑΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο / Η κάτωθι υπογεγραμμένος / ηΚάιτατζης Γεώργιος.....,

του Συμεών....., με αριθμό μητρώου44657..... φοιτητής / τρια του Τμήματος **Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών



Ημερομηνία

06/06/2018

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο / Η κάτωθι υπογεγραμμένος / η Κωνσταντίνος Λελούδας

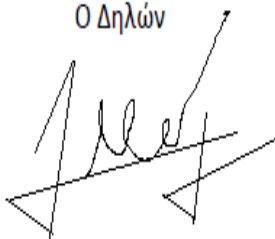
του Μιχαήλ, με αριθμό μητρώου 37433 φοιτητής / τρια του Τμήματος **Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών



Ημερομηνία

06/06/2018

Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων – σχημάτων – πινάκων	3
Περίληψη	7
Abstract	8
Ευχαριστίες	9
Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1 ^ο : Πνευματικά συστήματα	11
1.1 Γενικά στοιχεία	11
1.2 Περιγραφή πνευματικών συστημάτων	11
1.3 Χαρακτηριστικά κίνησης πνευματικών συστημάτων	15
1.4 Στοιχεία ελέγχου πνευματικών συστημάτων	22
1.5 Ελεγκτές συστημάτων αυτόματου ελέγχου	32
Κεφάλαιο 2 ^ο : Υδραυλικά συστήματα	35
2.1 Ορισμός και ιδιότητες υδραυλικού συστήματος αυτοματισμού	35
2.2 Επιμέρους στοιχεία και λειτουργία υδραυλικών συστημάτων	37
2.3 Υδραυλικοί κύλινδροι	37
2.4 Υδραυλικές βαλβίδες	40
2.5 Υδραυλικές αντλίες	44
2.6 Υδραυλικοί ενεργοποιητές	47
Κεφάλαιο 3 ^ο : Εφαρμογές και διαφοροποιήσεις συστημάτων	51
3.1 Εφαρμογές πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού	51
3.1.1 Συστήματα συγκράτησης – κοπής ξύλινης δοκού	51
3.1.2 Συσκευασία προϊόντος σε σκόνη	53
3.1.3 Αυτόματη διάτρηση δοκιμίου	54
3.2 Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού	55
3.3 Διαφοροποιήσεις πνευματικών και υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού	57
Συμπεράσματα	58
Βιβλιογραφία	62

Κατάλογος εικόνων – σχημάτων

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1	13
Εικόνα 2	13
Εικόνα 3	15
Εικόνα 4	15
Εικόνα 5	16
Εικόνα 6	17
Εικόνα 7	17
Εικόνα 8	19
Εικόνα 9	20
Εικόνα 10	20
Εικόνα 11	20
Εικόνα 12	21
Εικόνα 13	21
Εικόνα 14	21
Εικόνα 15	22
Εικόνα 16	23
Εικόνα 17	24
Εικόνα 18	24
Εικόνα 19	26
Εικόνα 20	35
Εικόνα 21	36
Εικόνα 22	36
Εικόνα 23	37
Εικόνα 24	39
Εικόνα 25	39

Εικόνα 26	40
Εικόνα 27	49
Εικόνα 28	50
Εικόνα 29	51
Εικόνα 30	52
Εικόνα 31	52

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1	10
---------------	----

Περίληψη

Η τεχνολογία και συγκεκριμένα ο κλάδος της μηχανολογίας και των αυτοματισμών έχουν αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό και με ιδιαίτερη ένταση, κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Τόσο τα πνευματικά όσο και τα υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού, έχουν μπει στην ζωή μας, παίρνοντας ενεργό ρόλο, ακόμα και αν κάποιος φορές, η μεγαλύτερη μερίδα του πληθυσμού δεν είναι σε θέση να το αντιληφθεί και να το κατανοήσει. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιείται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση όσον αφορά τις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργιών των πνευματικών και υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού ελέγχου.

Abstract

Technology, in particular the engineering and automation industry, has developed to a great extent and has been particularly intense over the last few decades. Both pneumatic and hydraulic automation systems have entered our lives, taking an active role, even if at times, the largest portion of the population is unable to understand and understand it. In this dissertation, a bibliographic review of the properties, characteristics and functions of pneumatic and hydraulic control automation systems is carried out.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα πτυχιακή εργασία, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες σε όσους βοήθησαν τόσο στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μας. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε πρώτα από όλους τον καθηγητή μας για την βοήθεια και την επίβλεψη της πτυχιακής μας εργασίας καθώς και για την άψογη συνεργασία και καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής.

Επίσης θα θέλαμε, να ευχαριστήσουμε, ακόμη, τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθώς και όλους τους διδάσκοντες του τμήματος για τις γνώσεις που μας παρείχαν σε όλη την διάρκεια της φοίτησής μας στο εκπαιδευτικό αυτό ίδρυμα.

Τέλος, επειδή με την εργασία αυτή ολοκληρώνονται και οι σπουδές μας ως προπτυχιακοί φοιτητές, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για την ηθική και οικονομική βοήθεια που μας παρείχαν.

Εισαγωγή

Τόσο τα υδραυλικά όσο και τα πνευματικά συστήματα ελέγχου αυτοματισμού, είναι ευρέως διαδεδομένα τα τελευταία χρόνια σε ποικίλους τομείς της καθημερινής ζωής αλλά και φυσικά, στον κλάδο της βιομηχανίας και της παραγωγής.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι να εντριφήσει στα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες και τις λειτουργίες των πνευματικών και των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενδελεχής βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε σε εμπεριστατωμένα άρθρα και βιβλία που εξετάζουν το εν λόγω θέμα.

Η εργασία αυτή, διαχωρίζεται σε τρία (3) επιμέρους κεφάλαια. Συγκεκριμένα, το πρώτο κεφάλαιο αναλύονται τα πνευματικά συστήματα ελέγχου αυτοματισμού, όσον αναφορά τα χαρακτηριστικά κίνησης αυτών, την περιγραφή τους, τα στοιχεία ελέγχου που τα απαρτίζουν και τους ελεγκτές που υπεισέρχονται στην διαδικασία αυτή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται τα υδραυλικά συστήματα ελέγχου αυτοματισμού ως προς τον ορισμό και τις ιδιότητές τους, τα επιμέρους στοιχεία που περιλαμβάνουν, την λειτουργία τους, τους υδραυλικούς κυλίνδρους, τις υδραυλικές βαλβίδες, τις υδραυλικές αντλίες και τους υδραυλικούς ενεργοποιητές.

Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι εφαρμογές σε αυτά τα συστήματα ελέγχου αυτοματισμού καθώς και οι διαφοροποιήσεις αυτών, όσον αναφορά την κίνηση των δύο (2) αυτών συστημάτων.

Κεφάλαιο 1^ο : Πνευματικά συστήματα

1.1 Γενικά στοιχεία

Η έννοια η οποία είναι ευρέως γνωστή ως πνευματικά συστήματα, εφαρμόζεται ώστε να αναλύσει και να περιγράψει, τα διάφορα συστήματα αυτοματισμού κίνησης, τα οποία χρησιμοποιούν ως ενεργειακό εργαλείο τους, τον πεπιεσμένο αέρα και ταυτόχρονα παρουσιάζουν ως φυσική απόρροιά τους, την παλινδρομική κίνηση εμβόλων ή μερικές φορές την περιστροφή των κινητήρων (Ρούτουλας, 2008).

1.2 Περιγραφή πνευματικών συστημάτων

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, τα πνευματικά συστήματα, εφαρμόζονται ώστε να αναλύουν και να περιγράψουν, τα διάφορα συστήματα αυτοματισμού κίνησης, τα οποία χρησιμοποιούν ως ενεργειακό εργαλείο τους, τον πεπιεσμένο αέρα και ταυτόχρονα παρουσιάζουν ως φυσική απόρροιά τους, την παλινδρομική κίνηση εμβόλων ή μερικές φορές την περιστροφή των κινητήρων (Ρούτουλας, 2008).

Τα βασικότερα στοιχεία – χαρακτηριστικά, τα οποία διέπουν τα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού είναι τα ακόλουθα (Πανταζής, 1992):

- ✓ Προσδίδουν πολύ γρήγορη και εύκολη μεταφορά και αποθήκευση ενέργειας, με την συμβολή βέβαια, μεγάλου κόστους παραγωγής.
- ✓ Εφαρμόζουν στοιχεία του αυτοματισμού που χαρακτηρίζονται ως αντικρηκτικά. Συγκεκριμένα, δεν παρουσιάζουν τον κίνδυνο της υπερφόρτωσης και έχουν την ικανότητα να υλοποιούνται σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος.
- ✓ Δημιουργούν μια γραμμική κίνηση η οποία είναι ιδιαίτερα απλή και συνοδεύεται από πολύ χαμηλό κόστος, με ταχύτητα η οποία οριοθετείται γύρω στα 1 – 2 m/sec, με απόσταση 2m και δύναμη γύρω στα 3.000 kp.

- ✓ Μπορούν να προσαρμόζουν άμεσα τόσο την ταχύτητα όσο και την δύναμή τους.
- ✓ Μπορούν να συντηρούνται μέσω εύκολων και εύχρηστων διαδικασιών.

Οι συνήθης πνευματικοί αυτοματισμοί εφαρμόζουν, στις περισσότερες των περιπτώσεων, αέρα μέσης πίεσης, ενώ αντίθετα, οι πνευματικοί αυτοματισμοί χαμηλής πίεσης, εφαρμόζουν αέρα μικρής πίεσης, με αποτέλεσμα το προϊόν που παράγεται από την συγκεκριμένη διαδικασία να συνοδεύεται από μία δυναμική σχέση που δημιουργείται ανάμεσα στις πιέσεις (Parr, 2009).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι ο χορηγούμενος πεπιεσμένος αέρας, δημιουργείται στο τμήμα των αεροσυμπιεστών και με την συμβολή σωληνογραμμών και δικτύου, τροφοδοτείται προς το εκάστοτε σύστημα αυτοματισμού (Parr, 2009). Τα βασικότερα στοιχεία τα οποία επιδρούν στην δομή καθώς και τη σύσταση των πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού, κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω ενότητες (Schulz – Diere, 1994):

- ✓ Οι βαλβίδες σήματος παροχής αέρα (γνωστές και ως Signal).
- ✓ Η διοχέτευση αλλά και η επεξεργασία του πεπιεσμένου αέρα (Power Unit).
- ✓ Οι βαλβίδες που στόχο έχουν την επεξεργασία του σήματος (γνωστές και ως Processing).
- ✓ Τα διάφορα έμβολα αέρος τα οποία προσδίδουν και την αντίστοιχη μορφή κίνησης του συστήματος (γνωστά και ως Drive Control).
- ✓ Οι κεντρικές βαλβίδες που ελέγχουν την κατεύθυνση (γνωστές και ως Control Valve).

Σε γενικές γραμμές, τα εκάστοτε στοιχεία της διαδικασίας του αυτοματισμού, ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας, επιμέρους, λειτουργικά σύνολα, τα οποία οριοθετούνται μέσω των αντίστοιχων διαγραμμάτων που καλούνται ως πνευματικά διαγράμματα (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015). Η γενική ροή των στοιχείων, σε ένα πνευματικό διάγραμμα, παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 1: Λογικό διάγραμμα ενός πνευματικού συστήματος (Σκαμπέλης & Κουμπούλης, 2015).

Τα στοιχεία της παροχής και της επεξεργασίας του πεπιεσμένου αέρα, υπάγονται στα στοιχεία ζωτικής σημασίας για την διαδικασία αυτοματισμού, διότι σε οποιοδήποτε πνευματικό κύκλωμα, πραγματοποιείται μία αρχική διαδικασία παρασκευής του αέρα από τον κατάλληλο συμπιεστή σε πρώιμο στάδιο, με σκοπό ο αέρας αυτός, να αποτελεί ορθό συστατικό, όσον αναφορά την πίεσή του, την λίπανση αλλά και την καθαρότητά του έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η ορθή διεργασία των υπόλοιπων στοιχείων του πνευματικού αυτού συστήματος (Shih & Ma, 1998).

Επίσης, η παραπάνω δραστηριότητα έχει την δυνατότητα να υπεισέρχεται και ανάμεσα στο έμβολο και την βαλβίδα ελέγχου κατεύθυνσης (Shih & Ma, 1998).

Οι βασικές αρχές σύστασης των πνευματικών συστημάτων είναι οι εξής (Πανταζής, 1992):

- ✓ Η βαλβίδα ελέγχου του κάθε εμβόλου, απαραίτητα χρειάζεται ένα σήμα ώστε να εκτελεστεί η εκκίνησή της. Το σήμα, αυτό, διοχετεύεται από τις βαλβίδες σήματος, τις βαλβίδες έναρξης – εκκίνησης αλλά και καθώς από τις βαλβίδες τερματισμού.
- ✓ Ως απαραίτητο στοιχείο του εκάστοτε πνευματικού συστήματος αυτοματισμού, θεωρείται το έμβολο αέρος.
- ✓ Στοιχείο ζωτικής σημασίας, του συστήματος είναι η βαλβίδα ελέγχου κατεύθυνσης του εμβόλου η οποία εντοπίζεται σε μικρή απόσταση από το έμβολο.
- ✓ Το σύνολο των επιμέρους εργαλείων του συστήματος, ενώνονται με την υποβοήθηση σωλήνων μεταφοράς πεπιεσμένου αέρα που στόχο έχουν την ορθή σηματοδότηση αυτού και λειτουργία.

- ✓ Μεταξύ του εμβόλου και της βαλβίδας ελέγχου, τοποθετούνται, πάντα οι εκάστοτε ρυθμιστικές βαλβίδες.
- ✓ Η δημιουργία και ο σχεδιασμός των συνολικών στοιχείων του συστήματος αυτοματισμού, πραγματοποιείται πριν την εκκίνηση του κύκλου κινήσεων.

Στις περιπτώσεις, πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού, τα οποία στην σύνθεσή τους υπάρχουν πολλά έμβολα, κάθε ένα από αυτά, συνοδεύεται από μία βαλβίδα ελέγχου, η οποία με την σειρά της εναρμονίζεται με τις υπόλοιπες βαλβίδες αλλά και τις βαλβίδες σήματος και επεξεργασίας, με σκοπό όλη η διαδικασία αυτοματισμού να απαρτίζεται από μικρά επιμέρους σύνολα αυτοματισμού του ενός εμβόλου, τα οποία θα συνδέονται με άμεσο τρόπο (Astrom & Haglund, 1999).

Σύμφωνα με τον Ρούτουλα (2008), τα τρία (3) στάδια, που πρέπει να λάβουν χώρα έτσι ώστε να εκτελεστεί ο εφοδιασμός των πνευματικών συστημάτων με πεπιεσμένο αέρα, είναι τα εξής:

- Η επεξεργασία του αέρα, με στόχο ο αέρας να είναι ορθός για την συμμετοχή του στο πνευματικό σύστημα του αυτοματισμού.
- Η παροχή του αέρα διαμέσου κάποιας σωληνογραμμής.
- Η δημιουργία του αέρα από τους αντίστοιχους συμπιεστές αυτού.

Ο αέρας από το χώρο δημιουργίας του, ύστερα από την εξάλειψη της υγρασίας του, τροφοδοτείται στο χώρο εγκατάστασης των πνευματικών συστημάτων μέσω μίας βασικής γραμμής μεταφοράς (Chitly & Lambert, 1976).

Κατά τον Ρούτουλα (2008), οι τρόποι δημιουργίας των κατάλληλων γραμμών μεταφοράς του αέρα είναι οι παρακάτω:

- ✓ Η κεντρική γραμμή μεταφοράς και παραγωγή οριζόντιων διακλαδώσεων σε μορφή «H».
- ✓ Η εφαρμογή των διακλαδώσεων της κατανάλωσης στην βασική γραμμή μεταφοράς του αέρα.
- ✓ Η κεντρική γραμμή μεταφοράς κυκλικής φύσεως και η καθοδική πορεία των διακλαδώσεων προς τις αντίστοιχες σωληνώσεις.

1.3 Χαρακτηριστικά κίνησης πνευματικών συστημάτων

Τα χαρακτηριστικά της κίνησης των πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού είναι οι κύλινδροι. Αυτοί έχουν την δυνατότητα να μετουσιώνουν την πνευματική ισχύ του πεπιεσμένου αέρα σε μορφή ευθύγραμμης κίνησης (Πανταζής, 1992). Οι κύλινδροι είναι το αναπόσπαστο εργαλείο για τις παρακάτω κινήσεις (Βασιλειάδου & Καλλιγερόπουλος, 2005):

- Την ώθηση.
- Την έλξη.
- Την ανύψωση των βαρών.
- Την τροφοδότηση των συσκευών.
- Την ενεργοποίηση των μοχλών.
- Την μετατόπιση των εκάστοτε τεμαχίων.
- Τον αυτοματισμό άλλων επιμέρους συστημάτων.

Όπως έχει ξανά αναφερθεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία, η παλινδρομική κίνηση η οποία εκτελείται εντός του πνευματικού συστήματος, λαμβάνει χώρα με την υποβοήθηση του πεπιεσμένου αέρα (Πανταζής, 1992).

Οι πνευματικοί κύλινδροι απαρτίζονται από ένα μεγάλο θάλαμο στον οποίο περιέχονται, τα εξής στοιχεία (Kagawa et al., 2000):

- Ένα πιστόνι.
- Τα στεγανωτικά στοιχεία έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ασφάλεια των αερίων.
- Μια ράβδο επενέργειας ώστε να πραγματοποιείται η ευθυγράμμιση της κίνησης.
- Οι θύρες εισαγωγής του αέριου στοιχείου
- Οι θύρες εξαγωγής του αέριου στοιχείου.

Γενικά μπορούμε να πούμε, ότι η κατασκευή και η δομή των πνευματικών κυλίνδρων είναι απλή και χαρακτηρίζεται από αυξημένα επίπεδα αντοχής σε υπερορτώσεις αυτών (Kagawa et al., 2000).

Σύμφωνα με τους Kagawa et al. (2000), με κριτήριο την κατασκευή τους οι πνευματικοί, αυτοί, κύλινδροι διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- ✓ Οι κύλινδροι απλής ενέργειας.
- ✓ Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας.
- ✓ Οι κύλινδροι ειδικών εφαρμογών.

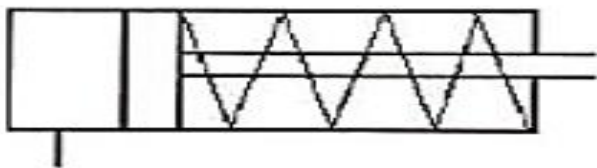
Παρακάτω αναλύονται εκτενώς, οι κατηγορίες αυτές των κυλίνδρων.

Κύλινδροι απλής ενέργειας

Οι κύλινδροι απλής ενέργειας αποτελούν την πιο απλή μορφή κατασκευής κυλίνδρων. Συγκεκριμένα, ο πεπιεσμένος αέρας που υπάρχει, διοχετεύεται αποκλειστικά στη μία πλευρά του εμβόλου και έτσι παρέχεται κίνηση – έργο μόνο προς την μία, αυτή, πλευρά της κατεύθυνσης. Η είσοδος ή αντίστοιχα η έξοδος του άξονα, πραγματοποιείται μέσω του πεπιεσμένου αέρα. Η αντίθετη κατεύθυνση της διαδρομής εκτελείται με τη βοήθεια ενσωματωμένου στο σύστημα ελατηρίου ή μέσω μίας εξωτερική δύναμη που λαμβάνει χώρα. Η δύναμη που διοχετεύεται στο ελατήριο, επιλέγεται έχοντας ως γνώμονα, το γεγονός της επιστροφής του εμβόλου στην αρχική του θέση από όπου και ξεκίνησε με αυξημένη, όμως, ταχύτητα επιστροφής. Βέβαια, στους κυλίνδρους που διαθέτουν ενσωματωμένο ελατήριο, η διαδρομή αυτή της κίνησης, οριοθετείται σε σχέση με το φυσικό μήκος του ελατηρίου με αποτέλεσμα την δημιουργία κυλίνδρων με μήκος διαδρομής περίπου στα 100 mm (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 1 : Κύλινδρος απλής ενέργειας χωρίς ελατήριο επαναφοράς (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 2: Κύλινδρος απλής ενέργειας με ελατήριο επαναφοράς (Κωστόπουλος, 2009).

Όσον αναφορά τους κυλίνδρους απλής ενέργειας με ελατήριο επαναφοράς, η διαδρομή που εκτελεί το έμβολο από μέσα προς τα έξω, λαμβάνει χώρα με την υποβοήθηση του πεπιεσμένου αέρα, ο οποίος υπεισέρχεται στο σύστημα από την μία και μοναδική του δίοδο (Deppert & Stoll, 1986).

Αυτή η κίνηση την οποία εκτελεί το έμβολο, δημιουργεί ως συνέπεια του, την συμπίεση του ελατηρίου. Μετά το πέρας της διοχέτευσης του πεπιεσμένου αέρα, πραγματοποιείται η επανατοποθέτηση του εμβόλου στην αρχική του θέση (Deppert & Stoll, 1986).

Το στοιχείο του βάρου, τις περισσότερες φορές, διαθέτει ένα σπείρωμα ώστε να επιτυγχάνεται άμεση σύνδεση με κάποιο έτερο εξάρτημα, για την χρηστικότητα του εμβόλου. Επίσης, τα καλύμματα που τοποθετούνται στον σωλήνα (γνωστά και ως καπάκια) εφαρμόζονται, πάντα, με το χαρακτηριστικό της σταθερότητας. Επιπλέον, το καπάκι που τοποθετείται στο μπροστινό μέρος, έχει μεγάλο άνοιγμα με προσαρτημένο οδηγό και παρέμβυσμα μεγάλης ελαστικότητας ώστε να διευκολύνεται το δρομολόγιο του βάρου (Dorf & Bishoq, 2009).

Από την άλλη πλευρά, το πιστόνι αποτελεί εφοδιασμένο μέσο, με στεγανοποιητικό δακτύλιο ώστε να πραγματοποιείται η συγκράτηση του πεπιεσμένου αέρα εντός του αντίστοιχου θαλάμου. Ενώ, ο ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος παρουσιάζεται στην έτερη μεριά του εμβόλου, έχει την ικανότητα να εκτελεί είσοδο και έξοδο, έχοντας μεγάλη ελευθερία κινήσεων και επιλογών (Dorf & Bishoq, 2009).

Η δύναμη του εμβόλου μπορεί να υπολογισθεί από την παρακάτω σχέση (Κωστόπουλος, 2009):

$$F = (P_1 - P_2) * A - F_{ελ}$$

Όπου (Κωστόπουλος, 2009):

A = επιφάνεια του εμβόλου μετρημένη σε mm².

P1 = απόλυτη πίεση αέρα μετρημένη σε Nt / mm².

P2 = ατμοσφαιρική πίεση αέρα, μετρημένη σε Nt / mm².

F_{ελ} = δύναμη ελατηρίου, μετρημένη σε Nt.

Κύλινδροι διπλής ενέργειας

Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας είναι άλλη μία κατηγορία κυλίνδρων με κριτήριο την κατασκευή τους. Συγκεκριμένα, σε αυτού του είδους τους κυλίνδρους, η δύναμη την οποία διοχετεύει ο πεπιεσμένος αέρας, μετακινεί έντονα το αντίστοιχο έμβολο, όχι μόνο προς μία κατεύθυνση αλλά προς όλες τις κατευθύνσεις (2 κατευθύνσεις). Συνήθως, εφαρμόζονται στις περιπτώσεις εκείνες, στις οποίες το έμβολο, χρειάζεται να παράγει έργο – κίνηση και κατά την διάρκεια της διαδικασίας σύμπτυξης του βάκτρου. Όσον αναφορά την έκταση της πορείας του, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, πάντα, η κατάλληλη πρόβλεψη και εκτίμηση για την μετατόπιση του βάκτρου σε κατάσταση κάμψης καθώς και λυγίσματος (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

Οι κατηγορίες των κυλίνδρων διπλής ενέργειας είναι οι ακόλουθες (Κωστόπουλος, 2009):

- Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με απλό βάκτρο.
- Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με διπλό βάκτρο.
- Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με τηλεσκοπικούς.
- Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με διάταξη επιβράδυνσης.



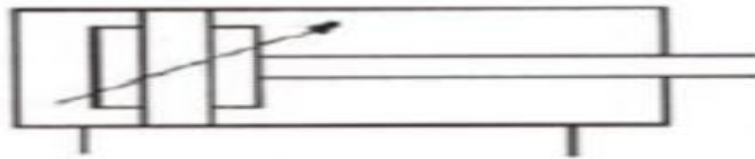
Εικόνα 3: Συμβολισμός κυλίνδρου με απλό βάκτρο (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 4: Συμβολισμός κυλίνδρου με διπλό βάκτρο (Κωστόπουλος, 2009).

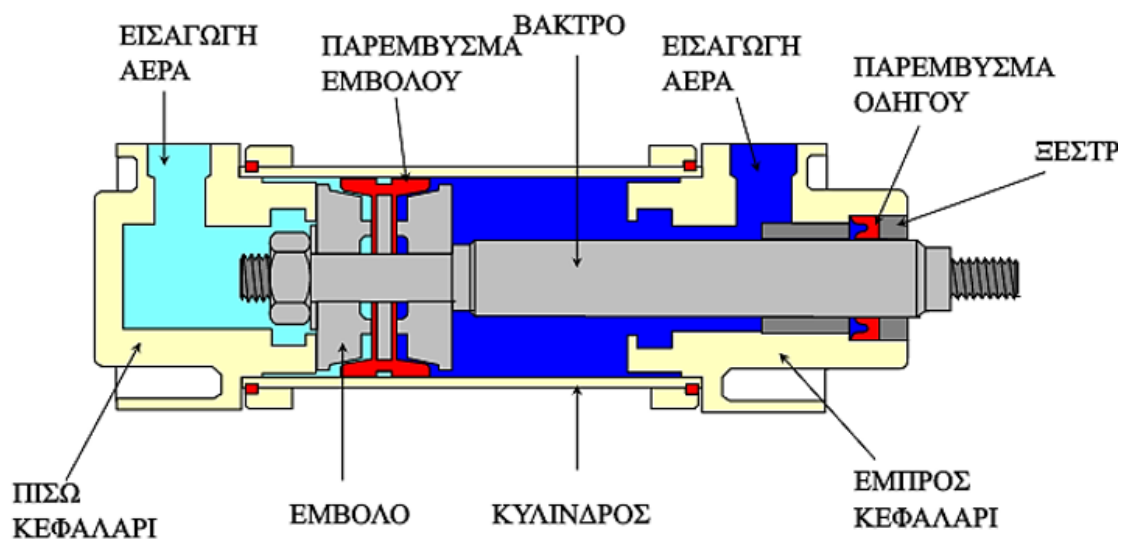


Εικόνα 5: Συμβολισμός τηλεσκοπικού κυλίνδρου (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 6: Συμβολισμός κυλίνδρου με επιβράδυνση (Κωστόπουλος, 2009).

Σε αυτήν την κατηγορία κυλίνδρων, υπάρχει εκτεταμένη χρήση, σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες, διότι σε αυτούς, η διαδρομή εξόδου (+) καθώς και η διαδρομή επανατοποθέτησης του βάκτρου (-), εκτελείται με την συμβολή του στοιχείου του πεπιεσμένου αέρα (Πανταζής, 1992).



Εικόνα 7: Τομή κυλίνδρου διπλής ενέργειας με απλό βάκτρο (Πανταζής, 1992).

Επιπλέον, στους κυλίνδρους διπλής ενέργειας με την παρουσία απλού βάκτρου, η παλινδρομική διαδρομή του εμβόλου που εκτελείται, έχει την δυνατότητα να λάβει χώρα, μετά τον εντοπισμό την πίεσης του αέρα προς κάποια πλευρά. Έτσι, η έτερη πλευρά από τον εντοπισμό της πίεσης του αέρα, θα πρέπει να πραγματοποιεί την έξοδο του. Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να τονισθεί ότι η συνολική διαφορά πίεσης μεταξύ των επιμέρους πιέσεων, πρέπει να είναι σε θέση να ισοσταθμίζει την εξωτερική δύναμη αυτής (Al – Ibrahim & Otis, 1992).

Έχοντας ως αναπόσπαστο δεδομένο την πίεση του αέρα στο κύκλωμα, η διαδρομή εισόδου που ακολουθεί το βάκτρο δημιουργεί μικρότερης έντασης δύναμη από την αντίστοιχη διαδρομή εξόδου του βάκτρου. Στη διαδρομή που ακολουθεί για την έξοδο, η επιφάνεια του εμβόλου, είναι ίση με τη διατομή του σωλήνα, ενώ αντίθετα στη διαδρομή που εκτελείται κατά την εισόδου, η επιφάνεια είναι μικρότερης έντασης εξαιτίας του ζητήματος της διατομής (Chen et al., 2007).

Η αντίστοιχη σχέση της δύναμης των κυλίνδρων διπλής ενέργειας, είναι η ακόλουθη (Κωστόπουλος, 2009):

$$F = (P_1 - P_2) * A$$

Πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι στους κυλίνδρους αυτού του είδους, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα η πίεση του αέρα που εξάγεται, να είναι συγκριτικά με την ατμόσφαιρα, αρκετά υψηλότερη. Αυτό το γεγονός λαμβάνει χώρα σε περιπτώσεις «στραγγαλισμού» της εξόδου του αέρα, με σκοπό να μειωθεί η ταχύτητα του αντίστοιχου κυλίνδρου (Messina et al., 2005).

Το κύριο πλεονέκτημα που εντοπίζεται στους κυλίνδρους διπλής ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες, είναι το γεγονός ότι εκτελούνται αυξημένες σε μήκος διαδρομές, με στόχο την ελαχιστοποίησης, κατά το δυνατόν, της απόστασης που συνοδεύει την μεταφερόμενη δύναμη (Messina et al., 2005) .

Σύμφωνα με τους Smith & Corripio (2002), οι κύριοι λόγοι των περιορισμών που χαρακτηρίζουν αυτούς τους κυλίνδρους, είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Η σχέση που αναπτύσσεται ανάμεσα στο μήκος και τη διάμετρο του βάκτρου σε έναν κύλινδρο, με σκοπό την εύρυθμη λειτουργία του συνολικού συστήματος.

- ✓ Η κατασκευή των βάρκων, των σωλήνων και φυσικά των σφικτήρων, που ως μεγαλύτερο μήκος τους, την τιμή των 3 m.

Σε σχέση με την κατασκευή των κυλίνδρων διπλής ενέργειας, ύψιστης σημασίας στοιχείο αποτελούν τα υλικά στεγανοποιητικού χαρακτήρα. Αυτά δημιουργούνται, κατά βάση, από ελαστικό ή ελαστικής βάσης πρώτες ύλες (Πανταζής, 1992).

Στην περίπτωση που οι κύλινδροι πραγματοποιούν τις εργασίες τους σε περιβάλλον άνω των 80^{οc}, τότε και μόνο τότε, παρεμβαίνουν στην διαδικασία παρεμβύσματα από φθοριωμένο ελαστομερές (Parr, 2009).

Τα βασικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κυλίνδρων διπλής ενέργειας, είναι (Κωστόπουλος, 2009):

- Οι σφικτήρες.
- Τα καπάκια και τα έμβολα.
- Ο κυλινδρικός σωλήνας.
- Οι εκάστοτε οδηγοί.

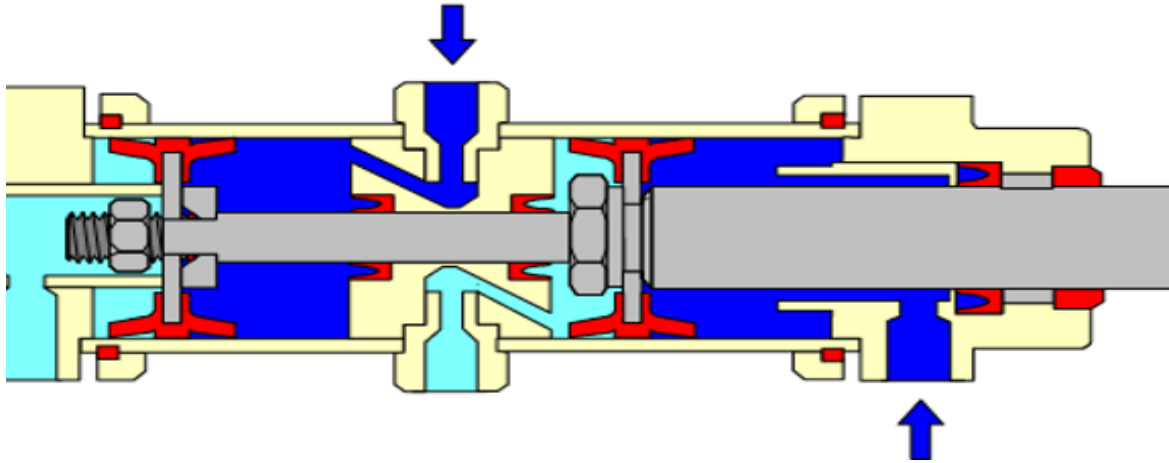
Τέλος, η ταχύτητα κίνησης του βάρκων ενός κυλίνδρου διπλής ενέργειας, έχει ευθεία σχέση αλληλεπίδρασης με τον βαθμό ταχείας εισόδου του πεπιεσμένου αέρα εντός του θαλάμου του εμβόλου. Στην περίπτωση, όπου οι δίοδοι του εμβόλου διαθέτουν μεγάλο μήκος διάμετρο, οι ταχύτητες που αναπτύσσονται μεταξύ του βάρκων και του εμβόλου, είναι περίπου στα 2 m / sec (Πανταζής, 1992).

Κύλινδροι ειδικών εφαρμογών

Οι κύλινδροι ειδικών εφαρμογών είναι μία ιδιαίτερα σπάνια κατηγορία κυλίνδρων. Η πιο γνωστή μορφή αυτών των κυλίνδρων είναι ο κύλινδρος Tandem, που απαρτίζεται από δύο (2) επιμέρους ανεξάρτητους κυλίνδρους πεπιεσμένου αέρα διπλής ενεργείας εντός ενός σωλήνα – κυλίνδρου, στοιχισμένα σε σειρά. Οι δύο (2) δυνάμεις που δημιουργούνται μέσα από αυτήν την αλληλεπίδραση, αθροίζονται και στην συνέχεια διπλασιάζεται η συνολική δύναμη που ασκεί το έμβολο (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

Άλλοι γνωστοί κύλινδροι ειδικών εφαρμογών είναι (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015):

- ✓ Ο περιστροφικός κύλινδρος.
- ✓ Ο κύλινδρος κρούσης, λόγω της μεγάλης και απότομης ταχύτητας εκκίνησης του.
- ✓ Ο κύλινδρος πολλών θέσεων.



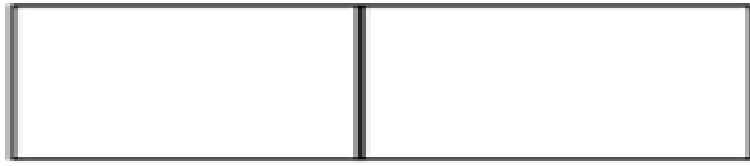
Εικόνα 8: Τομή κυλίνδρου διπλής ενέργειας Tandem (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

1.4 Στοιχεία ελέγχου πνευματικών συστημάτων

Το βασικότερο στοιχείο ελέγχου των πνευματικών συστημάτων αποτελούν οι βαλβίδες. Αυτές είναι υπεύθυνες για τη λειτουργία της έναρξης / στάσης του εμβόλου όπως και για την κατεύθυνση της ροής του πεπιεσμένου αέρα (Ρούτουλας, 2008).

Ο συμβολισμός των βαλβίδων στα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού πραγματοποιείται με τετράγωνα και οι κατηγορίες τους είναι οι παρακάτω (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015):

- ✓ Η βαλβίδα δύο θέσεων.



Εικόνα 9: Συμβολισμός βαλβίδας δύο θέσεων (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

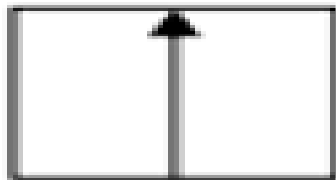
- ✓ Η βαλβίδα τριών θέσεων.



Εικόνα 10: Συμβολισμός βαλβίδας τριών θέσεων (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

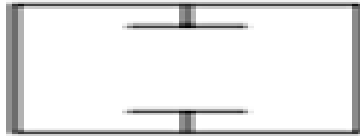
Εντός των τετραγώνων τα οποία, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, συμβολίζουν την βαλβίδα στα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού, υπεισέρχονται διάφορου είδους γραμμές αλλά και βέλη. Τα σύμβολα αυτά έχουν ως εξής (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015):

- ✓ Η ροή του αέρα.



Εικόνα 11: Συμβολισμός ροής του αέρα (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015)

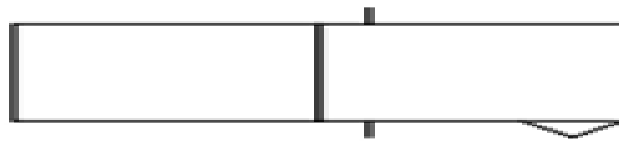
- ✓ Η διακοπή της ροής του αέρα.



Εικόνα 12: Συμβολισμός της διακοπής της ροής του αέρα (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

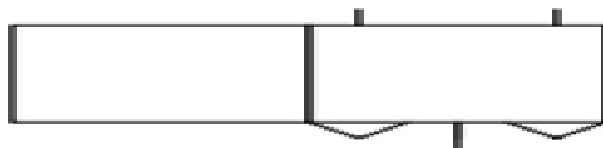
Επίσης, στο εξωτερικό περίβλημα των τετραγώνων που συμβολίζουν τις βαλβίδες, υπάρχουν διάφορες γραμμές οι οποίες χαρακτηρίζουν και συμβολίζουν τις πόρτες εισόδου των βαλβίδων. Αυτές είναι οι εξής (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015):

- ✓ Η βαλβίδα που διαθέτει τρεις πόρτες εισόδου, δύο ροής και μία εκτόνωσης αυτητών.



Εικόνα 13: Συμβολισμός βαλβίδας με τρεις πόρτες (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

- ✓ Η βαλβίδα που διαθέτει πέντε πόρτες εισόδου, τρεις ροής και δύο εκτόνωσης.



Εικόνα 14: Συμβολισμός βαλβίδας με πέντε πόρτες (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015).

Οι βαλβίδες με κριτήριο την λειτουργία τους, μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες (Ρούτουλας, 2008):

- ✓ Οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης.
- ✓ Οι βαλβίδες σημάτων.
- ✓ Οι βαλβίδες αντεπιστροφής.
- ✓ Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης.

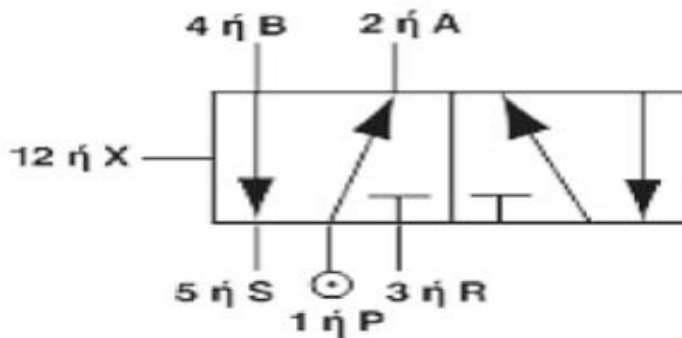
- ✓ Οι βάνες.

Παρακάτω αναλύονται οι αναφερόμενες κατηγορίες βαλβίδων.

Βαλβίδες Ελέγχου Κατεύθυνσης

Οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης, αποτελούν εξεζητημένους μηχανισμούς οι οποίοι παρέχουν πεπιεσμένο αέρα και εφαρμόζονται ώστε να επιτύχουν τον έλεγχο της κατεύθυνσης της ροής αυτού προς και από το έμβολο, αλλά και για την έξοδο και την επιστροφή του βάρου (Durfee & Sun, 2009).

Η διαδρομή την οποία ακολουθεί το βάρου κατά την έξοδό του, σε έναν εξόδου κύλινδρο διπλής ενέργειας, όπως και η διαδρομή που διαγράφει κατά την εισόδου του, απαραίτητα πρέπει να εκτελούνται με την στήριξη του πεπιεσμένου αέρα. Στο στάδιο όπου ο πεπιεσμένος αέρας εισχωρεί από την αντίστοιχη δίοδο στον κυλινδρικό θάλαμο, στον ίδιο χρόνο εκτελείται η διαδικασία της απώλειας του αέρα από τον έτερο θάλαμο. Την διαδικασία αυτή πραγματοποιεί η βαλβίδα ελέγχου κατεύθυνσης που καλείται ως βαλβίδα πέντε διόδων και δύο θέσεων (Πανταζής, 1992).



Εικόνα 15: Απεικόνιση βαλβίδας με πέντε διόδους και δύο θέσεις (Πανταζής, 1992).

Οι διάφοροι δίοδοι που χαρακτηρίζουν μία βαλβίδα αναφέρονται είτε με γράμματα είτε με αριθμούς. Οι βαλβίδες πέντε διόδων και δύο θέσεων, διαχωρίζονται ως εξής (Βασιλειάδου & Καλογεροπούλου, 2005):

- ✓ Οι βαλβίδες με παραμένουσες θέσεις.
- ✓ Οι βαλβίδες με ελατήριο επαναφοράς.
- ✓ Οι βαλβίδες διαφορετικής πίεσης.

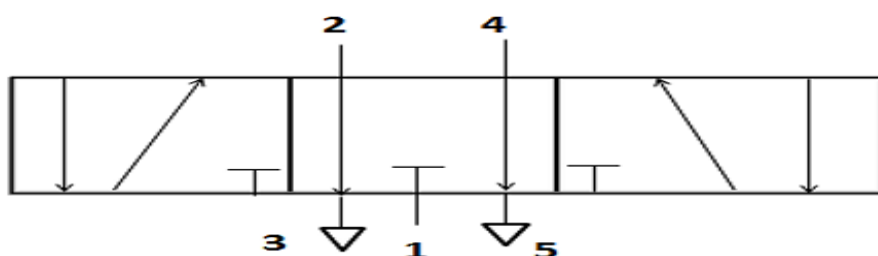
Οι κύριοι τύποι μηχανισμών, οι οποίοι είναι σε θέση να ενεργοποιούν τις βαλβίδες είναι οι εξής (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Οι μηχανισμοί πνευματικού σήματος.
- ✓ Οι μηχανισμοί μηχανικού σήματος.
- ✓ Οι μηχανισμοί ηλεκτρικού σήματος.

Με κριτήριο την κατασκευή τους, οι βαλβίδες πέντε διόδων και δύο θέσεων, κατηγοριοποιούνται ως εξής (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Οι βαλβίδες εμβόλου.
- ✓ Οι βαλβίδες με έδρες.
- ✓ Οι βαλβίδες με δίσκο.

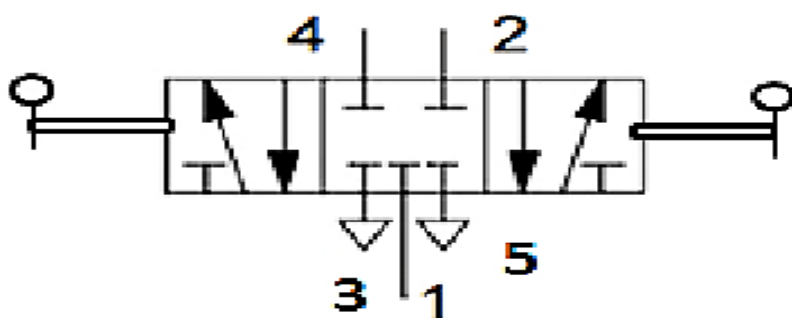
Οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης πέντε διόδων και τριών θέσεων, περιλαμβάνουν τους ίδιους μηχανισμού με τις βαλβίδες πέντε διόδων και δύο θέσεων. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι βαλβίδες πέντε διόδων και τριών θέσεων, παρέχουν την δυνατότητα στο έμβολο που κινείται να λαμβάνει και μία ενδιάμεση θέση εκτός από τις δύο ακραίες. Βέβαια, στην περίπτωση που η ενδιάμεση, αυτή, θέση της βαλβίδας είναι ανοιχτή, η διοχέτευση του αέρα η οποία συνδέεται με την είσοδο ένα διακόπτεται άμεσα. Εκτός των άλλων, οι διελεύσεις 2 - 3 και 4 - 5 παραμένουν ανοιχτές, με αποτέλεσμα ο κύλινδρος διπλής ενέργειας να συνδέεται με τις αντίστοιχες διόδους 2 και 4 και από εκεί να εκτονώνει τον αέρα από όλους τους θαλάμους. Μέσα από την συγκεκριμένη διαδικασία, το βάκτρο του εμβόλου το οποίο παρακολουθείται από την αντίστοιχη βαλβίδα, πραγματοποιεί τον τερματισμό του και αφήνει ελεύθερες όλες τις πιέσεις που ασκούνται (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 16: Συμβολισμός 5/3 βαλβίδας με ενδιάμεση ανοιχτή θέση (Κωστόπουλος, 2009).

Στην περίπτωση την οποία η ενδιάμεση θέση αποτελεί κλειστή παροχή, τότε οι διελεύσεις 2 - 3 και 4 - 5 παραμένουν κλειστές, με αποτέλεσμα ο πεπιεσμένος αέρας,

να παραμένει στον θάλαμο του πνευματικού εμβόλου. Μέσα από αυτήν την δραστηριότητα, το έμβολο έρχεται σε κατάσταση ισορροπίας (Κωστόπουλος, 2009).

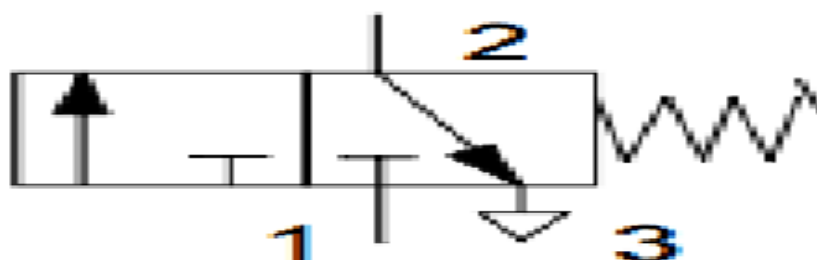


Εικόνα 17: Συμβολισμός 5/3 βαλβίδας με ενδιάμεση κλειστή θέση (Κωστόπουλος, 2009).

Βαλβίδες Σημάτων

Οι βαλβίδες σημάτων συμπεριλαμβάνουν μικρή ποσότητα πεπιεσμένου αέρα ενώ παράλληλα είναι επιφορτισμένες με την λειτουργία της ενεργοποίησης των βαλβίδων ελέγχου κατεύθυνσης. Αυτού του είδους οι βαλβίδες, περιέχουν τρεις διόδους και δύο θέσεις, οι οποίες για χάρην συντομίας αναγράφονται και ως «3/2 (Ρούτουλας, 2008).

Η δίοδος με την αρίθμηση «1» συνδέεται με τον πεπιεσμένο αέρα, η δίοδος με την αρίθμηση «2» συνδέεται με τον αποδέκτη του σήματος και η δίοδος με την αρίθμηση «3» παραμένει ελεύθερη (Ρούτουλας, 2008).



Εικόνα 18: Συμβολισμός 3/2 βαλβίδας (Κωστόπουλος, 2009).

Μία πρώτη κατηγοριοποίηση των βαλβίδων αυτών είναι η εξής (Πανταζής, 1992):

- ✓ Οι κανονικά κλειστές βαλβίδες.
- ✓ Οι κανονικά ανοιχτές βαλβίδες.

Όσον αναφορά τις κανονικές κλειστές βαλβίδες είναι βαλβίδες που χαρακτηρίζονται από την κατάσταση ηρεμίας και δεν διοχετεύουν σήμα αέρος ενώ όσον αναφορά τις κανονικές ανοιχτές βαλβίδες, παρέχουν ποσότητες σήματος αέρος χωρίς την πραγματοποίηση εκκίνησής τους (Κωστόπουλος, 2009).

Οι βασικοί μηχανισμοί οι οποίοι υποβοηθούν στην λειτουργία της εκκίνησης αυτού του είδους των βαλβίδων είναι οι ακόλουθοι (Πανταζής, 1992):

- ✓ Το κομβίο με παρουσία ελατηρίου επαναφοράς.
- ✓ Το κομβίο με παραμένουσες θέσεις.
- ✓ Ο μηχανισμός ρόλλερ διπλής κατεύθυνσης.
- ✓ Ο μηχανισμός ρόλλερ μονής κατεύθυνσης.
- ✓ Ο ποδομοχλός
- ✓ Το περιστρεφόμενο κομβίο.
- ✓ Η μεμβράνη χαμηλής πίεσης.

Τέλος, με κριτήριο την κατασκευή τους, οι βαλβίδες 3/2 διαχωρίζονται στις εξής υποκατηγορίες (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Βαλβίδες εμβόλου.
- ✓ Βαλβίδες εδρών.
- ✓ Μεικτές βαλβίδες.

Βαλβίδες Αντεπιστροφής

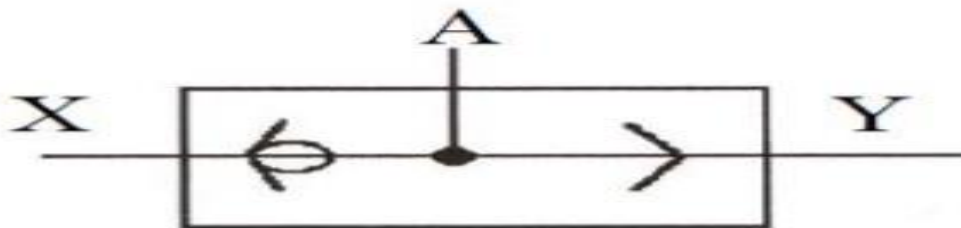
Οι βαλβίδες αντεπιστροφής αποτελούν στοιχεία τα οποία επιτρέπουν και ταυτόχρονα διευκολύνουν την ροή που διαδραματίζει ο αέρας, προς κάποια κατεύθυνση ενώ διακόπτουν την πορεία του προς την αντίθετη κατεύθυνση που έχει οριστεί. Η πίεση που εντοπίζεται στην πλευρά από την οποία πραγματοποιείται η έξοδος του αέρα, ενεργεί με άκρως αντίθετο τρόπο από ότι το στοιχείο της στεγανότητας και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ως σημαντικός παράγοντας για την εξασφάλιση της στεγανότητας της εκάστοτε βαλβίδας. Οι βαλβίδες αντεπιστροφής. Διαθέτουν μία ή το πολύ δύο εισόδους (Ρούτουλας, 2008).

Τα στοιχεία στεγανότητας τα οποία έχουν την ικανότητα να ανακόπτουν την ροή του αέρα, είναι της παρακάτω μορφής (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Κώνος.
- ✓ Σφαίρα.
- ✓ Πλάκα.
- ✓ Διάφραγμα.

Η βαλβίδα αντεπιστροφής απλού ελέγχου με την απουσία ελατηρίου, πραγματοποιεί την διαδικασία απενεργοποίησής της, μέσω της δύναμης η οποία ασκείται στο στοιχείο της στεγανότητας από την πίεση του πεπιεσμένου αέρα, ενώ αντίθετα, η βαλβίδα αντεπιστροφής με την παρουσία ελατηρίου, απενεργοποιείται στην περίπτωση όπου η πίεση του λαμβάνει χώρα κατά την έξοδο, είναι υψηλότερη ή ακόμα και ίση με την πίεση που ασκείται κατά την είσοδο (Astrom & Haglund, 1999).

Επίσης, όσον αναφορά την βαλβίδα αντεπιστροφής διπλού ελέγχου, αυτή απαρτίζεται από δύο (2) εισόδους, όπου συμβολίζονται με τα γράμματα X και Y αντίστοιχα, αλλά και μία έξοδο η οποία συμβολίζεται με το γράμμα A, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Κατά την διάρκεια εφαρμογής του πεπιεσμένου αέρα στην είσοδο X, πάει τις εργασίες της η είσοδος Y ενώ ταυτόχρονα το στοιχείο του αέρα συνεχίζει να διαπερνά με κατεύθυνση την είσοδο X προς την αντίστοιχη έξοδο A. Σε άλλη περίπτωση, το στοιχείο του αέρα έχει την δυνατότητα να κυλά από την είσοδο Y προς την μοναδική έξοδο A, ενώ φυσικά η έτερη είσοδος παραμένει φραγμένη (Chitly & Lambert, 1976).



Εικόνα 19: Συμβολισμός βαλβίδας αντεπιστροφής (Chilty & Lambert, 1976).

Εκτός των άλλων, οι βαλβίδες αντεπιστροφής, περιέχουν εντός τους και τις παρακάτω επιμέρους βαλβίδες (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Τη στραγγαλιστική ανακουφιστική βαλβίδα: Είναι γνωστή και ως βαλβίδα ρύθμισης της ταχύτητας. Συγκεκριμένα, μέσω αυτού του είδους την βαλβίδα, η ροή του χρησιμοποιούμενου αέρα, προσανατολίζεται προς μία μόνο κατεύθυνση. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι μία βαλβίδα

αντεπιστροφής, έχει την δυνατότητα να οριοθετεί την εκάστοτε ροή του αέρα προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, ταυτόχρονα με την ροή του αέρα μέσω της ανάλογης διάταξης στραγγαλισμού της. Η εφαρμογή των στραγγαλιστικών βαλβίδων ανακούφισης, πραγματοποιείται έτσι ώστε να ρυθμιστεί με τον βέλτιστο τρόπο η ταχύτητα εντός των πνευματικών κυλίνδρων του συστήματος.

- ✓ Τη βαλβίδα δύο (2) πιέσεων: Αυτού του είδους οι βαλβίδες, απαρτίζονται από δύο (2) εισόδους, οι οποίες συμβολίζονται ως X και Y αντίστοιχα, και μία μοναδική έξοδο A, που συμβολίζεται ως A. Σε αυτήν την περίπτωση, ο πεπιεσμένος αέρας δρα διαμέσου της βαλβίδας, μόνο στην περίπτωση όπου εκτελούνται σήματα και από τις δύο διαθέσιμες εισόδους. Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί, προς την καλύτερη κατανόηση του συστήματος, ότι στην περίπτωση όπου τα δύο αυτά σήματα δεν εκτελεστούν στον ίδιο χρόνο, τότε επικρατεί το σήμα εκείνο το οποίο εκτελέστηκε τελευταίο και διαπερνά από την μοναδική έξοδο A.

Βαλβίδες Ελέγχου Πίεσης

Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης, όπως γίνεται σαφές και από το όνομά τους, έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν άμεσα την πίεση του αέρα που εφαρμόζεται αλλά και το μέγεθος της πίεσης αυτής, που ασκείται στο εν λόγω σύστημα. Οι κατηγορίες των βαλβίδων ελέγχου πίεσης είναι οι εξής (Ρούτουλας, 2008):

- Οι βαλβίδες οι οποίες περιορίζουν την πίεση: Το συγκεκριμένο είδος βαλβίδων, εφαρμόζεται ως δικλείδα ασφαλείας και έχουν την ικανότητα να σταματούν την πίεση που ασκείται σε ένα πνευματικό σύστημα αυτοματισμού, όταν αυτή λάβει τιμές μεγαλύτερες των εξ αρχής ορισμένων από το αντίστοιχο σύστημα. Ουσιαστικά, λειτουργούν ως «κόφτες» της πίεσης. Στην περίπτωση όπου η μεγάλη τιμή της πίεσης, δημιουργηθεί κατά το στάδιο της εισόδου στην βαλβίδα, τότε μέσω της εξόδου ο αέρας διοχετεύεται εκτός συστήματος. Η βαλβίδα αυτή θα επανέλθει στους κανονικούς της ρυθμούς, όταν η τιμή της πίεσης του αέρα μειωθεί αισθητά.

- Οι βαλβίδες που ρυθμίζουν την πίεση: Αυτές οι βαλβίδες, εφαρμόζονται με σκοπό της σταθεροποίησης της πίεσης του πνευματικού συστήματος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται η κατάλληλη επιλογή της πίεσης μέσω του οργάνου ένδειξης αυτής και εν συνεχεία διοχετεύεται έχοντας ως βασικό στοιχείο της, την σταθερότητα, σε όλα τα επιμέρους τμήματα του κυκλώματος. Σημαντικό, βέβαια, είναι το γεγονός ότι η μικρότερη τιμή την οποία μπορεί να λάβει η πίεση του αέρα κατά το στάδιο της εισόδου, πρέπει να είναι υψηλότερη από το στάδιο της εξόδου.
- Οι βαλβίδες που προσδίδουν την διαδοχική δράση: Οι βαλβίδες αυτές, έχουν την ικανότητα να εφαρμόζονται στα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού, στην περίπτωση όπου είναι απαραίτητη ορισμένη τιμή πίεσης με σκοπό να επιτευχθεί κάποια διαφοροποίηση στην κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, το εν λόγω σήμα διοχετεύεται μόνο όταν λάβει χώρα η λειτουργία της πίεσης.

Οι βάνες

Είναι η πιο απλή κατηγορία αυτών των βαλβίδων. Οι βάνες έχουν την δυνατότητα είτε να επιτρέπουν είτε να αποτρέπουν, τη ροή που πραγματοποιεί ο αέρας εντός μίας συγκεκριμένης γραμμής. Οι βάνες, υπάγονται στην κατηγορία βαλβίδων στραγγαλισμού (Ρούτουλας, 2008).

1.5 Ελεγκτές συστημάτων αυτόματου ελέγχου

Με την έννοια του συνόλου αναφερόμαστε σε ένα συνολικό αριθμός στοιχείων, είτε αυτά είναι φυσικά είτε τεχνητά, τα οποία δημιουργούν μία οντότητα και εκτελούν ενέργειες ως ανεξάρτητη μονάδα. Η διαδικασία ελέγχου, ουσιαστικά, αποτελεί διαδικασία παραγωγής, καθορισμού και προσέκλυσης, του ορθού σήματος που

αναφέρεται στην είσοδο του συστήματος και έχει ως στόχο η έξοδός του να διαγράφει μία συνήθης πορεία. Ως ελεγκτής καλείται ο μηχανισμός ο οποίος μέσα από ένα εύρος λειτουργιών, ελέγχει το πνευματικό σύστημα (Ρούτουλας, 2008).

Οι βασικότεροι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται κατά κόρων είναι οι παρακάτω (Πανταζής, 1992):

- ✓ Ο αναλογικός ελεγκτής.
- ✓ Ο αναλογικός – διαφορικός ελεγκτής.
- ✓ Ο αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής.

Παρακάτω αναλύονται οι προαναφερθείς ελεγκτές.

Ο Αναλογικός Ελεγκτής (γνωστός και ως Proportional-Controller)

Σε αυτού του είδους τον ελεγκτή, η σχέση η οποία αναπτύσσεται μεταξύ της εισόδου (u) και του σφάλματος που επιδρά στο σήμα (e) είναι η ακόλουθη (Πανταζής, 1992):

$$U(t) = K_c * e(t)$$

Ενώ η αντίστοιχη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι η παρακάτω (Πάνταζής, 1992):

$$G_c(s) = K_c$$

Όπου:

K_c : το αναλογικό κέρδος που χαρακτηρίζει τον ελεγκτή.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι, ο αναλογικός ελεγκτής αποτελεί κατευθυντή ο οποίος προσαρμόζεται ανάλογα με το κέρδος. Στην περίπτωση που το κέρδος παρουσιάζει αυξητικές τάσεις (αυξάνεται) ο αντίστοιχος βαθμός ευαισθησίας στις διαταραχές έχει πτωτική πορεία (μειώνεται), ταυτόχρονα, όμως, παρουσιάζει πτωτικές τάσεις και ο βαθμός ευαισθησίας του. Εξαιτίας αυτού, κρίνεται απαραίτητη η εκτενής χρήση και εφαρμογή συγκεκριμένων οριοθετημένων τιμών κέρδους (Πανταζής, 1992).

Ο Αναλογικός - Διαφορικός Ελεγκτής (γνωστός και ως Proportional-Derivative Controller)

Στον συγκεκριμένο ελεγκτή, η σχέση που αναπτύσσεται ανάμεσα στην είσοδο (u) και το σήμα σφάλματος (e) είναι η εξής (Πανταζής, 1992):

$$U(t) = K_c * e(t) + K_c * T_D * de(t) / dt$$

Ενώ η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι η εξής (Πανταζής, 1992):

$$G_c(s) = K_c (1 + T_D S)$$

Όπου:

K_c : το αναλογικό κέρδος

T_D : ο χρόνος διαφόρισης.

Ο διαφορικός όρος D τον οποίο διαθέτει ο αναλογικός - διαφορικός ελεγκτής, δημιουργεί αύξηση του βαθμού ευστάθειας του πνευματικού συστήματος και ταυτόχρονα παράγει βελτίωση στην συνολική συμπεριφορά του, κατά το στάδιο της μετάβασης. Σε γενικές γραμμές, ο αναλογικός - διαφορικός ελεγκτής, έχει την ικανότητα να δημιουργεί μείωση στο στοιχείο της υπερύψωσης καθώς και του χρόνου αποκατάστασης (Πανταζής, 1992).

Ο Αναλογικός - Ολοκληρωτικός - Διαφορικός Ελεγκτής (γνωστός και ως Proportional-Integral-Derivative Controller)

Η σχέση η οποία αναπτύσσεται ανάμεσα στην είσοδο (u) και το σήμα του σφάλματος (e), στον αναλογικό - ολοκληρωτικό - διαφορικό ελεγκτή είναι η ακόλουθη (Πανταζής, 1992):

$$U(t) = K_c * e(t) + K_c * T_D * de(t) / dt + K_c / T_i \int t_a e(t) * dt$$

Ενώ η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι η εξής (Πανταζής, 1992):

$$G_c(S) = K_c (1 + 1/T_i * s) + T_D * S$$

Όπου:

K_c : το αναλογικό κέρδος.

T_i : ο χρόνος ολοκλήρωσης.

T_D : ο χρόνος διαφόρισης.

Η δράση ενός αναλογικού – ολοκληρωτικού – διαφορικού ελεγκτή, συνοψίζεται στα εξής παρακάτω στοιχεία (Astrom & Haglund, 1999):

- Το παρελθόν με την διεκπεραίωση του σφάλματος.
- Το παρόν.
- Το μέλλον με την προβολή του σφάλματος.

Ο PID ελεγκτής έχει την δυνατότητα να παρέχει στο σύστημα γρήγορη ανταπόκριση, εξαιτίας του ελεγκτή P ο οποίος εκμηδενίζει το σφάλμα σε μόνιμη βάση (Amstrom & Haglund, 1999).

Κεφάλαιο 2^ο : Υδραυλικά συστήματα

2.1 Ορισμός και ιδιότητες υδραυλικού συστήματος αυτοματισμού

Ως υδραυλικά συστήματα καλούνται τα συστήματα εκείνα τα οποία μεταφέρουν ισχύ και απαρτίζονται από πλήθος υδραυλικών αντλιών, σωληνώσεων, κινητήρων και εμβόλων, τα οποία εφαρμόζονται και έχουν ως στόχο τους, την παραγωγή δύναμης ή ροπής ρευστού (Parambath, 2016).

Επίσης, με την έννοια της ροής των ρευστών ονομάζεται η δραστηριότητα κίνησης των διάφορων σωματιδίων που περιέχονται εντός των ρευστών, διότι αυτά κυλούν (Parambath, 2016).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στα υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού, η διαδικασία της μετάδοσης της ενέργειας που παρέχεται στο σύστημα, εκτελείται με την υποβοήθηση διάφορων ασυμπίεστων υγρών (Κωστόπουλος, 2009).

Τα βασικά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν ένα απλό υδραυλικό σύστημα είναι τα παρακάτω (Πανταζής, 2015):

- ✓ Η μεγάλη ακρίβεια που χαρακτηρίζει την θέση.
- ✓ Η ενδεχόμενη τοξικότητα του υδραυλικού ρευστού που υπάρχει στο σύστημα.
- ✓ Έχει την δυνατότητα να παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας.
- ✓ Η εισχώρηση έντονων δυνάμεων.

Οι ιδιότητες των ρευστών στοιχείων που βοηθούν στην ορθή λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων είναι οι ακόλουθες (Ρουμπής, 1992):

- Η υδραυλική αδράνεια: Είναι η αδράνεια που εκδηλώνεται εξαιτίας των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στην ταχύτητα του ρευστού. Επίσης, είναι το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει μέσα από το λόγο της διαφοράς της πίεσης προς την ταχύτητα μεταβολής της ροής του ρευστού στοιχείου.
- Η ειδική πίεση: Είναι το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει μέσα από το λόγο της δύναμης την οποία εκτελεί το ρευστό σε μία επιφάνεια προς το αντίστοιχο εμβαδόν της.

- Το ειδικό βάρος: Δείχνει το βάρος του ρευστού στοιχείου ανά μονάδα του όγκου του.
- Η πυκνότητα των ρευστών: Δείχνει την μάζα του ρευστού στοιχείου εκφρασμένο ανά μονάδα όγκου σε σταθερή θέση του ρευστού.
- Η υδραυλική χωρητικότητα: Είναι το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει από το λόγο της μεταβολής του όγκου που διαθέτει το ρευστό στοιχείο εντός μίας υδραυλικής διάταξης προς την αντίστοιχη μεταβολή της πίεσης.
- Η υδραυλική αντίσταση: Είναι ο βαθμός αντίστασης που εκδηλώνει το ρευστό στη φάση της κινητικότητάς του. Αποτελεί την συνέπεια η οποία προκύπτει μέσα από το λόγο της διαφοράς της πίεσης προς τον παρεχόμενο όγκο.

Τα υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού έχουν ποικίλα πλεονεκτήματα αλλά συνοδεύονται και από κάποια μειονεκτήματα, όπως άλλωστε όλες οι λειτουργίες. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων, συνοψίζονται παρακάτω (Πανταζής, 1992):

- ✓ Δεν χρειάζονται ως απαραίτητο στοιχείο τους, αυτόνομο κύκλωμα ψύξης – λίπανσης.
- ✓ Έχουν την ικανότητα να αλλάζουν την χρήσιμη ροπή στρέψης, σε μεταβολή της πίεσης της λειτουργίας του εκάστοτε συστήματος.
- ✓ Διαθέτουν υψηλή ταχύτητα αντίδρασης.
- ✓ Χρειάζονται μειωμένη μάζα και όγκο για τους υδραυλικούς κινητήρες.
- ✓ Διαθέτουν ποικίλες βιομηχανικές εφαρμογές.
- ✓ Διαθέτουν ελαστικότητα και ταυτόχρονα ακαμψία.
- ✓ Έχουν την ικανότητα να αντιστρέφουν την φορά της περιστροφής που πραγματοποιείται.

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού είναι τα παρακάτω (Πανταζής, 1992):

- ✓ Στα υδραυλικά συστήματα ελλοχεύει ο κίνδυνος της διάρρηξης τους.
- ✓ Διαθέτουν μικρές ανοχές από κατασκευαστικής άποψης.
- ✓ Διαθέτουν υπολογιστικά εμπόδια.
- ✓ Η παροχή υψηλής θερμότητας.
- ✓ Διαθέτουν υψηλό κίνδυνο διαρροής.

2.2 Επιμέρους στοιχεία και λειτουργία υδραυλικών συστημάτων

Ως υδραυλικό σύστημα ελέγχου αυτοματισμού καλείται το κύκλωμα εκείνο το οποίο εφαρμόζεται με σκοπό τη μεταφορά ισχύος, ισχυρών φορτίων καθώς και την διαδικασία μετάδοσης της κίνησης. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί ότι τα υδραυλικά συστήματα ελέγχου αυτοματισμού, ως βασικό χαρακτηριστικό τους, διαθέτουν τις πολύ μεγάλες και έντονες πιέσεις κάτω από τις οποίες πρέπει να λειτουργούν. Συγκεκριμένα, η πίεση αυτή, έχει την δυνατότητα να αγγίξει και τα 300 bar (Cupra, 2008).

Τα επιμέρους στοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα υδραυλικό σύστημα αυτοματισμού είναι τα παρακάτω (Zhang, 2009):

- ✓ Οι υδραυλικές αντλίες.
- ✓ Οι υδραυλικοί κύλινδροι.
- ✓ Οι υδραυλικές βαλβίδες.
- ✓ Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές.

2.3 Υδραυλικοί κύλινδροι

Οι υδραυλικοί κύλινδροι είναι γνωστοί στο ευρύ κοινό και ως υδραυλικά έμβολα. Ως υδραυλικοί κύλινδροι καλούνται τα υδραυλικά μηχανήματα τα οποία διοχετεύουν γραμμική κίνηση στα στοιχεία του συστήματος. Η συνέπεια η οποία προκύπτει μέσα από την υδραυλική, αυτή, δραστηριότητα, αντικατοπτρίζεται στο έμβολο αυτού διαμέσου της ευθύγραμμης κίνησης που λαμβάνει χώρα (Chapple, 2015).

Η επιλογή του κατάλληλου κυλίνδρου για τη διαδικασία, πραγματοποιείται με βάση κάποια κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι (Akers et al., 2006):

- Η πίεση.
- Η ταχύτητα.
- Η δύναμη.

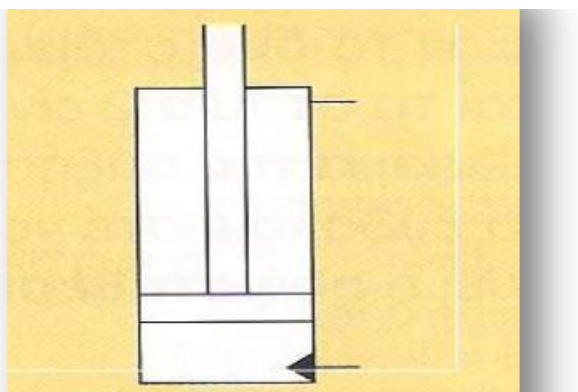
Οι κατηγορίες υδραυλικών κυλίνδρων είναι οι παρακάτω (Parambath, 2016):

- ✓ Οι υδραυλικοί κύλινδροι απλής ενέργειας.
- ✓ Οι υδραυλικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας.

Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση αυτών των κατηγοριών εμβόλων.

Υδραυλικοί κύλινδροι απλής ενέργειας

Οι υδραυλικοί κύλινδροι απλής ενέργειας, ουσιαστικά, διαθέτουν μόνο μία κατεύθυνση στην οποία μπορεί να κινηθεί το αντίστοιχο ρευστό τους. Κατ' επέκταση διαθέτει μία αποκλειστική είσοδο για το ρευστό στοιχείο μέσω της οποίας πραγματοποιείται και η έξοδος αυτού (Κωστόπουλος, 2009).

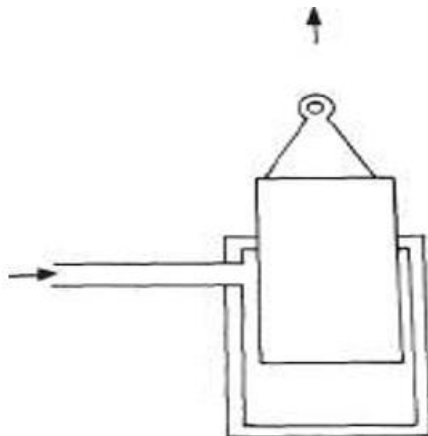


Εικόνα 20: Συμβολισμός κυλίνδρου απλής ενέργειας (Κωστόπουλος, 2009).

Έτσι στους κυλίνδρους απλής ενέργειας, το πιστόνι που διαθέτουν, διοχετεύει με υγρό στοιχείο δύο (2) κοιλότητες. Η πρώτη κοιλότητα περιέχει υδραυλικό λάδι ενώ η δεύτερη κοιλότητα εντάσσει τον αέρα. Κατόπιν, με την κίνηση που εκτελεί ο κύλινδρος, ο αέρας αποσύρεται και επαναποθετείται διαμέσου της εξόδου εξαερισμού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι με σκοπό την μη πρόσμιξη του αέρα με την ρύπανση, εφαρμόζεται το λεγόμενο πορώδες φίλτρο, ενώ η αποφυγή διοχέτευσης υδραυλικού ρευστού από την κοιλότητα της πίεσης στην κοιλότητα του αέρα, πραγματοποιείται μέσω του στεγανωτικού δακτυλίου. Τέλος, το φαινόμενο της εισχώρησης της ρύπανσης, ελαχιστοποιείται διαμέσου της εφαρμογής του δακτυλίου απόξεσης (Ρουμπής, 1992).

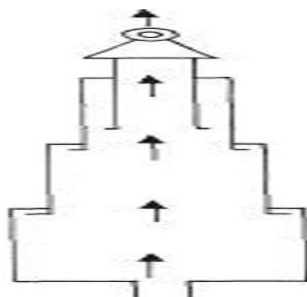
Οι επιμέρους κατηγορίες των κυλίνδρων απλής ενέργειας είναι οι παρακάτω (Πανταζής, 1992):

- ✓ Το έμβολο με βυθισμένο βάκτρο: Σε αυτό του είδους το έμβολο, τόσο το πιστόνι όσο και το κενό εξαερισμού έχουν αποσυρθεί από το κύκλωμα, με αποτέλεσμα ο κύλινδρος να διαγράφει μεγαλύτερη πορεία.



Εικόνα 21: Έμβολο με βυθισμένο βάκτρο (Ρούτουλας, 2008).

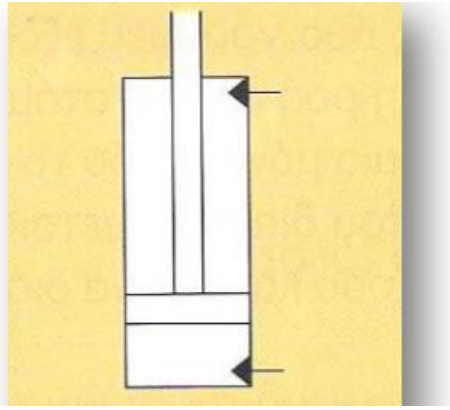
- ✓ Το έμβολο με τηλεσκοπικό κύλινδρο: Εφαρμόζεται όταν το μήκος που διαθέτει ο κύλινδρος όταν αυτός βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας και πρέπει να είναι μικρότερος από το μήκος που λαμβάνει κατά την φάση της δραστηριότητας.



Εικόνα 22: Έμβολο με τηλεσκοπικό κύλινδρο (Ρούτουλας, 2008).

Υδραυλικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας

Οι υδραυλικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας, ουσιαστικά, διαθέτουν δύο (2) ανεξάρτητες κατευθύνσεις ροής (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 23: Συμβολισμός κυλίνδρου διπλής ενέργειας (Κωστόπουλος, 2009).

Έτσι στον κύλινδρο διπλής ενέργειας, στην περίπτωση που διοχετεύεται υδραυλικό ρευστό στοιχείο στην μία είσοδο του κυκλώματος, επανατοποθετείται το υγρό στοιχείο από την έτερη είσοδο αυτού. Με σκοπό την αποτροπή της διαρροής, εφαρμόζονται και σε αυτήν την περίπτωση, στεγανωποιητικοί δακτύλιοι, τόσο στην περιοχή του εμβόλου, όσο και στην περιοχή του βάκτρου (Ρουμπής, 1992).

Οι υποκατηγορίες των κυλίνδρων διπλής ενέργειας είναι οι εξής (Ρούτουλας, 2008):

- ✓ Τα έμβολα μη δορυφορικού τύπου: Σε αυτό το είδος, η επιφάνεια δράσης είναι ίδιων διαστάσεων και στις δύο (2) επιμέρους πλευρές του πιστονιού γιατί το αντίστοιχο βάκτρο επισύρεται σε όλες τις κατευθύνσεις.
- ✓ Τα έμβολα δορυφορικού τύπου: Στην συγκεκριμένη υποκατηγορία των κυλίνδρων διπλής ενέργειας, υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο (2) πλευρών του πιστονιού, όσον αναφορά την σφαιρική επιφάνεια και την ολική δύναμη αυτών.

2.4 Υδραυλικές βαλβίδες

Η χρήση των υδραυλικών βαλβίδων στα υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού, αφορά την ρύθμιση και τον έλεγχο της ροής του ρευστού στοιχείου το οποίο πραγματοποιεί την σύνδεση με την έξοδο της βαλβίδας (Zhang, 2009).

Σύμφωνα με τον Κωστόπουλο (2009), οι υδραυλικές βαλβίδες απαρτίζονται, πάντα, από ένα κινητό και ένα σταθερό τμήμα. Σε γενικές γραμμές, οι υδραυλικές βαλβίδες

διαχωρίζονται βάση δύο (2) κριτηρίων τα οποία είναι τα ακόλουθα (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Με τον τρόπο μέσα από τον οποίο καθορίζεται η ροή του ρευστού στοιχείου.
- ✓ Σύμφωνα με την γενική λειτουργία τους εντός του συστήματος.

Με κριτήριο τον τρόπο μέσα από τον οποίο καθορίζεται η ροή του ρευστού στοιχείου, οι υδραυλικές βαλβίδες, διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες (Cupra, 2008):

- ❖ Οι βαλβίδες τύπου πτερυγίου ακροφοσίου: Η ροή του ρευστού στοιχείου, σε αυτήν την περίπτωση, πραγματοποιείται με την βοήθεια ενός πτερυγίου.
- ❖ Οι βαλβίδες τύπου εμβόλου: Σε αυτού του είδους τις υδραυλικές βαλβίδες, πραγματοποιείται η ρύθμιση της ροής, διαμέσου της κίνησης που λαμβάνει χώρα σε ένα έμβολο το οποίο αφήνει την διόδο του ρευστού στοιχείου, ελεύθερη από τα ανοίγματα της βαλβίδας.

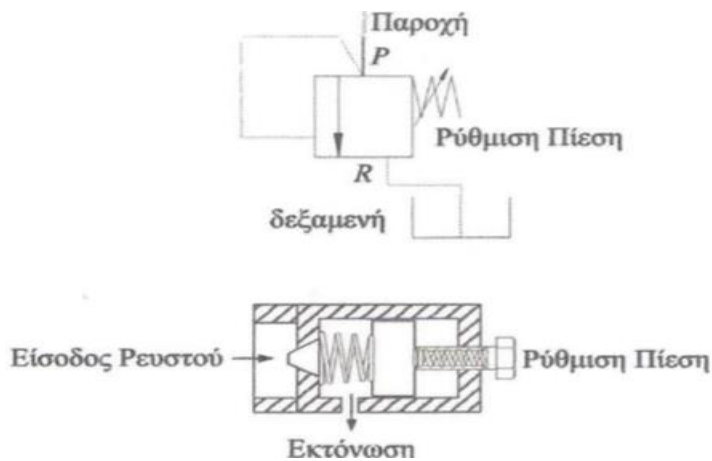
Επίσης, με κριτήριο την γενική λειτουργία τους, οι υδραυλικές βαλβίδες, διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες (Chapple, 2015):

- ✓ Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης.
- ✓ Οι βαλβίδες ελέγχου ροής.
- ✓ Οι βαλβίδες κατεύθυνσης.
- ✓ Οι βαλβίδες ρύθμισης.

Παρακάτω αναλύονται οι κατηγορίες αυτές των υδραυλικών βαλβίδων με βάση το συγκεκριμένο κριτήριο.

Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης

Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης έχουν την δυνατότητα να οριοθετούν προς τα κάτω τις τιμές της υδραυλικής πίεσης εντός των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού, που προσδιορίζουν μία διόδο αποσυμφόρησης του ρευστού στοιχείου προς την αντίστοιχη δεξαμενή. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι χαρακτηριστικό των βαλβίδων ελέγχου πίεσης, είναι η προστασία των συστημάτων αυτού του είδους, από την υψηλή πίεση η οποία έχει την δυνατότητα να ασκηθεί μέσω της αντλίας (Ρούτουλας, 2008).

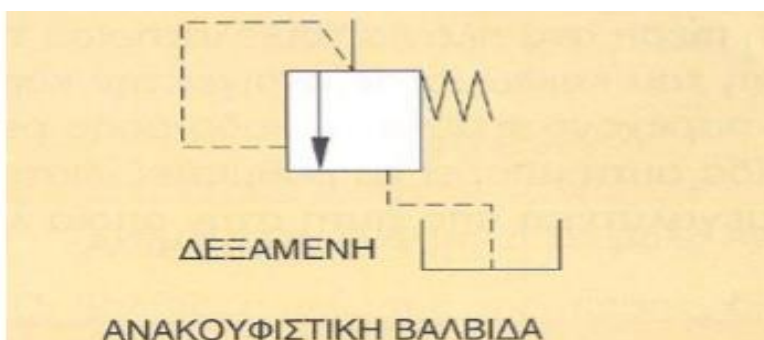


Εικόνα

24: Συμβολισμός βαλβίδας ελέγχου πίεσης (Κωστόπουλος, 2009).

Κατόπιν, στην χρονική φάση όπου η πίεση στην περιοχή των άκρων της υδραυλικής βαλβίδας, αγγίζει μία συγκεκριμένη και προκαθορισμένη τιμή, η ροή η οποία παρέχεται από την αντλία, επανατοποθετείται στα αρχικά επίπεδά της, διαμέσου της διαδικασίας εκτόνωσης της βαλβίδας στην περιοχή της δεξαμενής, όπου εκεί φορτίζει εκ νέου (Κωστόπουλος, 2009).

Κατά συνέπεια, στην περίπτωση που η ροή επιστρέφει προς την περιοχή της δεξαμενής, η αντίστοιχη υδραυλική βαλβίδα καλείται ως βαλβίδα ανακούφισης, ενώ από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση που η ροή διοχετευτεί σε διαφορετική θέση εντός του κυκλώματος, η βαλβίδα καλείται ως βαλβίδα ακολουθίας (Akers et al., 2006).



Εικόνα 25: Συμβολισμός ανακουφιστικής βαλβίδας ελέγχου πίεσης (Κωστόπουλος, 2009).



Εικόνα 26: Συμβολισμός βαλβίδα ακολουθίας ελέγχου πίεσης (Κωστόπουλος, 2009).

Οι βαλβίδες ελέγχου ροής

Αυτού του είδους οι βαλβίδες εφαρμόζονται στα υδραυλικά συστήματα με στόχο να ρυθμίζουν την παροχή. Σε γενικές γραμμές, οι υδραυλικές βαλβίδες, διαθέτουν σταθερά επίπεδα στις τιμές της πίεσης και δεν παρουσιάζουν ποικιλόμορφη ροή (Κωστόπουλος, 2009).

Οι βαλβίδες ελέγχου ροής, βασίζονται στο γεγονός ότι η ροή του ρευστού στοιχείου η οποία προέρχεται από κάποιο στόμιο, παρουσιάζει σταθερότητα, κατά το χρονικό διάστημα όπου η διαφορά μεταξύ της πίεσης, που λαμβάνει χώρα στα άκρα είναι σταθερή. Όσο μεταβάλλεται η ελεύθερη επιφάνεια του στομίου, μεταβάλλεται αναλόγως και η τιμή της πίεσης στα άκρα αυτού. Κατά συνέπεια, μία βαλβίδα ανακούφισης έχει την δυνατότητα να τροποποιεί την παροχή στα υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού (Ρούτουλας, 2008).

Σύμφωνα με τον Κωστόπουλος (2009), οι βαλβίδες ελέγχου ροής είναι:

- Ο ρυθμιζόμενος στραγγαλισμός.
- Ο στραγγαλισμός μονής γραμμής.
- Ο ρυθμιζόμενος στραγγαλισμός και η αντιστάθμιση της πίεσης.

Οι βαλβίδες κατεύθυνσης

Οι βαλβίδες κατεύθυνσης διαθέτουν υψηλή σημασία για τα υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού. Αυτού του είδους οι βαλβίδες είναι υπεύθυνες, ώστε να οριοθετούν την κατεύθυνση προς το αντίστοιχο έμβολο (Κωστόπουλος, 2009).

Οι βαλβίδες κατεύθυνσης κατηγοριοποιούνται ως εξής (Ρουμπής, 1992):

- Η υδραυλική βαλβίδα 3/2: Η υδραυλική βαλβίδα 3/2, αποτελείται από 3 θύρες και 2 καταστάσεις. Η βαλβίδα αυτή, έχει την δυνατότητα να προάγει την αλληλοεπίδραση μεταξύ των 2 αγωγών.
- Η υδραυλική βαλβίδα 2/2: Η βαλβίδα αυτή χαρακτηρίζεται ως κλειστού τύπου και έχει ευρεία χρήση και εφαρμογή. Σε αυτού του είδους την βαλβίδα, το ελατήριο, βοηθά τη σταθεροποίηση του εμβόλου που είναι τοποθετημένο στην ακραία θέση, με αποτέλεσμα να υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ των αγωγών.
- Η υδραυλική βαλβίδα 4/2: Η υδραυλική αυτή βαλβίδα, απαρτίζεται από 4 θύρες και 2 καταστάσεις. Επίσης, εντός της βαλβίδας δεν υπάρχει κανένα απολύτως ελατήριο, με αποτέλεσμα το έμβολο να κινείται με ελεύθερες κινήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις.

Οι βαλβίδες ρύθμισης

Οι βαλβίδες αυτού του είδους καλούνται και ως ρυθμιστικές βαλβίδες. Επίσης, έχουν τοποθετημένο στο εσωτερικό τους, ένα στόμιο το οποίο έχει την ικανότητα να τροποποιείται έχοντας ως άξονα ένα οδοντωτό κουμπί το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της βαλβίδας (Charple, 2015).

2.5 Υδραυλικές αντλίες

Οι υδραυλικές αντλίες αποτελούν το βασικό συστατικό των υδραυλικών συστημάτων ελέγχου αυτοματισμού. Ο κύριος στόχος αυτών, αποτελεί η μετατροπή της μηχανικής καθώς και της ηλεκτρικής ισχύος σε υδραυλική ενέργεια η οποία υπόκειται σε συμπίεση του ρευστού στοιχείου προς το συνολικό σύστημα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι η κινητική ενέργεια η οποία περιέχεται εντός του ρευστού στοιχείου είναι πολύ χαμηλή, πράγμα το οποίο οφείλεται στα χαμηλά επίπεδα στα οποία κινούνται οι αντίστοιχες ταχύτητες. Κατ' επέκταση, οι υδραυλικές αντλίες,

εμπεριέχουν θετική μετατόπιση. Το πιο βασικό στοιχείο το οποίο χαρακτηρίζει τις αντλίες υδραυλικού χαρακτήρα είναι ότι απορροφούν ορισμένη ποσότητα υγρού στοιχείου, κατά την αρχική φάση τους όπου το σύστημα ξεκινά (Akers et al., 2006).

Σύμφωνα με τον Parr (2009), τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν και φυσικά συνοδεύουν μία υδραυλική αντλία είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Το μεγάλο κόστος.
- ✓ Η αποδοτικότητα.
- ✓ Η παροχή.
- ✓ Οι διαστάσεις.
- ✓ Το βάρος.
- ✓ Ο εύκολος έλεγχος της διαδικασίας συντήρησής τους.

Επίσης, οι κατηγορίες των υδραυλικών αντλιών είναι (Σκαρπέτης & Κουμπούλης, 2015):

- ✓ Οι υδραυλικές εμβολοφόρες αντλίες.
- ✓ Οι υδραυλικές οδοντωτές αντλίες.
- ✓ Οι υδραυλικές πτερυγωτές αντλίες.
- ✓ Οι υδραυλικές πτερυγιοφόρες αντλίες.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι κατηγορίες αυτών των αντλιών που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Οι υδραυλικές εμβολοφόρες αντλίες

Οι υδραυλικές εμβολοφόρες αντλίες, έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας τους, την διαδικασία αναρρόφησης του υγρού στοιχείου και την ταυτόχρονη παλινδρομική κίνηση η οποία εκτελείται από ένα έμβολο σε ένα έτερο έμβολο (Parr, 2009).

Αυτού του είδους οι αντλίες με κριτήριο την επιμέρους κατανομή των εμβόλων τους διαχωρίζονται ως εξής (Ρούτουλας, 2008):

- ✓ Υδραυλικές εμβολοφόρες αντλίες αξονικών εμβόλων: Ο επιμέρους διαχωρισμός του συγκεκριμένου είδους αντλιών είναι σε αντλίες κεκλιμένης πλάκας και σε αντλίες κυρτού άξονα.
- ✓ Υδραυλικές εμβολοφόρες αντλίες ακτινικών εμβόλων: Αυτού του είδους οι αντλίες διαχωρίζονται σε αντλίες περιστρεφόμενου block εμβόλων και σε αντλίες σταθερού block εμβόλων.

Οι υδραυλικές οδοντωτές αντλίες

Αυτού του είδους οι αντλίες εφαρμόζονται σε ένα υδραυλικό σύστημα ελέγχου αυτοματισμού, με σκοπό να μεταφέρουν το ρευστό στοιχείο διαμέσου των οδοντωτών τροχών που έχουν (Ρουμπής, 1992).

Οι δύο επιμέρους τροχοί που απαρτίζουν μία οδοντωτή αντλία είναι όμοιοι ως προς το βήμα, την διάμετρο και τον αριθμό των οδοντωτών κενών που έχουν στην περίμετρό τους. Ο ένας από τους δύο τροχούς είναι, πάντα, σε άμεση σύνδεση με τον άξονα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση όλων των τροχών. Επίσης, οι χώροι κατάθλιψης αναπτύσσονται ανάμεσα στα οδοντωτά κενά ενώ περιβάλλονται από το κυρίως σώμα της αντλίας, όπως και από δύο (2) πλάκες που καλούνται ως πλάκες τριβής. Στην χρονική φάση όπου οι τροχοί πραγματοποιούν κυκλικές κινήσεις, το ρευστό στοιχείο ρέει ανάμεσά τους ενώ στην περίπτωση που τα οδοντωτά κενά αυτών έρθουν σε επαφή, το υγρό στοιχείο εκτοπίζεται προς την κοντινότερη έξοδο. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η οδοντωτή αντλία, συνήθως, συνίσταται για μικρές παροχές (Κωστόπουλος, 2009).

Οι υδραυλικές πτερυγωτές αντλίες

Οι υδραυλικές πτερυγωτές αντλίες έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό λειτουργίας τους, την δραστηριότητα που πραγματοποιείται με την υποβοήθηση ενός ελατηρίου το οποίο επηρεάζει ένα έμβολο, κρατώντας το δακτύλιο που είναι υπεύθυνος για την διαδρομή, στην αρχική τοποθέτησή του (Parr, 2009).

Οι υδραυλικές πτερυγοφόρες αντλίες

Οι υδραυλικές πτερυγιοφόρες αντλίες έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό τους, την κίνηση περιστροφής των πτερυγίων που διαθέτουν και τα οποία τοποθετούνται στην εσωτερική πλευρά ενός δακτυλίου ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσουν κατάλληλους χώρους κατά την χρονική φάση μεταφοράς του ρευστού στοιχείου. Οι χώροι αυτοί εντάσσονται μεταξύ των πλακών τριβής. Τα πτερύγια που διαθέτει αυτού του είδους η αντλία, πραγματοποιούν ελεύθερες κινήσεις, στα κενά κάποιου περιστρεφόμενου τμήματος του μηχανισμού και διατηρούν συνεχή επαφή με το δακτύλιο μέσω της φυγόκεντρης δύναμης αλλά και της πίεσης (Parr, 2009).

Οι υδραυλικές πτερυγιοφόρες αντλίες, εφαρμόζονται κατά κόρον διότι διαθέτουν μεγάλη απόδοση, μακρά χρονική διάρκεια ζωής και είναι αθόρυβες (Κωστόπουλος, 2009).

2.7 Υδραυλικοί ενεργοποιητές

Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές είναι γνωστοί στο ευρύ κοινό και ως υδραυλικοί αισθητήρες. Αυτοί έχουν την δυνατότητα αλληλεπίδρασης τόσο με τον μικροελεγκτή όσο και με το εξωτερικό περιβάλλον. Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές, ουσιαστικά, είναι μηχανήματα τα οποία είναι σε θέση να αναγνωρίσουν κάποιο φυσικό μέγεθος εντός ενός υδραυλικού συστήματος. Οι υδραυλικοί αισθητήρες εντάσσονται στα υδραυλικά συστήματα έτσι ώστε να λαμβάνουν πληροφορίες οι οποίες προέρχονται από τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές και εν συνεχεία να οριοθετούν, σαφώς, την θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση του εμβόλου (Dorf & Bishop, 2009).

Σύμφωνα με τους Σκαρπέτη & Κουμπούλη (2015), τα βασικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών ενεργοποιητών είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η αντοχή: Είναι το μεγαλύτερο σφάλμα το οποίο έχει την δυνατότητα να αναπτύξει ο ενεργοποιητής.
- ✓ Το εύρος: Είναι τα όρια εντός των οποίων το κάθε υδραυλικό σύστημα εκτελεί σωστά όλες τις λειτουργίες του.
- ✓ Η ακρίβεια: Αποτελεί την εγγύτητα της τιμής εξόδου προς την τιμή εισόδου.

- ✓ Το σφάλμα: Είναι η διαφορά που αναπτύσσεται μεταξύ της πραγματικής και της μετρήσιμης τιμής.
- ✓ Η επαναληψιμότητα: Αποτελεί την διοχέτευση όμοιου αποτελέσματος κατά διαφορετικές χρονικές στιγμές.
- ✓ Η καθυστέρηση: Είναι η καθυστέρηση που πραγματοποιείται κατά το στάδιο της αλλαγής εξόδου προς την αντίστοιχη είσοδο.
- ✓ Η ευστάθεια: Είναι η τροποποίηση της εξόδου σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα, χωρίς να υπάρξει αλλαγή της εισόδου.
- ✓ Ο χρόνος λειτουργίας: Ο χρόνος που απαιτείται για να υλοποιηθούν οι κατάλληλες δραστηριότητες εντός του υδραυλικού συστήματος.

Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές – αισθητήρες, διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες (Parr, 2009):

- Ενεργοποιητές δύναμης.
- Ενεργοποιητές οπτικής ένδειξης.
- Ενεργοποιητές ανίχνευσης.
- Ενεργοποιητές μετατόπισης και κίνησης.

Εν συνεχεία αναλύονται οι κατηγορίες των ενεργοποιητών – αισθητήρων που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

Ενεργοποιητές δύναμης

Οι ενεργοποιητές δύναμης, εφαρμόζονται στα υδραυλικά συστήματα αυτόματου ελέγχου με σκοπό την καταμέτρηση της δύναμης την οποία παρουσιάζει το έμβολο. Επίσης, συμβάλουν στην διαδικασία μετατροπής της δύναμης σε πίεση του ρευστού στοιχείου (Akers et al., 2006).

Σύμφωνα με τον Parr (2009), οι ενεργοποιητές – αισθητήρες δύναμης επιμερίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ Κυψέλες φόρτισης.
- ✓ Ζυγός ελατηρίου.

Ενεργοποιητές οπτικής ένδειξης

Οι ενεργοποιητές αυτού του είδους απαρτίζονται από δύο (2) επιμέρους στοιχεία, έναν ανιχνευτή φωτός και μία ανεξάρτητη πηγή. Η πηγή έχει την δυνατότητα εγκαθίδρυσης απέναντι από τον ανιχνευτή φωτός. Αυτή η χωροταξική διάταξη καλείται ως μέθοδος διαπερατότητας (Parr, 2009). Εκτός, όμως, από αυτή την χωροταξική διάταξη, υπάρχει και μία ακόμα η οποία ονομάζεται μέθοδος ανακλώμενης οπτικής δέσμης. Σε αυτή τη μέθοδο η πηγή και ο ανιχνευτής φωτός, τοποθετούνται σε διπλανές θέσεις (Akers et al., 2006).

Οι βασικές κατηγορίες ενεργοποιητών οπτικής ένδειξης είναι (Chapple, 2015):

- ✓ Ο ενεργοποιητής ανακλώμενης δέσμης.
- ✓ Το μανόμετρο.

Ενεργοποιητές ανίχνευσης

Αυτού του είδους οι ενεργοποιητές αποτελούν αισθητήρια όργανα τα οποία έρχονται σε αντίδραση με την παρουσία συγκεκριμένων υδραυλικών εμβόλων, στην περίπτωση που αυτά τοποθετούνται μέσα στην εμβέλειά του (Akers et al., 2006).

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ενεργοποιητών – αισθητήρων ανίχνευσης είναι (Κωστόπουλος, 2009):

- ✓ Δεν διαθέτουν κινητά τμήματα.
- ✓ Δεν έρχονται σε επαφή με τα έμβολα.

Οι κατηγορίες των αισθητήρων ανίχνευσης είναι (Parr, 2009):

- ✓ Οι μαγνητικού ενεργοποιητές.
- ✓ Οι επαγωγικοί ενεργοποιητές.
- ✓ Οι χωρητικοί ενεργοποιητές.

Ενεργοποιητές μετατόπισης και κίνησης

Σε αυτού του είδους τους ενεργοποιητές – αισθητήρες, βασικό στοιχείο αποτελεί η θέση που καταλαμβάνει το υδραυλικό έμβολο ή και ο προσδιορισμός του κινητού τμήματος, το οποίο εντοπίζεται σε συγκεκριμένη θέση. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις, είναι απαραίτητη η επίγνωση, του βαθμού κίνησης και έντασης του κινητού μέρους (Akers et al., 2006).

Οι υποκατηγορίες των ενεργοποιητών μετατόπισης και κίνησης είναι οι εξής (Akers et al., 2006):

- Ο γραμμικός διακόπτης με γλωσσίδα.
- Το γραμμικό ποτενσιόμετρο.
- Το γωνιόμετρο μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης.

Κεφάλαιο 3^ο: Εφαρμογές συστημάτων αυτοματισμού και διαφοροποιήσεις

3.1 Εφαρμογές πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού

Πολλές είναι οι εφαρμογές των πνευματικών συστημάτων ελέγχου αυτοματισμού, τόσο στον βιομηχανικό χώρο, όσο και στις καθημερινή ζωή διαμέσου της τεχνολογίας που έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια.

Στην συνέχεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα αναφερθούν τρεις (3) από τις πολλές ομολογουμένως χρήσεις που υπάρχουν στα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού. Οι εφαρμογές αυτές είναι (Ρούτουλας, 2008):

- ✓ Το σύστημα συγκράτησης – κοπής ξύλινης δοκού.
- ✓ Η συσκευασία προϊόντος σε σκόνη.
- ✓ Η αυτόματη διατήρηση της δοκού.

3.1.1 Το σύστημα συγκράτησης – κοπής ξύλινης δοκού

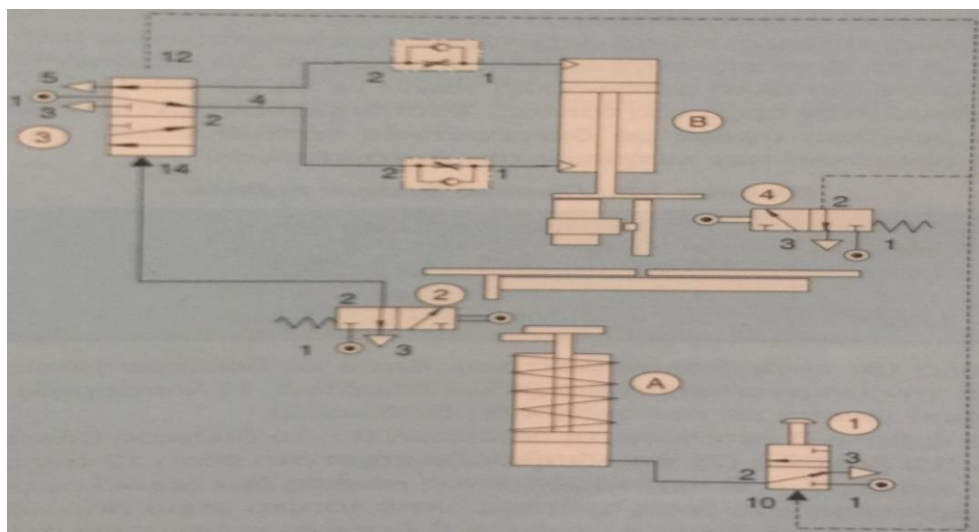
Η συγκεκριμένη εφαρμογή έχει άμεση σχέση με τις συσχετιζόμενες κινήσεις του συνολικού πνευματικού συστήματος. Για την βέλτιστη κατανόηση της εφαρμογής παρατίθεται το σχετικό πνευματικό διάγραμμα της κοπής της ξύλινης δοκού, πιο κάτω (Ρούτουλας, 2008).

Μέσα από το εν λόγω σχήμα, μπορεί να εντοπισθεί τα έμβολα αέρος συγκράτησης (που είναι το A) και κοπής (που είναι το B), παρουσιάζουν τους παρακάτω συσχετισμούς κινήσεων (Ρούτουλας, 2008):

- Τα αντίστοιχα βάρη των εμβόλων A και B εξέρχονται.
- Τα βάρη των εμβόλων A και B εισέρχονται στο σύστημα.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ξύλινη δοκός να προχωρά μέχρι το σημείο όπου θα σταματήσει εξαιτίας του ρυθμιζόμενου στόπερ. Σε αυτό ακριβώς το σημείο, ο χειριστής ενεργοποιεί, αυτόματα, την βαλβίδα 3/2, με αποτέλεσμα το έμβολο A το οποίο είναι απλής ενέργειας, να πραγματοποιεί κίνηση στη θέση A⁺ και να τοποθετείται εκεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι το έμβολο A κατά την διάρκεια της κίνησής του, ενεργοποιεί την βαλβίδα 3/2 με την βοήθεια ρόλλερ, η οποία διοχετεύει πνευματικό σήμα με την σειρά της, στην βαλβίδα 5/2 και την ενεργοποιεί στην θέση 14 που αυτή έχει καταλάβει ενώ πραγματοποιεί ταυτόχρονα την μετακίνηση του εμβόλου B στην θέση B⁺ (Ρούτουλας, 2008).

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι το έμβολο B να δημιουργεί το κατέβασμα του κοπτικού δίσκου και με αυτόν τον τρόπο να σταματά την διαδρομή η οποία ενεργοποιεί την βαλβίδα 3/2 με ρόλλερ. Τέλος, το αποκομμένο τμήμα της δοκού αφαιρείται και η συνολική δοκός επιστρέφει στην αρχική της θέση (Ρούτουλας, 2008).



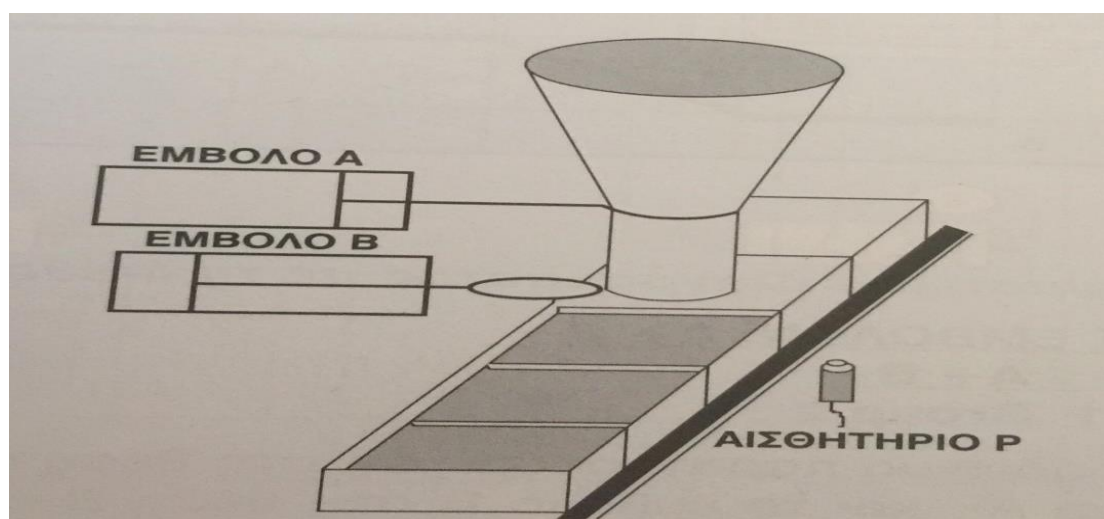
Εικόνα

27: Πνευματικό διάγραμμα κοπής ξύλινης δοκού (Ρούτουλας, 2008).

3.1.2 Η συσκευασία προϊόντος σε σκόνη

Η εφαρμογή αυτή πραγματοποιείται κατά στον βιομηχανικό χώρο. Κατά την διεργασία αυτή, μία μεταφορική ταινία επισύρει τα κενά κουτιά για συσκευασία του προϊόντος. Στο επάνω μέρος της ταινία μεταφοράς, υπάρχει μία χοάνη που στο τέλος της διαθέτει ένα στόμιο, το οποίο διοχετεύει στο κάθε κενό κουτί προς συσκευασία, ορισμένη προκαθορισμένη ποσότητα προϊόντος σε μορφή σκόνης (Ρούτουλας, 2008).

Το πνευματικό αυτό σύστημα φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

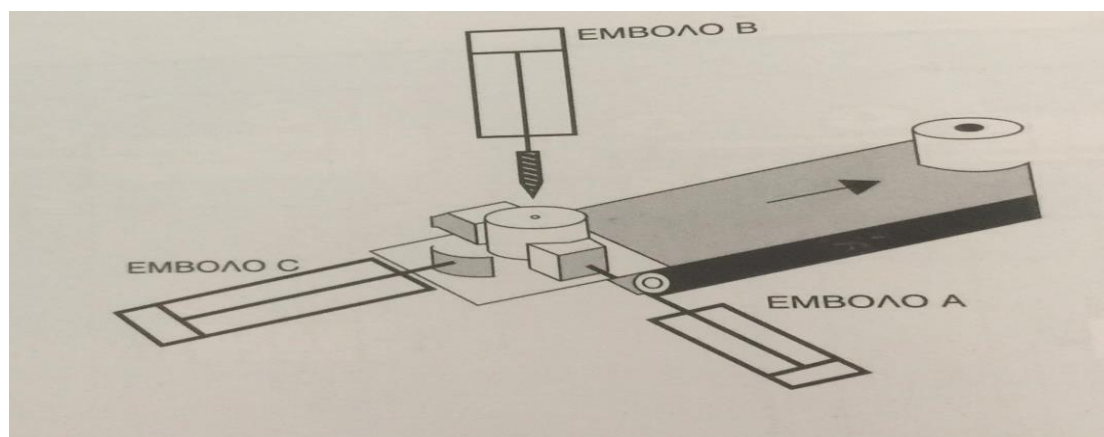


Εικόνα 28: Σχήμα παραγωγής (Ρούτουλας, 2008).

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι υπάρχουν δύο (2) φραγές. Η πρώτη οριοθετείται στο σημείο που πραγματοποιείται η ένωση μεταξύ του στόμιου και της χοάνης Α ενώ η δεύτερη εντοπίζεται στην έξοδο του στόμιου Β. Οι δύο (2) αυτές φραγές ανοιγοκλείνουν με την βοήθεια των εμβόλων Α και Β, αντίστοιχα. Κάτω από την ταινία παραγωγής, εντοπίζεται ένα αισθητήριο όργανο Ρ, το οποίο εμποδίζει την ταινία να προχωρήσει όταν το κενό κουτί βρίσκεται στην κατάλληλη θέση για να γεμίσει με προϊόν. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι σε κατάσταση ηρεμίας του συστήματος, η επάνω φραγή είναι κλειστή ενώ η κάτω φραγή ανοιχτή, δηλαδή δημιουργείται η σχέση $A^+ B^-$ (Ρούτουλας, 2008).

3.1.3 Η αυτόματη διάτρηση δοκιμίου

Και αυτή η εφαρμογή χρησιμοποιείται εντός των χώρων της βιομηχανίας και κυρίως στον χώρο των κατασκευών. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα αυτοματισμού χρησιμοποιεί τρία έμβολα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, του αντίστοιχου συστήματος που παρουσιάζεται πιο κάτω (Ρούτουλας, 2008).



Εικόνα 29: Απεικόνιση του συστήματος (Ρούτουλας, 2008).

Συγκεκριμένα, το έμβολο A εμποδίζει με απλές κινήσεις το δοκίμιο. Από την άλλη πλευρά το έμβολο B, καθοδηγεί το τρυπάνι ενώ το έμβολο C βγάζει μπροστά το δοκίμιο σε μεταφορική ταινία. Πατώντας το κομβία εκκίνησης λαμβάνει χώρα η κίνηση A^+ ενώ το δοκίμιο συγκρατείται. Εν συνεχεία, με την πραγματοποίηση της δεύτερης κίνησης B^+ , αναπτύσσεται η καθοδική κίνηση στο τρυπάνι που τρυπάει το δοκίμιο στο κέντρο. Στην τρίτη κίνηση B^- το τρυπάνι υψώνεται ενώ στην τέταρτη κίνηση A^- το δοκίμιο ελευθερώνεται. Τέλος, με την πέμπτη κίνηση C^+ το δοκίμιο ωθείται προς την μεταφορική ταινία και με την έκτη κίνηση C^- ολοκληρώνεται η διαδικασία (Ρούτουλας, 2008).

3.2 Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού

Οι εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού είναι ποικίλες και εντάσσονται σε πάρα πολλούς τομείς της καθημερινότητας και της βιομηχανίας ενώ αφορούν, κυρίως, τους συσσωρευτές και τις δεξαμενές αυτών (Ρούτουλας, 2008).

Όσον αναφορά τους συσσωρευτές των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού οι χρήσεις – εφαρμογές τους είναι τέσσερις (4) (Ρούτουλας, 2008):

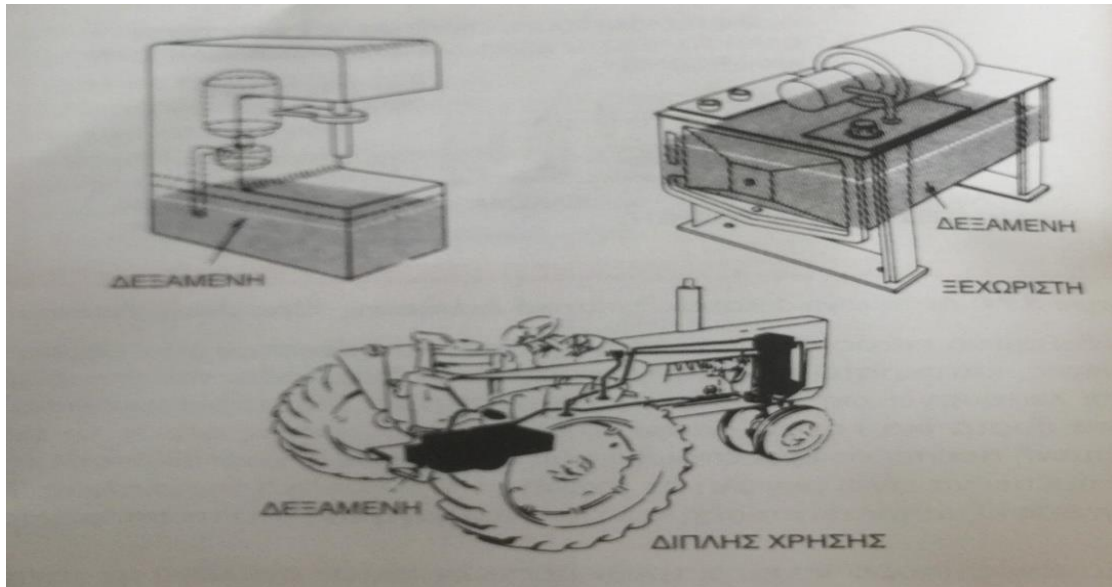
- Με ασκό αερίου για την αποθήκευση ενέργειας.
- Με ασκό αερίου για την απορρόφηση πληγμάτων.
- Με ελατήριο για την σταδιακή αύξηση της πίεσης.
- Με ελατήριο για τη διατήρηση της σταθερής πίεσης.

Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 30: Οι χρήσεις των υδραυλικών συσσωρευτών (Ρούτουλας, 2008).

Επίσης, όσον αναφορά τις χρήσεις – εφαρμογές των δεξαμενών στα υδραυλικά συστήματα ελέγχου αυτοματισμού, αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα τόσο στον αγροτικό τομέα μέσω των μηχανιμάτων όσο και στην βιομηχανία (Ρούτουλας, 2008).



Εικόνα 31: Χρήσεις δεξαμενών υδραυλικού ρευστού (Ρούτουλας, 2008).

3.3 Διαφοροποιήσεις πνευματικών και υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού

Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των πνευματικών και των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού, οι οποίες αφορούν την τεχνολογία κίνησής τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με τον Ρούτουλα (2008), μετρώντας την αντίστοιχη ένταση με αστεράκια.

Πεδία τεχνολογιών κίνησης	Πνευματικά συστήματα	Υδραυλικά συστήματα
Παρουσία ενέργειας	**	*
Αποθήκευση ενέργειας	***	*
Μεταφορά ενέργειας	**	*
Παραγωγή ενέργειας	**	***

Παραγωγή περιστροφής	**	**
Αντοχή σε υπερφόρτωση	***	***
Γραμμική κίνηση	***	***
Περιστροφική κίνηση	**	**
Κατανάλωση ενέργειας σε ακινησία	***	*
Ρύθμιση δύναμης	***	***
Ρύθμιση ταχύτητας	**	***
Ενεργειακό κόστος	**	*
Επίδραση θερμοκρασίας	**	-
Επίδραση απωλειών ενέργειας	*	-

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα τα οποία εξάχθηκαν μέσα από την παρούσα πτυχιακή εργασία και την βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε, είναι τα παρακάτω:

- ✓ Τα πνευματικά συστήματα, εφαρμόζονται ώστε να αναλύουν και να περιγράφουν, τα διάφορα συστήματα αυτοματισμού κίνησης, τα οποία χρησιμοποιούν ως ενεργειακό εργαλείο τους, τον πεπιεσμένο αέρα και ταυτόχρονα παρουσιάζουν ως φυσική απόρροιά τους, την παλινδρομική κίνηση εμβόλων ή μερικές φορές την περιστροφή των κινητήρων.
- ✓ Τα βασικότερα στοιχεία, τα οποία διέπουν τα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού είναι ο προσδιορισμός πολύ γρήγορης και εύκολης μεταφορά και αποθήκευση ενέργειας, η Εφαρμογή στοιχείων του αυτοματισμού που χαρακτηρίζονται ως αντιεκρηκτικά, η δημιουργία μιας γραμμικής κίνησης, η δυνατότητα προσαρμογής της ταχύτητας και της δύναμης και η εύκολη συντήρηση αυτών.
- ✓ Τα βασικότερα στοιχεία τα οποία επιδρούν στην δομή καθώς και τη σύσταση των πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού είναι οι βαλβίδες σήματος παροχής αέρα, η διοχέτευση αλλά και η επεξεργασία του πεπιεσμένου αέρα, οι βαλβίδες που στόχο έχουν την επεξεργασία του σήματος, τα διάφορα έμβολα αέρος τα οποία προσδίδουν και την αντίστοιχη μορφή κίνησης του συστήματος και οι κεντρικές βαλβίδες που ελέγχουν την κατεύθυνση.
- ✓ Τα τρία (3) στάδια, που πρέπει να λάβουν χώρα έτσι ώστε να εκτελεστεί ο εφοδιασμός των πνευματικών συστημάτων με πεπιεσμένο αέρα, είναι η επεξεργασία του αέρα, με στόχο ο αέρας να είναι ορθός για την συμμετοχή του στο πνευματικό σύστημα του αυτοματισμού, η παροχή του αέρα διαμέσου κάποιας σωληνογραμμής και η δημιουργία του αέρα από τους αντίστοιχους συμπιεστές αυτού.
- ✓ Οι τρόποι δημιουργίας των κατάλληλων γραμμών μεταφοράς του αέρα είναι η κεντρική γραμμή μεταφοράς και παραγωγή οριζόντιων διακλαδώσεων σε μορφή «Η», η εφαρμογή των διακλαδώσεων της κατανάλωσης στην βασική γραμμή μεταφοράς του αέρα και η κεντρική γραμμή μεταφοράς κυκλικής

φύσεως και η καθοδική πορεία των διακλαδώσεων προς τις αντίστοιχες σωληνώσεις.

- ✓ Οι κύλινδροι είναι το αναπόσπαστο εργαλείο για τις κινήσεις της ώθησης, της έλξης, της ανύψωσης των βαρών, της τροφοδότησης των συσκευών, της ενεργοποίησης των μοχλών, της μετατόπισης των εκάστοτε τεμαχίων και του αυτοματισμού άλλων επιμέρους συστημάτων.
- ✓ Οι πνευματικοί κύλινδροι απαρτίζονται από ένα μεγάλο θάλαμο στον οποίο περιέχεται ένα πιστόνι, τα στεγανωτικά στοιχεία, μία ράβδο επενέργειας, οι θύρες εισαγωγής του αέριου στοιχείου και οι θύρες εξαγωγής του αέριου στοιχείου.
- ✓ Με κριτήριο την κατασκευή τους οι πνευματικοί κύλινδροι διαχωρίζονται σε κυλίνδρους απλής ενέργειας, κυλίνδρους διπλής ενέργειας και κυλίνδρους ειδικών εφαρμογών.
- ✓ Οι κατηγορίες των κυλίνδρων διπλής ενέργειας είναι οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με απλό βάκτρο, οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με διπλό βάκτρο, οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με τηλεσκοπικούς και οι κύλινδροι διπλής ενέργειας με διάταξη επιβράδυνσης.
- ✓ Άλλοι γνωστοί κύλινδροι ειδικών εφαρμογών είναι ο περιστροφικός κύλινδρος, ο κύλινδρος κρούσης και ο κύλινδρος πολλών θέσεων.
- ✓ Το βασικότερο στοιχείο ελέγχου των πνευματικών συστημάτων αποτελούν οι βαλβίδες.
- ✓ Οι βαλβίδες με κριτήριο την λειτουργία τους, μπορούν να καταταχθούν σε βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης, βαλβίδες σημάτων, βαλβίδες αντεπιστροφής, βαλβίδες ελέγχου πίεσης και βάνες.
- ✓ Οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης, αποτελούν εξεζητημένους μηχανισμούς οι οποίοι παρέχουν πεπιεσμένο αέρα και εφαρμόζονται ώστε να επιτύχουν τον έλεγχο της κατεύθυνσης της ροής αυτού προς και από το έμβολο, αλλά και για την έξοδο και την επιστροφή του βάκτρου.
- ✓ Οι βαλβίδες σημάτων συμπεριλαμβάνουν μικρή ποσότητα πεπιεσμένου αέρα ενώ παράλληλα είναι επιφορτισμένες με την λειτουργία της ενεργοποίησης των βαλβίδων ελέγχου κατεύθυνσης.
- ✓ Οι βαλβίδες αντεπιστροφής αποτελούν στοιχεία τα οποία επιτρέπουν και ταυτόχρονα διευκολύνουν την ροή που διαδραματίζει ο αέρας, προς κάποια

κατεύθυνση ενώ διακόπτουν την πορεία του προς την αντίθετη κατεύθυνση που έχει ορισθεί.

- ✓ Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης, έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν άμεσα την πίεση του αέρα που εφαρμόζεται αλλά και το μέγεθος της πίεσης αυτής, που ασκείται στο εν λόγω σύστημα.
- ✓ Οι βάνες έχουν την δυνατότητα είτε να επιτρέπουν είτε να αποτρέπουν, τη ροή που πραγματοποιεί ο αέρας εντός μίας συγκεκριμένης γραμμής.
- ✓ Οι βασικότεροι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται κατά κόρων είναι ο αναλογικός ελεγκτής, ο αναλογικός – διαφορικός ελεγκτής και ο αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής.
- ✓ Ως υδραυλικά συστήματα καλούνται τα συστήματα εκείνα τα οποία μεταφέρουν ισχύ και απαρτίζονται από πλήθος υδραυλικών αντλιών, σωληνώσεων, κινητήρων και εμβόλων, τα οποία εφαρμόζονται και έχουν ως στόχο τους, την παραγωγή δύναμης ή ροπής ρευστού.
- ✓ Τα βασικά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν ένα απλό υδραυλικό σύστημα είναι η μεγάλη ακρίβεια που χαρακτηρίζει την θέση, η ενδεχόμενη τοξικότητα του υδραυλικού ρευστού που υπάρχει στο σύστημα, η δυνατότητα να παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας και η εισχώρηση έντονων δυνάμεων.
- ✓ Οι ιδιότητες των ρευστών στοιχείων που βοηθούν στην ορθή λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων είναι η υδραυλική αδράνεια, η ειδική πίεση, το ειδικό βάρος, η πυκνότητα των ρευστών, η υδραυλική χωρητικότητα και η υδραυλική αντίσταση.
- ✓ Τα επιμέρους στοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα υδραυλικό σύστημα αυτοματισμού είναι οι υδραυλικές αντλίες, οι υδραυλικοί κύλινδροι, οι υδραυλικές βαλβίδες και οι υδραυλικοί ενεργοποιητές.
- ✓ Η επιλογή του κατάλληλου κυλίνδρου για τη διαδικασία, πραγματοποιείται με βάση την πίεση, την ταχύτητα και την δύναμη.
- ✓ Οι κατηγορίες υδραυλικών κυλίνδρων είναι οι υδραυλικοί κύλινδροι απλής ενέργειας και οι υδραυλικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας.
- ✓ Οι υδραυλικές βαλβίδες διαχωρίζονται βάση δύο (2) κριτηρίων τα οποία είναι ο τρόπος μέσα από τον οποίο καθορίζεται η ροή του ρευστού στοιχείου και η γενική λειτουργία τους εντός του συστήματος.

- ✓ Με κριτήριο τον τρόπο μέσα από τον οποίο καθορίζεται η ροή του ρευστού στοιχείου, οι υδραυλικές βαλβίδες, διαχωρίζονται σε βαλβίδες τύπου περυγίου ακροφοσίου και βαλβίδες τύπου εμβόλου.
- ✓ Με κριτήριο την γενική λειτουργία τους, οι υδραυλικές βαλβίδες, διαχωρίζονται σε βαλβίδες ελέγχου πίεσης, βαλβίδες ελέγχου ροής, βαλβίδες κατεύθυνσης και βαλβίδες ρύθμισης.
- ✓ Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν και φυσικά συνοδεύουν μία υδραυλική αντλία είναι το μεγάλο κόστος, η αποδοτικότητα, η παροχή, οι διαστάσεις, το βάρος και ο εύκολος έλεγχος της διαδικασίας συντήρησής τους.
- ✓ Οι κατηγορίες των υδραυλικών αντλιών είναι οι υδραυλικές εμβολοφόρες αντλίες, οι υδραυλικές οδοντωτές αντλίες, οι υδραυλικές περυγωτές αντλίες και οι υδραυλικές περυγιοφόρες αντλίες.
- ✓ Τα βασικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών ενεργοποιητών είναι η αντοχή, το εύρος, η ακρίβεια, το σφάλμα, η επαναληψιμότητα, η καθυστέρηση, η ευστάθεια και ο χρόνος λειτουργίας.
- Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές – αισθητήρες, διαχωρίζονται σε ενεργοποιητές δύναμης, ενεργοποιητές οπτικής ένδειξης, ενεργοποιητές ανίχνευσης και ενεργοποιητές μετατόπισης και κίνησης.
- Πολλές είναι οι εφαρμογές των πνευματικών συστημάτων ελέγχου αυτοματισμού, τόσο στον βιομηχανικό χώρο, όσο και στις καθημερινή ζωή διαμέσου της τεχνολογίας που έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια.
- ✓ Οι εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων αυτοματισμού είναι ποικίλες και εντάσσονται σε πάρα πολλούς τομείς της καθημερινότητας και της βιομηχανίας ενώ αφορούν, κυρίως, τους συσσωρευτές και τις δεξαμενές αυτών.

Βιβλιογραφία

1. Ρούτουλας Τ. Αθανάσιος (2008)., *Υδραυλικά – Πνευματικά συστήματα και εφαρμογές.*, Εκδόσεις: Σύγχρονη εκδοτική., Αθήνα
2. Astrom K., Haglund T. (1999)., *PID Controllers Theory, Design and Tuning.*, Library of Congress Cataloguing – in – Publication.
3. Βασιλειάδου Σ., Καλλιγερόπουλος Δ. (2005)., *Ιστορία της Τεχνολογίας και του Αυτοματισμού.*, Εκδόσεις: Σύγχρονη εκδοτική., Αθήνα.
4. Kagawa T., Cai M.L., Fujita T., Takeuchi M. (2000)., *Energy consideration of pneumatic cylinder actuating system.*, Proceedings of the Sixth Triennial International Symposium on Fluid Control., Measurement and Visualization., Canada.
5. Al – Ibrahim A.M., Otis D.R (1992)., *Transieut air temperature and pressure measurements during the charging and Discharging process of an actuating pneumatic cylinder.*, Proceedings of the 45th national conference on fluid power.
6. Chitty A., Lamber T.H. (1976)., *Modelling a loaded two – way pneumatic actuator.*, Measurement and control., Vol 9.
7. Πανταζής Νικόλαος (1992)., *Πνευματικά συστήματα αυτόματου ελέγχου.*, Εκδόσεις: Ίων., Αθήνα.
8. Κωστόπουλος Ν. Θεόδωρος (2009)., *Υδραυλικά και πνευματικά συστήματα.*, Εκδόσεις: Συμεών.
- 9 .Parr A.A. (2009)., *Hydraulics and Pneumatic.*, Elsevier science & Technology books.
10. Akers A., Gassman M., Smith R. (2006)., *Hydraulic Power System Analysis.*, Editors: Tolyor & Francis.
11. Deppert W., Stoll K. (1986)., *Pneumatic Application.*, Festo., Vogel Verlag., Wuerzburg.

- 12 .Durfee W., Sun Z. (2009)., *Fluid Power System Dynamics*., A national science foundation engineering research center.
13. Shulz – Diere Fritz (1994)., *Πρακτική πνευματικών συστημάτων ελέγχου*., Εκδόσεις: Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές εκδόσεις.
14. Dorf Richard C., Bishoq Roberts H. (2009)., *Σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου*., Εκδόσεις: Τζιόλα.
15. Σκαρπέτης Μιχάλης., Κουμπούλης Φώτης (2015)., *Αυτόματος έλεγχος υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων*., Εκδόσεις: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
16. Ming – Chang Shih., Ming – An Ma (1998)., *Position control of a pneumatic cylinder using fuzzy PWM control method*., *Mechatronics*., Vol 8., pp. 241-253.
17. Chen Ying., Zhang Jia – fan., Yang Can – Jun., Niu Bin (2007)., *Design and hybrid control of the pneumatic force – feedback systems for Arm – Exoskeleton by using on/off valve*., *Mechatronics*., Vol. 17., pp. 325-335.
18. Arcangelo Messina., Nicola Ivan Giannoccaro., Angelo Gentile (2005)., *Experimenting and modeling the dynamics of pneumatic actuators controlled by the pulse width modulation technique*., *Mechatronics*., Vol. 15., pp. 859-881.
19. Carlos A. Smith., Armando Corripio (2002)., *Prinuples and practice of automatic process control*., 3rd edition., Wiley Asia Student Edition.
- 20 .Ρουμπής Σταύρος (1992)., *Αυτοματισμός με προγραμματιζόμενους ελεγκτές*., Εκδόσεις: Συμεών.
21. Πανταζής Ν. (2015)., *Συστήματα αυτόματου ελέγχου και αυτοματισμού*., Εκδόσεις: Σταμούλη.
22. Parambath Joji (2016)., *Industrial Hydraulic Systems: Theory and Practice*.
23. Akers Arthur., Gassman Max., Smith Richard (2006)., *Hydraulic Power System Analysis*., Publishers: Taylor & Francis.
24. Zhang Qin (2009)., *Basics of hydraulic systems*., CRC Press.

25. Chapple Peter (2015)., *Principles of Hydraulics Systems Design.*, Momentul Press.
26. Cypta S. Ram (2008)., *Hydrology and Hydraulic Systems.*, Waveland Press.