

κεφάλαιο 9

Εισαγωγή στα πνευματικά συστήματα

Επιδιωκόμενοι στόχοι:

Όταν ολοκληρώσετε τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου, θα είστε ικανοί:

- ⇒ να διατυπώσετε τα χαρακτηριστικά στοιχεία του πεπιεσμένου αέρα
- ⇒ να περιγράψετε τα εξαρτήματα και τις συσκευές που υπάρχουν σε σταθμούς παραγωγής πεπιεσμένου αέρα
- ⇒ να περιγράψετε τον τρόπο λειτουργίας των εξαρτημάτων και συσκευών που υπάρχουν σε εγκαταστάσεις πεπιεσμένου αέρα
- ⇒ να αναφέρετε τα χαρακτηριστικά στοιχεία τυποποίησης των πνευματικών βαλβίδων.

9.1 Εισαγωγή

Τα πνευματικά συστήματα είναι μηχανισμοί που χρησιμοποιούν ως ενεργειακό μέσο τον πεπιεσμένο αέρα και έχουν τελικό αποτέλεσμα μηχανική κίνηση όπως π.χ. την παλινδρομική κίνηση ενός εμβόλου ή την περιστροφή ενός άξονα. Οι συμβατικοί μηχανισμοί χρησιμοποιούν αέρα μέσης πίεσης 1,5 – 12 ΑΤ.

Σήμερα τα πνευματικά συστήματα μαζί με τα υδραυλικά που χρησιμοποιούν ως ενεργειακό μέσο υγρά, έχουν μεγάλες εφαρμογές στη βιομηχανία, πρέσες, μηχανήματα πλαστικών, βαριά βιομηχανία, κατασκευή εργαλείο-μηχανών, μεταλλοβιομηχανία, ανυψωτικά, χωματουργικά και αγροτικά μηχανήματα, οχήματα κλπ.

Τα βασικότερα **πλεονεκτήματα** αυτών των συστημάτων είναι:

- Η ικανότητα να αναπτύσσουν μεγάλες δυνάμεις
- Ο υψηλός λόγος δυνάμεως προς βάρος
- Τα εξαρτήματά τους βρίσκονται εύκολα και είναι φθηνά
- Έχουν εύκολη συντήρηση και επί τόπου
- Δε ρυπαίνουν το περιβάλλον

Τα **μειονεκτήματά** τους αντίθετα είναι:

- Υψηλό κόστος παραγωγής πεπιεσμένου αέρα
- Το σήμα μεταδίδεται βραδύτερα απ' ό,τι το ηλεκτρικό
- Η δημιουργία μεγάλων δυνάμεων απαιτεί ογκώδεις και υψηλού κόστους πνευματικούς ενεργοποιητές

Τα κύρια **χαρακτηριστικά** των πνευματικών συστημάτων είναι:

- η εύκολη αποθήκευση και μεταφορά ενέργειας
- εργάζονται με όλες τις συνθήκες περιβάλλοντος, ακόμη και σε χώρους που είναι επικίνδυνοι από φωτιές και εκρήξεις
- η απλή δημιουργία κίνησης, με ταχύτητα από 1-2 Μ/s, περιορισμένη δύναμη 4000 ΚΡ και περιορισμένη απόσταση 2 Μ
- ευκολία στη ρύθμιση ταχύτητας και δύναμης

Οι πνευματικοί μηχανισμοί καταναλώνουν πεπιεσμένο αέρα, που πρέπει να υπάρχει σε επαρκή ποσότητα από συμπιεστή και ανάλογα με την ισχύ εργασίας.

9.2 Υλικά εξαρτήματα σταθμού παραγωγής πεπιεσμένου αέρος

Το κύριο συγκρότημα μιας εγκατάστασης παραγωγής πεπιεσμένου αέρα είναι ο συμπιεστής (compressor).



Συμπιεστές είναι όλα τα μηχανήματα που μεταφέρουν αέρα, αέρια, ατμούς και επηρεάζουν τη σχέση πίεσης.

Μέτρο κάθε συμπιεστή είναι η παρεχόμενη ποσότητα σε Nm^3/min (μικροσυμπιεστής) ή Nm^3/min και η σχέση συμπίεση = επιτευχθείσα πίεση σε Kp/cm^2 . Για να λειτουργήσουν κανονικά οι πνευματικοί μηχανισμοί, χρειάζομαστε πίεση αέρα περίπου $6 \text{ Kp}/\text{cm}^2$. Το κάτω όριο βρίσκεται στα $3 \text{ Kp}/\text{cm}^2$ και το πάνω όριο περίπου στα $15 \text{ Kp}/\text{cm}^2$.



Σχήμα 9.1: Διάφοροι τύποι εμβολοφόρων κινητών και σταθερών συμπιεστών

Τους συμπιεστές τους **διακρίνουμε** ως:

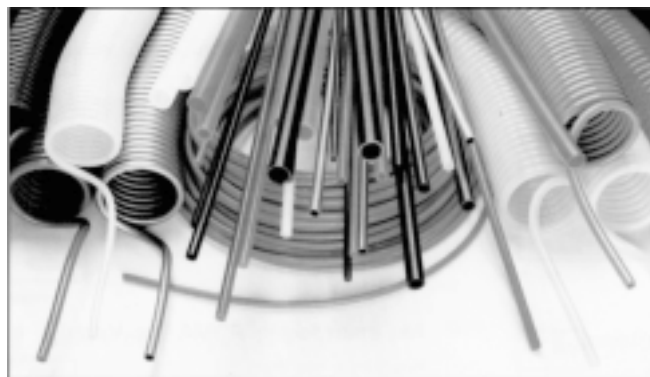
- εμβολοφόρους
- περιστροφικούς και
- συμπιεστές ροής.

Οι πλέον κατάλληλοι στην παραγωγή πεπιεσμένου αέρα για τους πνευματικούς μηχανισμούς είναι οι εμβολοφόροι και οι περιστροφικοί συμπιεστές που κι αυτοί υποδιαιρούνται σε ομάδες. Οι συμπιεστές θα πρέπει να απορροφούν ψυχρό, ξηρό αέρα και ελεύθερο από σκόνη. Ο βαθμός καθαρότητας αέρα που απορροφούν είναι καθοριστικός για τη διάρκεια ζωής ενός συμπιεστή, όπως επίσης και η απορρόφηση θερμού και υγρού αέρα οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή νερού συμπύκνωσης μετά τη συμπίεση του αέρα.

Ο **αεροθάλαμος** ή συσσωρευτής αποτελεί μια αποθήκη αέρος για ολόκληρο το δίκτυο και συμβάλλει συμπληρωματικά στην ψύξη του πεπιεσμένου αέρα, ώστε να διαχωρίζονται οι τυχόν συμπυκνώσεις. Συνδέεται απ' ευθείας στον συμπιεστή σε σειρά και θα πρέπει να εξισορροπεί τις προερχόμενες από το συμπιεστή κρούσεις πίεσης.

Οι **αγωγοί** πεπιεσμένου αέρα έχουν εσωτερική διάμετρο, ανάλογα με την παροχή μερικά mm και μπορεί να είναι από ελαστικό, συνθετική ύλη ή από μέταλλο. Οι σωλήνες αέρος συνήθως είναι από σίδηρο, χαλκό, πολυαιθυλένιο, πολυουρεθάνη, Teflon, λιάστιχο, σπιδράλ αέρος και σωλήνας αέρος αλουμινίου, επενδεδυμένος εξωτερικά και εσωτερικά με πολυαιθυλένιο (ALPE). Το δίκτυο αέρος μπορεί να είναι σταθερό ή κινητό. Στο κινητό σωληνοδίκτυο χρησιμοποιούμε σπιδράλ ή εύκαμπτο σωλήνα.





Σχήμα 9.2: Σωλήνες αέρος από διάφορα υλικά

Ο πεπιεσμένος **αέρας** που λαμβάνεται από το δίκτυο, εκτός των ακαθαρσιών που μπορούν να φθάνουν μέσα στον πεπιεσμένο αέρα κατά την αναρρόφηση του συμπιεστή, παίρνει μαζί του και ακαθαρσίες από το δίκτυο των σωλήνων, σκόνη, σκουριά.

Ένα μέρος ακαθαρσιών κατακάθεται στο δοχείο συγκέντρωσης συμπυκνωμάτων. Τα πολύ μικρά κομμάτια όμως αιωρούνται στο ρεύμα του αέρα και δημιουργούν προβλήματα στα πνευματικά στοιχεία. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο χρησιμοποιούμε μια **μονάδα συντήρησης**, που αποτελείται από το φίλτρο, το ρυθμιστή και το λιπαντήρα, για τον καθαρισμό, τη ρύθμιση και τη λίπανση των πνευματικών στοιχείων. Το φίλτρο απαλλάσσει τον πεπιεσμένο αέρα από τις ακαθαρσίες και το νερό συμπύκνωσης. Ο ρυθμιστής διατηρεί σταθερή την πίεση εργασίας, ανεξάρτητα από την συμπιεσμένη πίεση του δικτύου και την κατανάλωση του αέρα. Ο λιπαντήρας τροφοδοτεί τις πνευματικές συσκευές με το λιπαντικό μέσο.

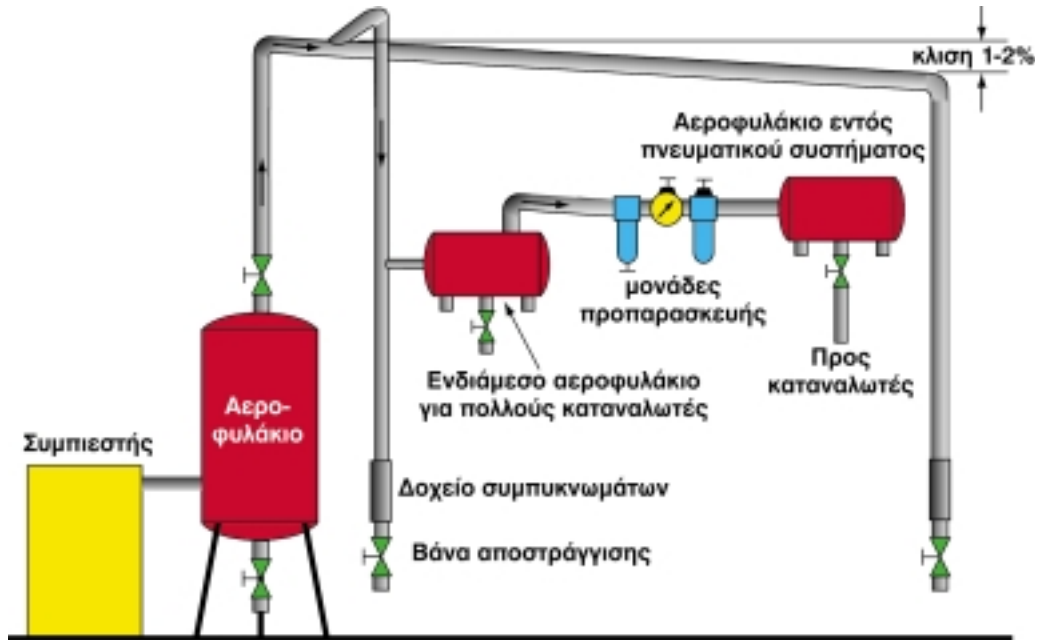


Σχήμα 9.3: Εξαρτήματα: ρυθμιστής με φίλτρο, συνδυασμοί φίλτρων, μονάδα προπαρασκευής, ρυθμιστής πίεσης, ηλεκτροβαλβίδες

Ο πεπιεσμένος αέρας περιέχει **υγρασία**, η οποία σχηματίζει συμπυκνώματα μέσα στο δοχείο του αέρα στα σημεία συγκέντρωσης των αγωγών και γι' αυτό θα πρέπει να απομακρυνθεί. Η απομάκρυνση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους:



- Ξήρανση με απορρόφηση
- Ξήρανση με προσρόφηση και
- Ξήρανση με ψύξη.



Σχήμα 9.4: Εγκατάσταση διανομής πεπιεσμένου αέρα με αγωγό

9.3 Υλικά εξαρτήματα πνευματικών συστημάτων

Ένα απλό πνευματικό ή υδραυλικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μια αντλία, μια αποθήκη, μια βαλβίδα και έναν κύλινδρο. Μερικά συστήματα μπορεί να περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερες αντλίες, βαλβίδες διαφόρων τύπων και κυλίνδρους για διάφορες θέσεις εργασίας. Το πλήθος και το είδος των εξαρτημάτων μπορεί να συνδυασθεί κατά τρόπο, ώστε να δημιουργηθεί ένα πνευματικό ή υδραυλικό σύστημα για οποιονδήποτε συνδυασμό κινήσεως και δυνάμεως απαιτείται.

Για τη συγκρότηση των συστημάτων, ισχύουν οι παρακάτω γενικές αρχές:

- Απαραίτητο συστατικό του συστήματος είναι το έμβολο.
- Συνοδός του εμβόλου είναι η βαλβίδα ελέγχου.
- Η ενεργοποίηση της βαλβίδας ελέγχου γίνεται από τη βαλβίδα σήματος, έναρξης ή τερματισμού ή και από ηλεκτροπνευματική βαλβίδα.
- Βαλβίδες ελέγχου ροής ή ανεπίστροφες βαλβίδες παρεμβάλλονται μεταξύ εμβόλου, βαλβίδας ελέγχου ή βαλβίδας σήματος.
- Στα πνευματικά συστήματα με αέρα και για πιέσεις ως 10 bar, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση των τελείων αερίων.



$$P = \rho \cdot R \cdot T$$

Όπου:

$P = p$ απόλυτη πίεση (N/m^2)

$\rho = \rho$ πυκνότης (kg/m^3)

$R = R$ σταθερά του αερίου ($287 J/Kgr \text{ } ^\circ K$)

$T = T$ απόλυτη θερμοκρασία ($^\circ K$) = $273 + t$ ($^\circ C$)

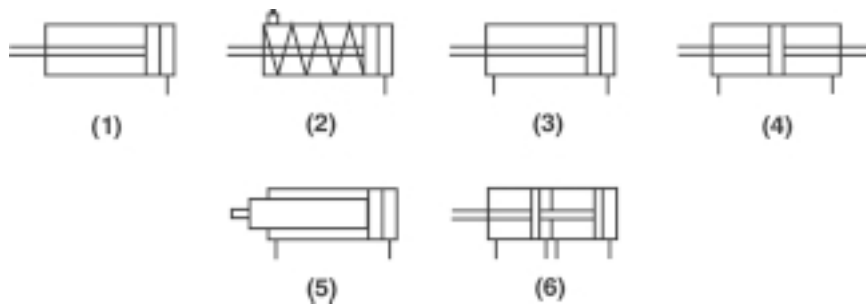
ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ

Ο κύλινδρος μετατρέπει την πνευματική ισχύ σε μηχανική ισχύ και αποτελεί το βασικό εργαλείο για ώθηση, έλξη, ανύψωση βαρών, τροφοδότηση συσκευών, ενεργοποίηση μοχλών, μετατόπιση τεμαχίων, αυτοματισμό άλλων συστημάτων κλπ. Η παλινδρομική κίνηση επιτυγχάνεται με τον πεπιεσμένο αέρα.



Σχήμα 9.5: Γενική μορφή ενός κυλίνδρου

Συμβολισμός κυλίνδρων



Σχήμα 9.6: Συμβολισμός κυλίνδρων

1. Κύλινδρος απλής ενέργειας
2. Κύλινδρος απλής ενέργειας με οπή αποπίεσης και ελατήριο επαναφοράς
3. Κύλινδρος διπλής ενέργειας, με απλό βάκτρο
4. Κύλινδρος διπλής ενέργειας, με διπλό βάκτρο
5. Κύλινδρος διπλής ενέργειας, με ενισχυμένο βάκτρο
6. Διπλός κύλινδρος, διπλής ενέργειας, [Tandem Cylinder]



Οι κύλινδροι **κατατάσσονται** σε τρεις κατηγορίες:

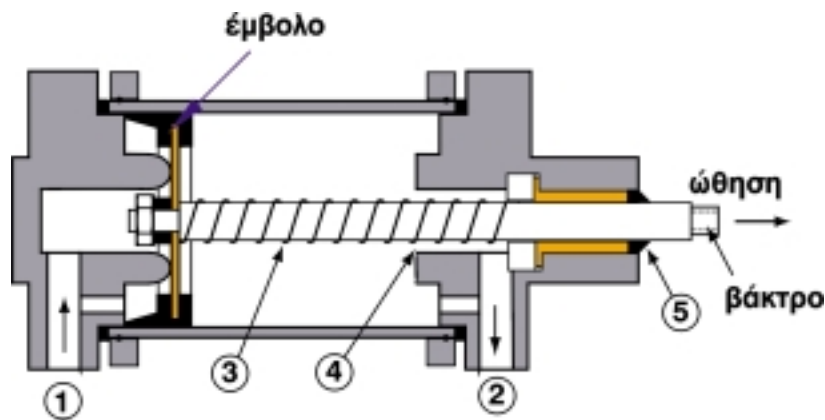
- A. απλής ενέργειας
- B. διπλής ενέργειας
- Γ. ειδικούς κυλίνδρους



Σχήμα 9.7: Είδη κυλίνδρων

A. Κύλινδρος απλής ενέργειας

Ο κύλινδρος πεπιεσμένου αέρα απλής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιήσει έργο μόνο προς μια κατεύθυνση. Η έξοδος του άξονα ή η είσοδος του γίνεται με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα. Η αντίθετη διαδρομή γίνεται από άλλη δύναμη π.χ. ελατήριο, βάρος. Οι κύλινδροι του τύπου αυτού είναι κύλινδροι ώθησης ενώ υπάρχουν και οι κύλινδροι έλξης.



Σχήμα 9.8: Πνευματικός κύλινδρος απλής ενέργειας, 1 και 2 στόμια αέρος, 3 ελατήριο, 4 χώρος συμπίεσης ελατηρίου, 5 στεγάνωση



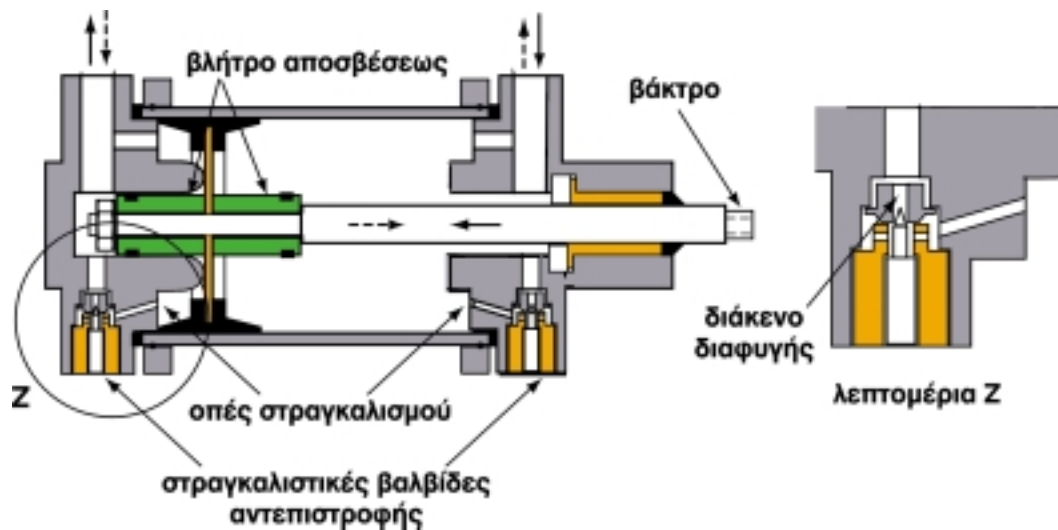
Ο πεπιεσμένος αέρας εισέρχεται από το στόμιο 1 και ανακουφίζεται από το στόμιο 2. Το έμβολο κινείται και το ελατήριο συμπιέζεται. Όταν ο πεπιεσμένος αέρας ανακουφισθεί από τη δίοδο λόγω του ελατηρίου, το έμβολο θα επανέλθει στην αρχική του θέση.

Συνήθως στο άκρο του βάρκρου υπάρχει σπείρωμα για σύνδεση με μεταλλικό αντικείμενο. Οι κύλινδροι απλής ενέργειας υπάρχουν σε αρκετές μορφές. Μια από αυτές είναι ο “κύλινδρος διαφράγματος (μεμβράνης)” ή “κύλινδρος μεμβράνης με περιτύλιξη”.

B. Κύλινδρος διπλής ενέργειας

Ο κύλινδρος πεπιεσμένου αέρα διπλής ενέργειας μπορεί να παράγει έργο και στις δύο κατευθύνσεις κίνησης. Ο κύλινδρος αυτός χρησιμοποιείται περισσότερο από όλα τα άλλα είδη, διότι η λειτουργία του είναι δυνατή και προς τις δύο κατευθύνσεις του εμβόλου, για διάμετρο εμβόλου μεγαλύτερης των 200 mm και για διαδρομή βάρκρου μεγαλύτερης των 100 mm.

Για να αποφύγουμε την πρόσκρουση του εμβόλου επί των κεφαλών του κυλίνδρου, χρησιμοποιούμε διατάξεις επιβράδυνσης ή αποσβεστήρες.



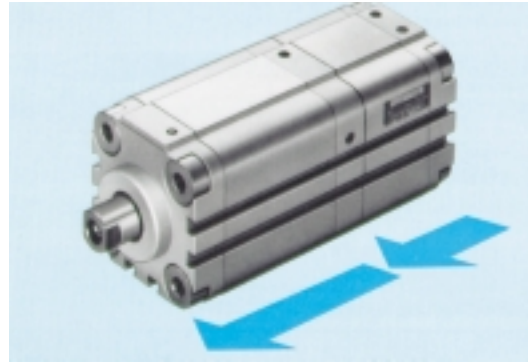
Σχήμα 9.9: Πνευματικός κύλινδρος διπλής ενέργειας

Στο σχήμα φαίνεται η τομή ενός κυλίνδρου με διπλό ρυθμιζόμενο αποσβεστήρα. Το βάρκρο συνδέεται με το έμβολο, σε κάθε άκρο του οποίου υπάρχουν οι σωλήνες. Υπάρχουν επίσης και στεγανωτικά στοιχεία. Ο στραγγαλιστής, ρυθμίζεται με μεταβολή του διακένου διαφυγής μέσω ρυθμιστικού κοχλίου.

Γ. Ειδικό Κύλινδροι

Ειδικό κύλινδροι είναι ο κύλινδρος **Tandem** ή συζυγός κύλινδρος, στον οποίο συνενώνονται δύο ξεχωριστοί κύλινδροι πεπιεσμένου αέρα διπλής ενέργειας σε ένα σωλήνα κυλίνδρου σε σειρά, έτσι ώστε οι δύο παραγόμενες δυνάμεις να αθροίζονται. Με τη διάταξη αυτή έχουμε διπλασιασμό της δύναμης του εμβόλου, επειδή το γινόμενο της πίεσης του αέρα επί της επιφάνειας των εμβόλων μεταβιβάζονται στο εξερχόμενο βάρκρο.

Στους ειδικούς κυλίνδρους συγκαταλέγονται και ο κύλινδρος **κρούσης**, λόγω της μεγάλης και απότομης ταχύτητας εκκίνησης, καθώς και ο **περιστροφικός** κύλινδρος. Τελευταία, ο κύλινδρος **πολληπλών θέσεων** χαρακτηρίζεται ως ειδικός κύλινδρος. Έχουμε συνδυασμό πολλών κυλίνδρων, οι οποίοι στην πράξη μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 12 θέσεις.



Σχήμα 9.10: Ειδικός κύλινδρος πολλαπλών θέσεων

Τεχνικά χαρακτηριστικά κυλίνδρων πεπιεσμένου αέρα

1. Δύναμη πίεσης κυλίνδρου

Η δύναμη του εμβόλου εξαρτάται από τη διάμετρο του εμβόλου, την πίεση του αέρα, που είναι ίση με την πίεση έργου, και από την αντίσταση της τριβής. Η αντίσταση τριβής αντιστοιχεί στη ροπή αποχώρησης του εμβόλου. Η δύναμη του εμβόλου είναι $F = (P_1 - P_2) A$, όπου $P_1 - P_2 = \Delta P$ είναι η διαφορική πίεσης. Η δύναμη αυτή αντισταθμίζεται από τη δύναμη του ελατηρίου ($f_{ελ}$) και την εξωτερική αντίσταση (L). Οπότε:

$$(P_1 - P_2) A = f_{ελ} + L$$

Η επιφάνεια του εμβόλου είναι $A = \pi D^2 / 4$

Για τον κύλινδρο απλής ενέργειας ισχύει:

$$(P_1 - P_2) \pi D^2 / 4 = L + f_{ελ}$$

Όπου:

D = διάμετρος του εμβόλου (cm)

A = επιφάνεια εμβόλου (cm²)

P_1 = απόλυτη πίεση αέρα (Kp/cm²)

P_2 = ατμοσφαιρική πίεση (Kp/cm²)

$f_{ελ}$ = δύναμη του ελατηρίου (Kp)

L = εξωτερική δύναμη (Kp)

Για τον κύλινδρο διπλής ενέργειας ισχύει:

Για τον υπολογισμό της εσωτερικής διαμέτρου ισχύει η σχέση $(P_1 - P_2) \cdot A = L$ και $A = \pi D^2 / 4$

Υπολογίζουμε με απουσία του ελατηρίου. $(P_1 - P_2) A = L$ και

$$(P_1 - P_2) \pi D^2 / 4 = L \quad \text{εμβολισμός εξόδου}$$

$$(P_1 - P_2) \pi / 4 (D^2 - d^2) = L \quad \text{εμβολισμός εισόδου}$$



2. Κατανάλωση αέρα

Ο αέρας που καταναλώνεται από τον κύλινδρο μπορεί εύκολα να υπολογιστεί, γιατί η κατανάλωση εξαρτάται από: 1) την επιφάνεια του εμβόλου 2) σχέση συμπίεσης και 3) από τον εμβολισμό. Με τον όρο εμβολισμό εννοούμε τη διαδρομή της εκτόνωσης του εμβόλου προς την έξοδο. Δύο εμβολισμοί δίνουν μια εναλλαγή ζεύξης στον κύλινδρο.

A_v

Q = κατανάλωση αέρα σε l/min

q = κατανάλωση ανά cm εμβολισμού

κ = εμβολισμός σε cm

λ = εναλλαγή ζεύξης ανά λεπτό

τότε η συμπίεση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$(1,013 + \text{πίεση } Kp/cm^2)/1,013$$

Για τον κύλινδρο απλής ενέργειας

Κατανάλωση αέρος:

$$Q = \kappa \lambda q \text{ σε } l/min$$

Για τον κύλινδρο διπλής ενέργειας

Κατανάλωση αέρος:

$$Q = 2 \kappa \lambda q \text{ σε } l/min$$

3. Ταχύτητα εμβόλων

Η ταχύτητα του εμβόλου εξαρτάται από: 1) την πίεση του αέρα, 2) τις διατομές και τα μήκη των αγωγών μεταξύ της ρυθμιζόμενης βαλβίδας και του κυλίνδρου, 3) την ονομαστική εσωτερική διάμετρο της ρυθμιζόμενης βαλβίδας, και 4) την αντίρροπο δύναμη.

Οι βαλβίδες ταχείας εξαέρωσης, όπως και βαλβίδες στραγγαλισμού, επηρεάζουν την ταχύτητα του εμβόλου.

4. Φορτίο θυγισμού του βάρκρου

Επειδή υπάρχει ο κίνδυνος θυγισμού του βάρκρου, όταν έχουμε μεγάλους εμβολισμούς, οι κατασκευαστές επιλέγουν έδραση του κυλίνδρου μεγαλύτερη του εμβολισμού, δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο εμβολισμός του κυλίνδρου, τόσο μεγαλύτερο θα πρέπει να είναι το μήκος έδρασης.

ΒΑΛΒΙΔΕΣ

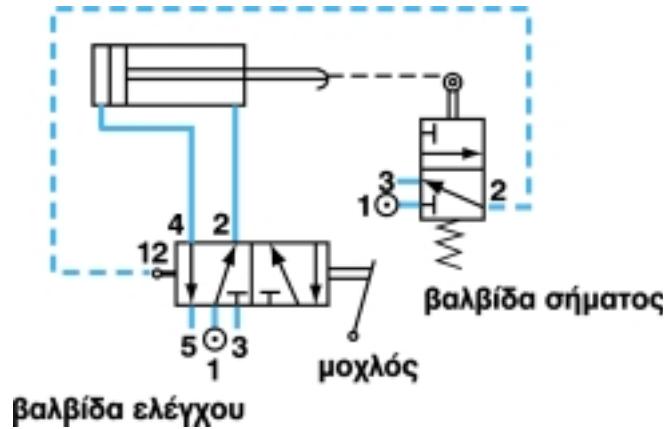
Οι βαλβίδες είναι συσκευές που μας βοηθούν να ρυθμίσουμε την εκκίνηση ή τη στάση ενός εμβόλου και να καθορίσουμε τη διεύθυνση ροής του πεπιεσμένου αέρα. Ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται σε βαλβίδες σημάτων ή διόδου και βαλβίδες ελέγχου.



A. Βαλβίδες σημάτων ή διόδου

Βαλβίδες σημάτων παρέχουν μικρή ποσότητα πεπιεσμένου αέρα, που ενεργοποιούν τις βαλβίδες ελέγχου. Οι βαλβίδες σημάτων είναι συνήθως τριοδικές (3/2) και έχουν τρεις (3) διόδους και δύο (2) θέσεις και είναι γνωστές στο εμπόριο ως βαλβίδες 3/2.

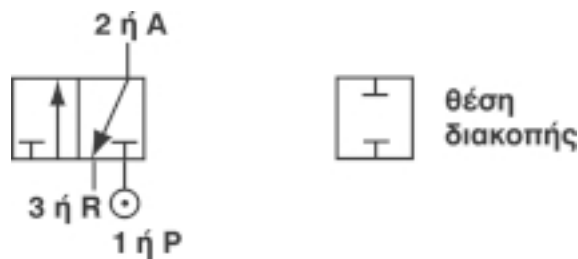
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χρήση μιας τριοδικής βαλβίδας σήματος, που ενεργοποιεί μια βαλβίδα ελέγχου, που επιστρέφει το βάκτρο του εμβόλου αέρος.



Σχήμα 9.11: Τριοδική βαλβίδα σήματος

Με το μοχλό της βαλβίδας ελέγχου 1-4 ενεργοποιείται ο κύλινδρος. Εκτείνεται το βάκτρο, ακουμπά το μοχλό του οριοδιακόπτη (βαλβίδα σήματος) και τότε από τη δίοδο 1-2 παρέχει πεπιεσμένο αέρα (σήμα) στη θέση 12 της βαλβίδας ελέγχου, αλλάζει κατάσταση και μέσω της διόδου 1-2, το βάκτρο συμπύσσεται. Η εκτόνωση του σήματος γίνεται από τη διαδρομή 2-3 στην ατμόσφαιρα.

Οι τριοδικές βαλβίδες συμβολίζονται ως:



Σχήμα 9.12: Τριοδική βαλβίδα

Κάθε τετράγωνο υποδεικνύει μια θέση εργασίας.

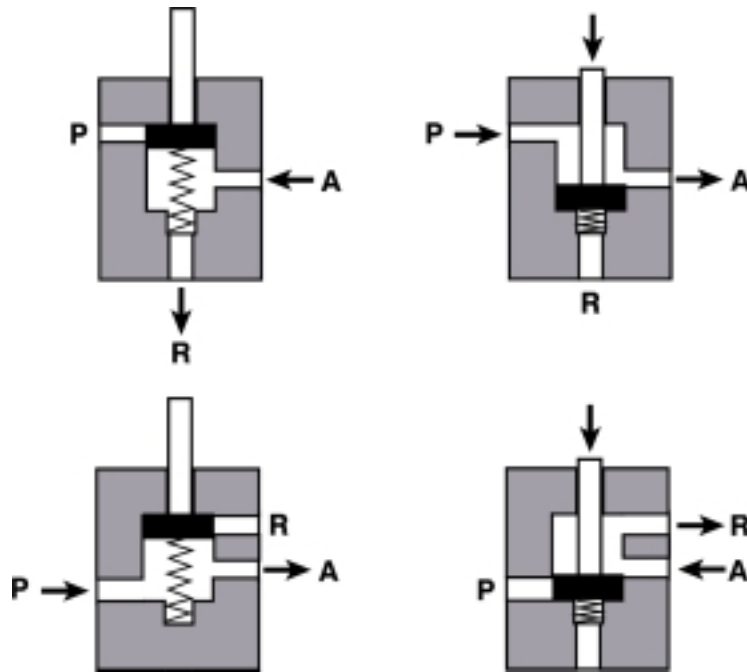
Είσοδος πίεσης στη δίοδο 1 ή P

Είσοδος από δέκτη σήματος στη δίοδο 2 ή A

Γραμμή εκτόνωσης αέρα δίοδος 3 ή R



Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η λειτουργία της τριοδικής βαλβίδας σε λειτουργία ανοίγματος και κλεισίματος.



Σχήμα 9.13: Τρίοδος βαλβίδα σε άνοιγμα και κλείσιμο

Η τρίοδος αποτελεί το βασικό στοιχείο του μηχανισμού κατεύθυνσης ενός κυλίνδρου απλής ενέργειας. Ο κύλινδρος διπλής ενέργειας, οδηγείται με δύο τρίοδες βαλβίδες ή μια βαλβίδα τεσσάρων διόδων.

Συνήθως οι βαλβίδες 3/2 σημάτων είναι κανονικά κλειστές και έχουν ελατήριο επαναφοράς, διότι η χρήση του ανοίγματος είναι στιγμιαία. Οι 3/2 βαλβίδες κατασκευάζονται σε τρεις τύπους:

- Βαλβίδες με έδρες (POPPET)
- Βαλβίδες με σύρτη ή έμβολο (SPOOL)
- Βαλβίδες μεικτές (MIXED)



<p>Βαλβίδα με έδρες (POPPET)</p>	<p>Βαλβίδες με σύρτη ή έμβολο (SPOOL)</p>
<p>Βαλβίδες μεικτές (MIXED)</p>	<p>5 οδική βαλβίδα που κινείται από 4 οδικό πιλότο</p>

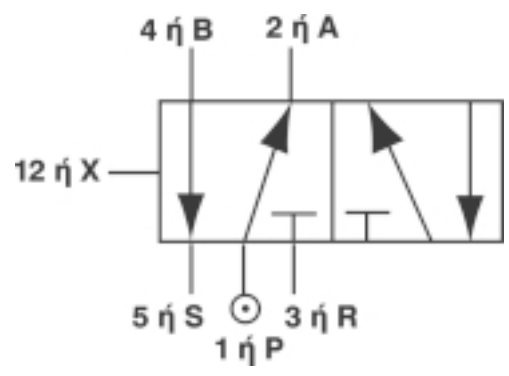
Σχήμα 9.14: Βαλβίδες με σύρτη ή έμβολο, έδρες και μεικτές

Οι βαλβίδες με σύρτη ή έμβολο μπορεί να είναι κανονικά κλειστές ή ανοικτές, ανάλογα με τον τρόπο της σύνδεσης των αγωγών αέρος, ενώ οι βαλβίδες με έδρες μπορούν να λειτουργούν μόνο ως βαλβίδες κανονικά κλειστές ή κανονικά ανοικτές. Οι μεικτές βαλβίδες συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των βαλβίδων με σύρτη και των βαλβίδων με έδρες.

B. Βαλβίδες ελέγχου

Οι πενταοδικές ή 5/2 – βαλβίδες χρησιμοποιούνται συνήθως ως βαλβίδες ελέγχου.

Το σύμβολό τους είναι:



Σχήμα 9.15: 5/2 βαλβίδα



Είσοδος πίεσης στη δίοδο 1 ή P

Γραμμές εργασίας στη δίοδο 2, 4 ή A, B

Γραμμές εκτόνωσης αέρα στη δίοδο 3 ή R

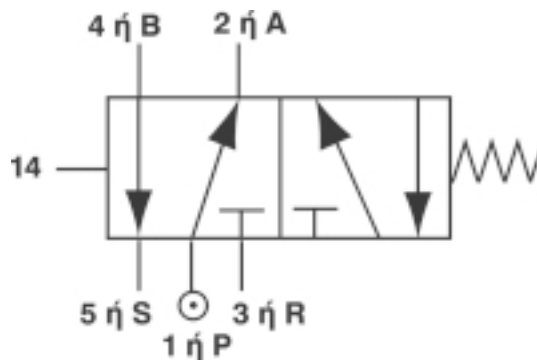
Γραμμές ελέγχου δίοδο 12 ή X

Οι δίοδοι 3 και 5 μένουν ελεύθερες και ονομάζονται ανακουφίσεις.

Ο **έλεγχος** των βαλβίδων γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Χειροκίνητα
- Μηχανικά
- Ηλεκτρικά
- Με πίεση ή

συνδυασμό των διαφόρων μηχανισμών λειτουργίας των βαλβίδων, π.χ. πνευματικά σήματα και ελατήρια επαναφοράς.



Σχήμα 9.16: 5/2 Βαλβίδα με 1 πνευματικό σήμα – ελατήριο

Οι κατασκευαστές βαλβίδων παρέχουν τα εξής:

- Βαλβίδες με σύρτη ή έμβολο
- Βαλβίδες με έδρες
- Βαλβίδες με δίσκο

Στις βαλβίδες **εμβόλου** έχουμε παλινδρόμηση του εμβόλου που επιτρέπει ή απαγορεύει τη δίοδο του αέρα από τις διόδους του σώματος. Η εύκολη συντήρηση της βαλβίδας αυτής αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων βαλβίδων.

Οι βαλβίδες με **έδρες** ονομάζονται 4/2 τετραοδικές βαλβίδες και χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται μεγάλη παροχή αέρα. Στο σχήμα 9.14 παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα.

Οι βαλβίδες **δίσκου** είναι 4/2 – βαλβίδες ή 5/2 – βαλβίδες και έχουν ως κινούμενο μέρος ένα μεταλλικό δίσκο που περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός χειροκίνητου μοχλού. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση εμβόλου διπλής ενέργειας.



Σχήμα 9.17: Βαλβίδες χειρός με μοχλό και χειρός 3 θέσεων

Η **κατάταξη** των βαλβίδων γίνεται σύμφωνα με το μέγεθος των διόδων, το οποίο είναι κατάλληλο για συγκεκριμένη παροχή αέρος. Έτσι υπάρχουν βαλβίδες με μέγεθος σε ίντσες: 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 3/4, 1. Για να επιτευχθεί η κίνηση του εμβόλου αέρος με αργή ή γρήγορη κίνηση, πρέπει να επιλεγεί η αντίστοιχη βαλβίδα ελέγχου. Αυτή θα πρέπει να είναι μικρότερη κατά μια στάθμη από τη διάμετρο των διόδων του εμβόλου για αργή κίνηση ή μεγαλύτερη κατά μια στάθμη των διόδων του εμβόλου για γρήγορη κίνηση.

ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ – ΜΠΟΥΤΟΝ

Οι διακόπτες, τα μπουτόν και τα ρελέ είναι ηλεκτρικά μέσα λειτουργίας και η σχεδιάσή τους γίνεται με τους τυποποιημένους συμβολισμούς. Ο **διακόπτης** αποτελείται από μερικές επαφές, συζευγμένες μηχανικά και με ένα στοιχείο ενεργοποίησης του διακόπτη. Το στοιχείο (ενεργοποίησης) είναι η πηγή της κίνησης του διακόπτη. Το στοιχείο αυτό μπορεί να είναι **πνευματικό** (π.χ. πρεσοστάτης), θερμικό (π.χ. διμεταλλικό στοιχείο), μηχανικό (π.χ. μοχλός), ηλεκτρομηχανικός (π.χ. ηλεκτρομαγνήτης), κ.α.

Μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν ωρολογιακούς μηχανισμούς, ηλεκτρονικά μικροκυκλώματα, επιβραδυντές κίνησης και οτιδήποτε άλλο στοιχείο που να έχει χρονικές ή κινηματικές ιδιότητες.

Οι περισσότεροι διακόπτες και μπουτόν διαθέτουν ελατήρια, τα οποία τους φέρνουν στη θέση απενεργοποίησης ή θέση ηρεμίας. Θέση **ηρεμίας** είναι η θέση που έχει κάθε διακόπτης πριν αρχίσει η λειτουργία του όλου συστήματος αυτοματισμού.

Ο **πνευματικός διακόπτης** διεγείρεται, όταν δεχθεί πνευματικό σήμα ενεργοποίησής του. Εδώ πρόκειται για πνευματικά μπουτόν και πνευματικούς διακόπτες. Σαν πνευματικά μπουτόν και πνευματικοί διακόπτες χρησιμοποιούμε τις βαλβίδες διόδου. Ανάλογα με τον τρόπο χειρισμού της βαλβίδας διόδου, αυτή θα λειτουργήσει σαν βαλβίδα σήματος ή βαλβίδα ρύθμισης και ελέγχου.

Ο **χειρισμός** ή ο έλεγχος της βαλβίδας μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα
- Μηχανικά
- Ηλεκτρικά
- Πνευματικά

Εάν ο χειρισμός της βαλβίδας σήματος γίνει **χειροκίνητα**, τότε όπως φαίνεται και στο σχήμα 9.18 αναφερόμα-



σε, σε υλικό που βρίσκεται στην κονσόλα εντολοδότησης ενός πνευματικού συστήματος. Αυτό είναι τα μπουτόν, τα πεντάλι, και οι βαλβίδες με σύρτη (SP00L).



Μπουτόν χωνευτό 1 θέσης, μανιτάρι, χερούλι περιστροφικό 2 θέσεων



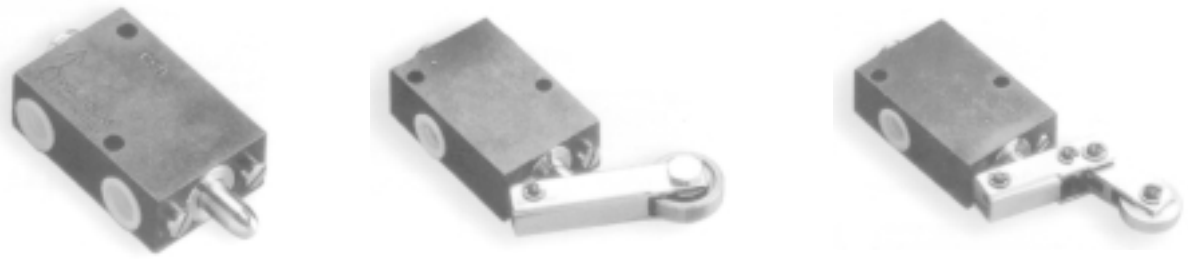
Πεντάλι αέρος με χωνευτό, πλαστικό, μεταλλικό μηχανισμό μανδάλωσης 2 θέσεων



Βαλβίδες SP00L με μοχλό 90°, με μπουτόν “μέσα έξω”, με μοχλό στην κεφαλή

Σχήμα 9.18: Παραδείγματα χειροκίνητου χειρισμού βαλβίδας σήματος

Αν ο χειρισμός της βαλβίδας σήματος γίνει **μηχανικά**, τότε όπως φαίνεται στο σχήμα 9.19 αναφερόμαστε, σε υλικό που βρίσκεται στη μηχανή ενός πνευματικού συστήματος αυτοματισμού. Το υλικό αυτό είναι οι πνευματικοί ανιχνευτές σήματος (μινιατούρες) και διακόπτες θέσης.



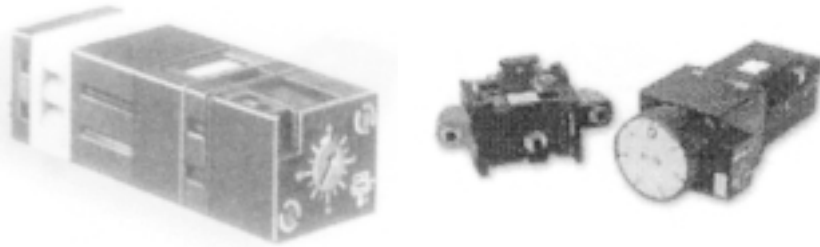
Βαλβίδες τερματικές με σφαίρα, με ρουλεμάν, με σπαστό βραχίονα και ρουλεμάν

Σχήμα 9.19: Παραδείγματα με μηχανικούς τρόπους χειρισμού βαλβίδας σήματος

ΧΡΟΝΙΚΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ

Οι χρονικοί διακόπτες είναι κατά βάση ηλεκτρονόμοι με ελάχιστες επαφές. Οι περισσότεροι έχουν μόνο μια μεταγωγική επαφή, που χρειάζεται στις περισσότερες εφαρμογές. Οι ηλεκτρονόμοι εκτός από τον ηλεκτρομαγνήτη και το μηχανισμό καθυστέρησης της κίνησης, έχουν και ένα ενσωματωμένο στοιχείο ενεργοποίησής τους. Η καθυστέρηση μπορεί να είναι στην ενεργοποίηση ή στην απενεργοποίηση ή και στα δύο και ο χρόνος καθυστέρησης μπορεί να δημιουργηθεί με ηλεκτρονικά μικροκυκλώματα, ωρολογιακά ή μετρητικά ή με στραγγαλιζόμενη κίνηση ρευστού, με ωρολογιακό μηχανισμό, κ.α.

Τα **πνευματικά** χρονικά ρελαί προξενούν τη χρονική καθυστέρηση ενός πνευματικού σήματος. Τα όρια της καθυστέρησης κυμαίνονται ανάλογα με την εφαρμογή και μπορούν να ρυθμιστούν από 0 έως 30 sec ή 10-180 sec. Στο σχήμα 9.20 παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα.



Σχήμα 9.20: Διάφοροι τύποι πνευματικών χρονικών, ή χρονικών διακοπών

Η λειτουργία των πνευματικών διακοπών γίνεται με ατμοσφαιρικό αέρα. Η ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης μεταξύ του πνευματικού σήματος στην είσοδο και του πνευματικού σήματος στην έξοδο γίνεται με το περιστροφικό κομβίο.

Οι χρονικοί συνεργαζόμενοι διακόπτες με τα διάφορα υλικά που βρίσκονται στο κιβώτιο εντολοδότησης ενός πνευματικού συστήματος προσφέρουν δύο λειτουργίες, α) τη θετική έξοδο και β) την αρνητική έξοδο. Αν λειτουργούμε το χρονικό διακόπτη με **θετική** έξοδο, τότε η έξοδος είναι μια λογική πύλη ΝΑΙ, δηλαδή μια βαθμίδα αποκατάστασης του κυκλώματος. Σε αντίθεση, αν λειτουργούμε το χρονικό διακόπτη με **αρνητική** έξοδο, τότε η έξοδος είναι μια λογική πύλη ΟΧΙ, δηλαδή μια βαθμίδα διακοπής του κυκλώματος.



ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΕΣ ΛΟΓΙΚΕΣ ΠΥΛΕΣ

Μετά τη λήψη των σημάτων γίνεται η επεξεργασία τους και δίνονται εντολές ενεργοποίησης στις βαλβίδες ελέγχου. Στην επεξεργασία των σημάτων εντάσσουμε τη λογική σύζευξη των σημάτων εισόδου, την επίδραση στη χρονική συμπεριφορά των σημάτων (π.χ. επιβράδυνση), την απομνημόνευση και την ενίσχυση των σημάτων.

Η λογική σύζευξη επιτυγχάνεται με τις βασικές λειτουργίες των πυλών ΚΑΙ (AND), Ή (OR), ΟΧΙ (NOT) και τους συνδυασμούς τους: ΟΧΙ-ΚΑΙ (NAND) και ΟΧΙ-Ή (NOR). Η επεξεργασία των σημάτων γίνεται με πνευματική, ηλεκτρική ή ηλεκτρονική σύζευξη. Για να συζευχθούν τα σήματα μεταξύ τους, πρέπει να είναι δυαδικής μορφής και μπορεί να είναι πνευματικά, υδραυλικά ή ηλεκτρικά. Ο έλεγχος της ενέργειας κίνησης γίνεται από τις βαλβίδες ελέγχου και η κίνηση, ευθύγραμμη ή περιστροφική, μπορεί να γίνει με υδραυλικό ή ηλεκτρικό μηχανισμό.

Οι βασικές λειτουργίες σύζευξης είναι οι παρακάτω:

- Η λειτουργία ΚΑΙ (AND)
- Η λειτουργία Ή (OR)
- Η λειτουργία ΟΧΙ (NOT)

Στον πίνακα φαίνονται οι βασικές συναρτήσεις σύζευξης, συνοδευόμενες με τους αντίστοιχους πίνακες λειτουργίας τους.

Λογική συνάρτηση	Λογικό σύμβολο	Πίνακας λειτουργίας	Λογική πνευματική πύλη	Ισοδυναμικό ηλεκτρικό
ΚΑΙ ή AND σύνδεσμος		$\begin{array}{cc c} x_1 & x_2 & y \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}$		
Ή ή OR διάζευξη		$\begin{array}{cc c} x_1 & x_2 & y \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array}$		
ΟΧΙ ή NOT άρνηση		$\begin{array}{c c} x & y \\ \hline 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array}$		

Σχήμα 9.21: Βασικές συναρτήσεις σύζευξης

Στα πνευματικά συστήματα ελέγχου:

- 1) Η πράξη ΚΑΙ (AND) η σύζευξη ΚΑΙ μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο βαλβίδες διόδου με σύνδεση σε σειρά ή με μια βαλβίδα δύο πιέσεων.
- 2) Η πράξη Ή (OR) η σύζευξη Ή μπορεί να πραγματοποιηθεί με παράλληλη σύνδεση βαλβίδων διόδου.
- 3) Η πράξη ΟΧΙ η άρνηση αντιστοιχεί στη λειτουργία μιας βαλβίδας διόδου 3/2, ενεργοποιημένης με πίεση, που στην κατάσταση ηρεμίας επιτρέπει τη διόδο αέρα.

Στις συμπληρωματικές λειτουργίες σύζευξης μπορούμε να κατατάξουμε και τις λειτουργίες ΟΧΙ-ΚΑΙ (NAND) και ΟΧΙ-Ή (NOR).

Συνάρτηση NAND και Συνάρτηση NOR

Λογική συνάρτηση	Σύνδεση πνευματικών βαλβίδων	Πίνακας λειτουργίας															
ΟΧΙ-ΚΑΙ ή NAND		<table border="1"> <thead> <tr> <th>x_1</th> <th>x_2</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	x_1	x_2	y	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
x_1	x_2	y															
0	0	1															
1	0	1															
0	1	1															
1	1	0															
ΟΧΙ-Ή ή NOR		<table border="1"> <thead> <tr> <th>x_1</th> <th>x_2</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	x_1	x_2	y	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
x_1	x_2	y															
0	0	1															
1	0	0															
0	1	0															
1	1	0															

Σχήμα 9.22: Συμπληρωματικές συναρτήσεις σύζευξης

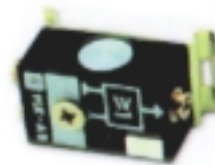
Για τις συμπληρωματικές λειτουργίες οι συνδέσεις γίνονται ως εξής:

- Στη λειτουργία ΟΧΙ-ΚΑΙ, οι πνευματικές βαλβίδες διόδου συνδέονται παράλληλα και οι έξοδοί τους συνδέονται μεταξύ τους μέσω της βαλβίδας εναλλαγής και έτσι επιτρέπουν ένα σήμα εξόδου Υ.
- Στη λειτουργία ΟΧΙ-Η, οι πνευματικές βαλβίδες διόδου συνδέονται σε σειρά. Η λειτουργία χαρακτηρίζεται από το ότι ένα σήμα εξόδου Υ που υπάρχει τότε μόνο, όταν δεν είναι δεδομένο το σήμα εισόδου Χ1 και Χ2.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται μερικά λογικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν και να μας δώσουν ένα λογικό δομικό στοιχείο.



Λογικά στοιχεία



Λογικές πύλες

Σχήμα 9.23: Λογικά στοιχεία και λογικές πύλες

Πνευματικά διαγράμματα

Τα έμβολα επιτυγχάνουν μια ακολουθία συσχετισμένων κινήσεων με την παροχή ενός σήματος έναρξης. Η συνεργασία αυτή δημιουργεί ένα **σύνθετο** σύστημα. Τα σύνθετα προβλήματα αυτοματισμού μπορούμε να τα αποτυπώσουμε με δύο τρόπους και μετά ακολουθούμε το σχεδιασμό των αναγκαίων εξαρτημάτων στο πνευματικό διάγραμμα.

1. Δημιουργία του πίνακα θέσεων, δηλ. αποτυπώνουμε τον τρόπο με τον οποίο μια ακολουθία κινήσεων εμβόλων είναι δυνατή
2. Δημιουργία του διαγράμματος κινήσεων, δηλ. καθορίζουμε τις χρονικές φάσεις κινήσεων των εμβόλων και τις θέσεις των

Συμβολίζουμε με τα γράμματα Α, Β, C, D, E... τα διάφορα έμβολα αέρος και τις θέσεις των βάκτρων ως \oplus ή \ominus ανάλογα με το αν είναι εκτός ή εντός των εμβόλων αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζουμε δυο παραδείγματα, ένα με πίνακα θέσεων και ένα με διάγραμμα κινήσεων.



Πίνακας θέσεων:

Έμβολο	Θέση και κίνηση εμβόλων κατά φάσεις					
	Ηρεμία	1	2	3	4	5
A	-	-	⊕	+	+	⊖
B	-	⊕	⊖	-	-	-
C	-	-	⊕	+	⊖	-
D	-	⊕	+	+	⊖	-
E	-	-	⊕	⊖	-	-

Η πρώτη στήλη εμφανίζει τα διάφορα έμβολα που συνεργάζονται στην ακολουθία συσχετισμένων κινήσεων. Η δεύτερη στήλη εμφανίζει τη θέση των βάκτρων σε κατάσταση ηρεμίας. Οι στήλες 1, 2, 3, 4 εμφανίζουν τη θέση των βάκτρων A, B, C, D, E. Μέσα σε κύκλο εμφανίζεται η θέση των βάκτρων που κινούνται σε σχέση με την προηγούμενη φάση. Η στήλη 5 εμφανίζει την τελευταία φάση που πρέπει να είναι ίδια με την κατάσταση ηρεμίας.

Διάγραμμα κινήσεων:

Σχεδιασμός φάσεων και κινήσεων. Με οριζόντιες γραμμές εμφανίζεται το έμβολο σε ηρεμία άνω ή κάτω, ανάλογα με τη θέση γραμμής. Με πλάγιες γραμμές εμφανίζεται η κίνηση.

Έμβολο	Ηρεμία	Φάσεις				
		1	2	3	4	5
A	—	—	↗	—	—	↘
B	—	↗	↘	—	—	—
C	—	—	↗	—	↘	—
D	—	↗	—	—	↘	—
E	—	—	↗	↘	—	—



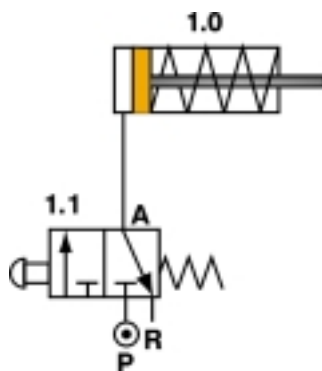
Παραδείγματα Βασικών Κυκλωμάτων

Έλεγχος ενός Κυλίνδρου Απλής Ενέργειας

Πρόβλημα:

Το έμβολο ενός κυλίνδρου απλής ενέργειας πρέπει να εκταθεί όταν ένα μπουτόν ενεργοποιηθεί. Ελευθερώνοντας το μπουτόν, ο κύλινδρος πρέπει να επιστρέψει πίσω στην αρχική του θέση.

Λύση:



Σχήμα 9.24

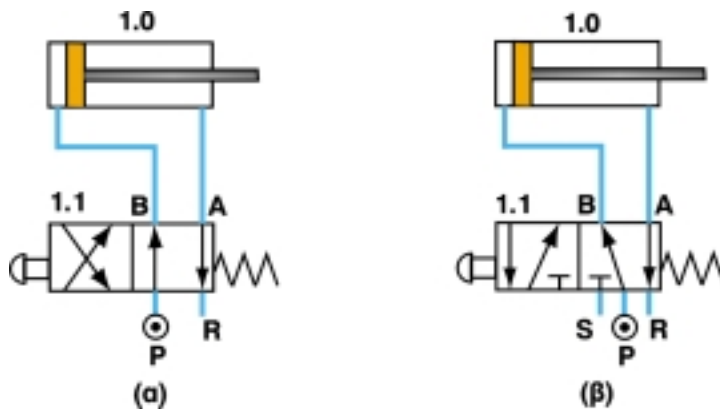
Όταν η βαλβίδα 3/2 ενεργοποιηθεί, ο αέρας ρέει από P→A ενώ ταυτόχρονα κλείνει η διόδος εξαέρωσης R. Όταν το μπουτόν ελευθερωθεί, η βαλβίδα επανέρχεται στην αρχική της θέση διαμέσου του ελατηρίου. Ο πεπιεσμένος αέρας που βρίσκεται στον κύλινδρο και στη σωληνογραμμή εξαερώνεται από το A→R, ενώ ταυτόχρονα η διόδος P κλείνει.

Έλεγχος ενός Κυλίνδρου Διπλής Ενέργειας

Πρόβλημα:

Το έμβολο ενός κυλίνδρου διπλής ενέργειας πρέπει να εκταθεί όταν ένα μπουτόν ενεργοποιηθεί. Ελευθερώνοντας το μπουτόν ο κύλινδρος πρέπει να επιστρέψει πίσω στην αρχική του θέση.

Λύση:



Σχήμα 9.25



Ένας κύλινδρος διπλής ενέργειας μπορεί να αντιστραφεί χρησιμοποιώντας μία βαλβίδα 4/2 ή μια βαλβίδα 5/2.

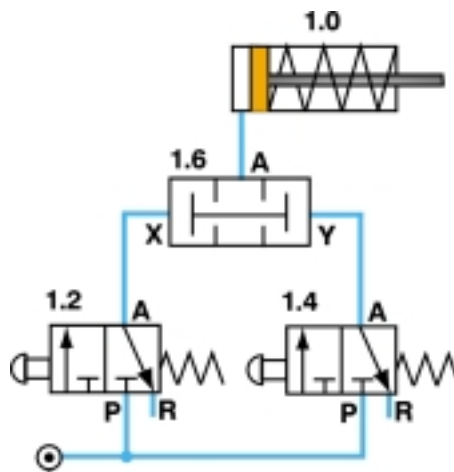
Στην κανονική της θέση μια βαλβίδα 4/2 έχει την εξής λειτουργία: το P συνδέεται με το B και το A συνδέεται με το R. Ενεργοποιώντας το μπουτόν η βαλβίδα αντιστρέφεται δηλαδή το P συνδέεται με το A και το B με το R. Επομένως ο κύλινδρος από τη θέση σύμπτυξης πηγαίνει στη θέση έκτασης. Στην κανονική της θέση μία βαλβίδα 5/2 έχει την εξής λειτουργία: το P συνδέεται με το B και το A με το R. Ενεργοποιώντας το μπουτόν η βαλβίδα αντιστρέφεται δηλαδή το P συνδέεται με το A και το B με το S. Επομένως ο κύλινδρος από τη θέση σύμπτυξης πηγαίνει στη θέση έκτασης.

Έλεγχος με Βαλβίδα Δύο Πιέσεων (AND) και Σύνδεση σε Σειρά

Πρόβλημα:

Το έμβολο ενός κυλίνδρου απλής ενέργειας πρέπει να εκταθεί μόνο όταν ενεργοποιηθούν δύο βαλβίδες 3/2.

Λύση: α) Βαλβίδα δύο πιέσεων (βαλβίδα AND)

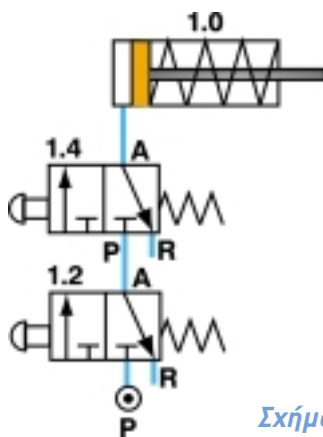


Σχήμα 9.26

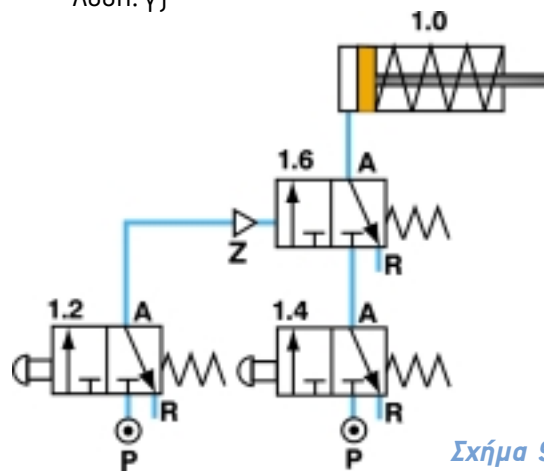
α) Ενεργοποίηση των βαλβίδων 1.2 και 1.4 παράγει σήματα στις διόδους X και Y της βαλβίδας δύο πιέσεων (1.6) και επομένως πεπιεσμένος αέρας εφαρμόζεται στον κύλινδρο.

Λύση: β) Σύνδεση σε σειρά

Λύση: γ)



Σχήμα 9.27



Σχήμα 9.28

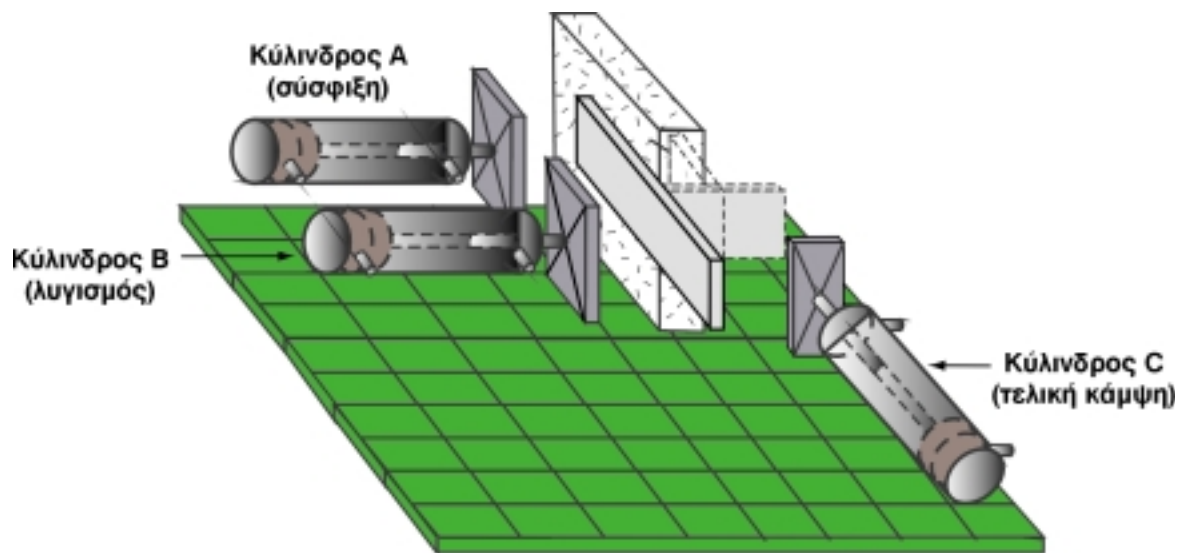


β) Για την εκκίνηση του κυλίνδρου απλής ενέργειας πρέπει να ενεργοποιηθούν οι βαλβίδες 1.2 και 1.4 οι οποίες είναι συνδεδεμένες σε σειρά.

γ) Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ενεργοποιηθούν και οι δύο βαλβίδες 1.2 και 1.4. Η βαλβίδα 1.6 εκτελεί τη λειτουργία ΚΑΙ (AND). Η βαλβίδα 1.6 ενεργοποιείται από τη βαλβίδα 1.2 μέσω της διόδου ελέγχου Z ενώ ο πεπιεσμένος αέρας ρέει από τη βαλβίδα 1.4 διαμέσου της διόδου P της βαλβίδας 1.6.

Παραδείγματα αναπαράστασης ακολουθιών κίνησης και συνθηκών ενεργοποίησης

Για να επιτρέψουμε στις ακολουθίες κινήσεων και στις συνθήκες ενεργοποίησης των διαφόρων στοιχείων σε ένα σύστημα ελέγχου να ανιχνευθούν γρήγορα και αξιόπιστα είναι ανάγκη να καθορίσουμε τον πίνακα θέσεων και το διάγραμμα κινήσεων. Στο σχήμα 9.29 παρουσιάζουμε ένα **παράδειγμα καμπτικής συσκευής**.



Σχήμα 9.29

Μεταλλικά φύλλα λυγίζονται με το καμπτικό εργαλείο.

Το φύλλο τοποθετείται με το χέρι. Όταν το μπουτόν εκκίνησης πιεσθεί, ο κύλινδρος Α συσφίγγει το κατεργάσιμο κομμάτι. Στη συνέχεια ο κύλινδρος Β λυγίζει το κομμάτι και επιστρέφει. Ο κύλινδρος C κάνει τον τελικό λυγισμό. Όταν ο κύλινδρος C επιστρέψει στην αρχική του θέση, τότε ο κύλινδρος Α θα ελευθερώνει το κομμάτι.



Ακολουθία σε χρονική σειρά

Στοιχείο εργασίας	Λειτουργία
Κύλινδρος A	Το μεταλλικό κομμάτι συσφίγγεται
Κύλινδρος B	Το μεταλλικό κομμάτι ληγίζεται
Κύλινδρος B	Επιστρέφει στην κανονική του θέση
Κύλινδρος C	Το μεταλλικό κομμάτι δέχεται την τελική του κάμψη
Κύλινδρος C	Επιστρέφει στην κανονική του θέση
Κύλινδρος A	Το μεταλλικό κομμάτι ελευθερώνεται

Οι κινήσεις έκτασης και σύμπτυξης καταγράφονται και συμβολίζονται ως εξής:

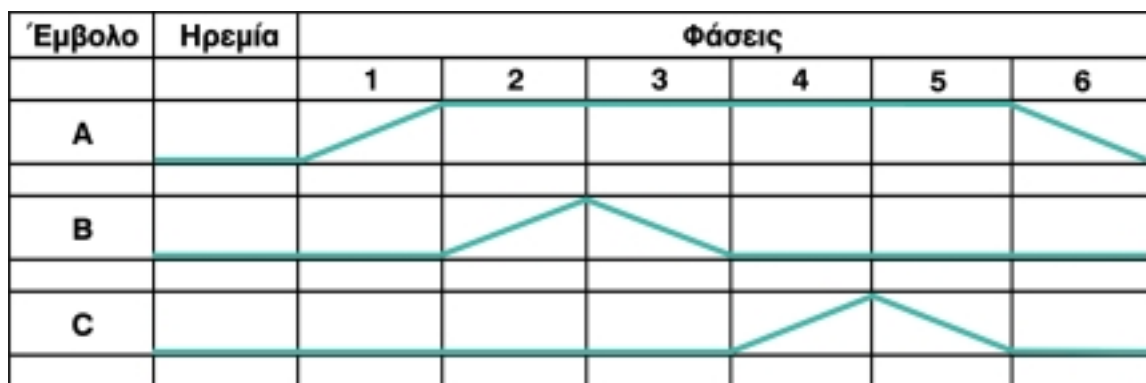
Η έκταση αναπαρίσταται με \oplus

Η σύμπτυξη αναπαρίσταται με \ominus

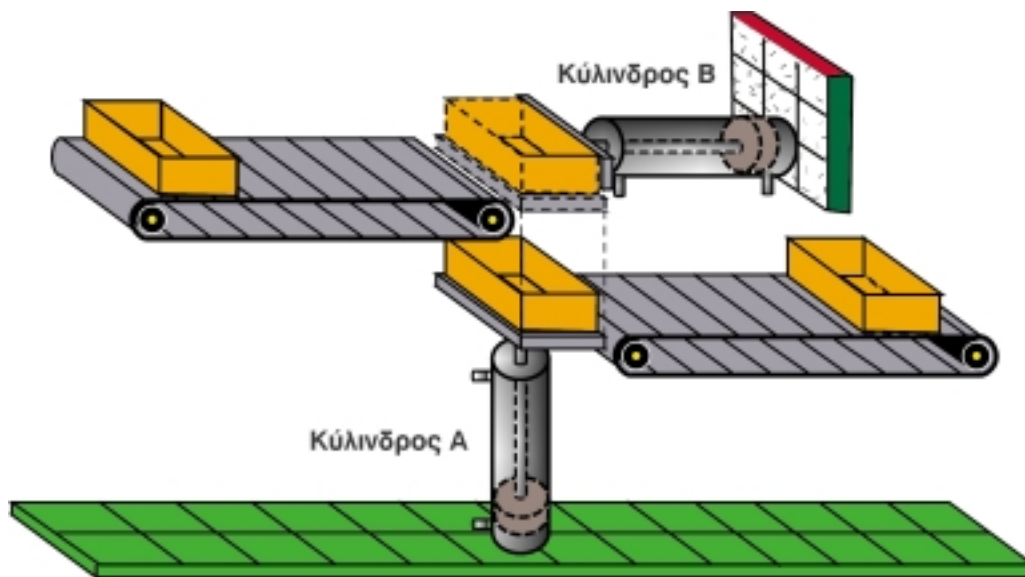
Πίνακας θέσεων:

Έμβολο	Θέση και κίνηση εμβόλων					
	1	2	3	4	5	6
A	\oplus	+	+	+	+	\ominus
B	-	\oplus	\ominus	-	-	-
C	-	-	-	\oplus	\ominus	-

Διάγραμμα κινήσεων:



Στο σχήμα 9.30 παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα μεταφοράς κιβωτίων με δύο κύλινδρους.



Σχήμα 9.30

Τα κιβώτια φθάνουν από ένα ραουλδόδρομο μεταφοράς και υψώνονται από τον κύλινδρο Α. Ο Κύλινδρος Β σπρώχνει τα κιβώτια σε ένα δεύτερο ραουλδόδρομο. Ο Κύλινδρος Β δεν πρέπει να επιστρέψει έως ότου ο κύλινδρος Α έχει φθάσει στην τελική του πίσω θέση.

Οι κινήσεις έκτασης και σύμπτυξης καταγράφονται και συμβολίζονται ως εξής:

Η έκταση αναπαρίσταται με \oplus

Η σύμπτυξη αναπαρίσταται με \ominus

Πίνακας θέσεων:

Έμβολο	Θέση και κίνηση εμβόλων			
	1	2	3	4
A	\oplus	+	\ominus	-
B	-	\oplus	+	\ominus

Διάγραμμα κινήσεων:

Έμβολο	Ηρεμία	Φάσεις			
		1	2	3	4
A	Horizontal line	Diagonal up	Horizontal	Diagonal down	Horizontal
B	Horizontal line	Horizontal	Diagonal up	Horizontal	Diagonal down