

# κεφάλαιο 1

## Θεμελιώδεις αρχές

### Βιομηχανικοί κύριοι μεταφορείς

Οι περισσότερες βιομηχανικές διαδικασίες απαιτούν την μετακίνηση αντικειμένων ή ουσιών από μια θέση σε μια άλλη, ή δύναμη που πρέπει να εφαρμοστεί για τη συγκράτηση, τη διαμόρφωση ή τη συμπίεση ενός προϊόντος. Τέτοιες δραστηριότητες εκτελούνται από τους κύριους μεταφορείς και ενεργοποιητές, τα κύρια δομοστοιχεία της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

Σε πολλές λειτουργίες, όλοι οι κύριοι μεταφορείς είναι ηλεκτρικοί. Οι περιστροφικές κινήσεις μπορούν να παρέχονται από απλούς κινητήρες και μπορεί να επιτευχθεί γραμμική κίνηση από περιστροφική κίνηση με συσκευές όπως οι γρύλλοι ή οι κρεμαγιέρες. Όταν μια καθαρή δύναμη ή μια σύντομη γραμμική διαδρομή, απαιτείται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ηλεκτρομαγνητικό σωληνοειδές, αν και υπάρχουν όρια στη δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί με αυτά τα μέσα.

Εντούτοις, οι ηλεκτρικές συσκευές δεν είναι το μόνο μέσο για τη δημιουργία κύριων μεταφορέων. Τα κλειστά ρευστά, τόσο υγρά όσο και αέρια, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά ενέργειας από μια θέση σε μια άλλη και, συνεπώς, να παραχθεί περιστροφική ή γραμμική κίνηση, ή να εφαρμοστεί μια δύναμη. Συστήματα με βάση το υγρό που χρησιμοποιούν τα υγρά ως μέσα μετάδοσης ονομάζονται υδραυλικά συστήματα, από τις ελληνικές λέξεις Ύδρα για το νερό και το αυλός για έναν σωλήνα, περιγραφές που υποδηλώνουν ότι τα ρευστά είναι βασικά το νερό, αν και τα έλαια χρησιμοποιούνται συνηθέστερα. Τα συστήματα με βάση το αέριο ονομάζονται πνευματικά συστήματα, από το ελληνικό πνεύμα για τον άνεμο ή την αναπνοή. Το πιο κοινό αέριο είναι απλά συμπιεσμένος αέρας και το άζωτο που χρησιμοποιείται περιστασιακά.

Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πνευματικών ή υδραυλικών συστημάτων προκύπτουν από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των χαμηλής πυκνότητας συμπιεστών αερίων και την σχετικά υψηλή πυκνότητα των ασυμπιεστων υγρών. Ένα πνευματικό σύστημα, για παράδειγμα, τείνει να έχει μια «ομαλότερη» δράση από ένα υδραυλικό σύστημα, το οποίο μπορεί να είναι επιρρεπές

στην παραγωγή θορύβου και φθοράς που προκαλεί βλάβες στη σωλήνωση. Ένα υδραυλικό σύστημα με βάση το υγρό, ωστόσο, μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ υψηλότερες πιέσεις από ένα πνευματικό σύστημα και, ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πολύ μεγάλης δύναμης.

Για να συγκρίνουμε τα διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών, πεπιεσμένου αέρα, και των υδραυλικών συστημάτων, τα ακόλουθα τρία τμήματα εξετάζουν πώς μια απλή ανυψωτική εργασία θα μπορούσε να διαχειριστεί από το καθένα σύστημα.

## **Μια σύντομη σύγκριση συστημάτων**

Η ζητούμενη εργασία που εξετάζεται είναι ο τρόπος ανύψωσης ενός φορτίου σε απόσταση περίπου 500 mm. Τέτοιες εργασίες είναι συνήθεις στις κατασκευαστικές βιομηχανίες.

### **Ένα ηλεκτρικό σύστημα**

Με ένα ηλεκτρικό σύστημα έχουμε τρεις βασικές επιλογές: ένα ηλεκτρομαγνητικό σωληνοειδές, έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος ή τον πιο διαδεδομένο ενεργοποιητή της βιομηχανίας, τον κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Από αυτά, το ηλεκτρομαγνητικό σωληνοειδές παράγει απευθείας γραμμική κίνηση, αλλά η μέγιστη απόσταση παλινδρόμησης της κίνησης συνήθως περιορίζεται σε ένα μέγιστο της τάξεως των 100 mm.

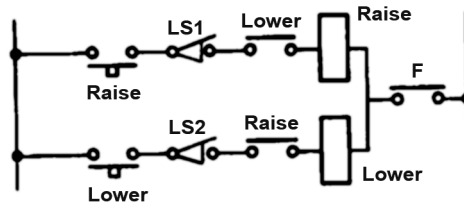
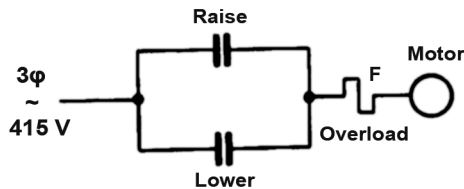
Οι κινητήρες DC και AC είναι περιστροφικές συσκευές και οι έξοδοί τους πρέπει να μετατραπούν σε γραμμική κίνηση από συμπληρωματικές μηχανικές συσκευές, όπως ατέρμονες ή κρεμαγιέρες με γρανάζι. Αυτό βέβαια δεν αποτελεί πρόβλημα, καθώς διατίθενται στο εμπόριο συσκευές που περιλαμβάνουν τον κινητήρα μαζί με τον ατέρμονα.

Η επιλογή του κινητήρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις ελέγχου της ταχύτητας. Ένας DC κινητήρας οδηγούμενος από μια ταχο-γεννήτρια μέσω ενός οδηγού με θυρίστορ, μπορεί να δώσει εξαιρετικά αποτελέσματα ελέγχου της ταχύτητας, αλλά έχει υψηλές απαιτήσεις συντήρησης για τις ψήκτρες του και τον συλλέκτη.

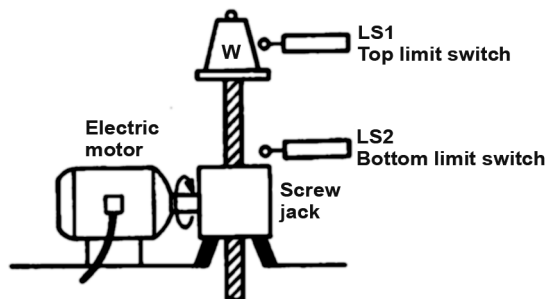
Ένας ηλεκτροκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος ουσιαστικά δεν έχει ανάγκη συντήρησης, αλλά είναι ουσιαστικά μια συσκευή σταθερής ταχύτητας, με την ταχύτητα να καθορίζεται από τον αριθμό των πόλων και τη συχνότητα της τροφοδοσίας. Η ταχύτητα μπορεί να ρυθμιστεί με έναν κινητήρα μεταβλητής συχνότητας, αλλά πρέπει να ληφθεί μέριμνα για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση, καθώς οι

περισσότεροι κινητήρες ψύχονται από έναν εσωτερικό ανεμιστήρα που συνδέεται άμεσα στον άξονα του κινητήρα. Στην περίπτωση που απαιτείται σταθερή ταχύτητα για την κίνηση άνω-κάτω, ένας κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος που οδηγεί έναν ατέρμονα φαίνεται να είναι η πιο λογική επιλογή.

Κανένας τύπος κινητήρα δεν θα πρέπει να αφηθεί να λειτουργεί μέχρι να φτάσει στο τέλος της διαδρομής που θα κινηθεί. Αυτό δεν είναι απολύτως αληθές, καθώς ειδικά σχεδιασμένοι DC κινητήρες, με ένα καλό σύστημα ελέγχου ρεύματος με θυρίστορ μαζί με έναν εξωτερικό ανεμιστήρα ψύξης μπορούν να αφηθούν να τερματίσουν, έτσι θα πρέπει να τοποθετηθούν όρια τέλους διαδρομής, ώστε να σταματήσουν τον κινητήρα πριν τερματίσει.



(a) Electric circuit



(b) Physical layout

**Σχήμα 1.1** Ηλεκτρική λύση, βασισμένη σε τριφασικό κινητήρα

Έτσι καταλήξαμε στο σύστημα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1 που περιλαμβάνει ένα μηχανικό σύστημα με ατέρμονα που οδηγείται από ένα μοτέρ εναλλασσόμενου ρεύματος που ελέγχεται από έναν ηλεκτρονόμο αναστροφής. Ο βοηθητικός εξοπλισμός περιλαμβάνει δύο τερματικούς διακόπτες και ένα κύκλωμα προστασίας υπερφόρτωσης του κινητήρα. Πρακτικά δεν υπάρχει περιορισμός φορτίου με την προϋπόθεση ότι ο λόγος ατέρμονα/γρναζοκιβώτιου και η ισχύς του κινητήρα να έχουν υπολογιστεί σωστά.

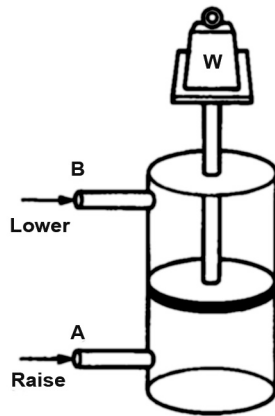
## Ένα υδραυλικό σύστημα

Μια λύση κατά μήκος των υδραυλικών γραμμών φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Ένας υδραυλικός γραμμικός ενεργοποιητής κατάλληλος για αυτή την εφαρμογή είναι ο εμβολοφόρος κύλινδρος, που απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 1.2α. Αυτός αποτελείται από ένα κινητό έμβολο συνδεδεμένο απευθείας με τον άξονα εξόδου. Εάν ένα ρευστό συμπιεστεί στον αγωγό A, το έμβολο θα κινηθεί προς τα πάνω και ο άξονας θα εκτείνεται. Αν το ρευστό συμπιεστεί στον σωλήνα B, ο άξονας θα υποχωρήσει. Προφανώς κάποια μέθοδος ανάκτησης του ρευστού από την πλευρά του εμβόλου που δεν έχει συμπιεστεί θα πρέπει να ενσωματωθεί στο σύστημα.

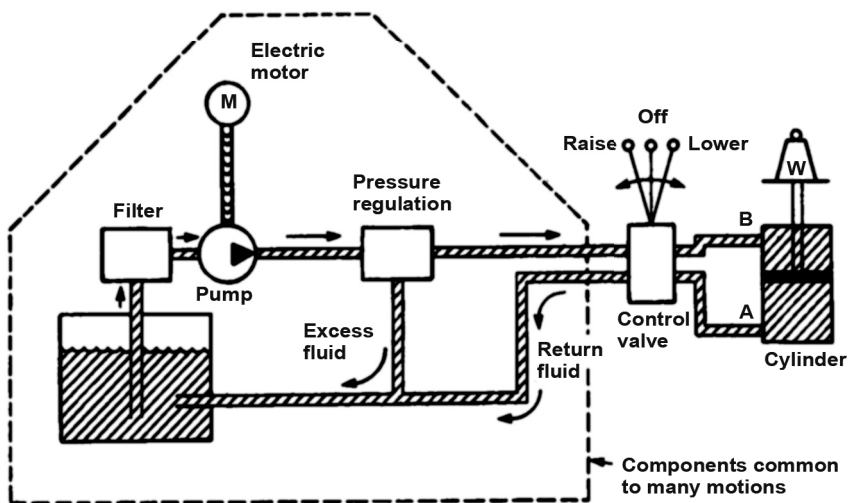
Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αποδώσει ο κύλινδρος εξαρτάται από την πίεση του ρευστού και την εγκάρσια επιφάνεια διατομής του εμβόλου. Αυτό θα συζητηθεί περαιτέρω σε κάποια επόμενη ενότητα, για παράδειγμα, μια τυπική υδραυλική πίεση 150 bar θα ανυψώσει 150 kg ανά  $\text{cm}^2$  της επιφάνειας διατομής του εμβόλου. Ένα φορτίο 2000 kg θα μπορούσε έτσι να ανυψωθεί με ένα έμβολο διαμέτρου 4,2 cm.

Ένα κατάλληλο υδραυλικό σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 1.2b. Το σύστημα απαιτεί ένα ρευστό υγρό για να λειτουργήσει. Αυτό είναι ακριβό και εύκολα μπορεί να γίνει και ρυπογόνο, κατά συνέπεια, οι σωληνώσεις πρέπει να λειτουργούν ως κλειστός βρόχος, με το ρευστό να μεταφέρεται από τη δεξαμενή αποθήκευσης στη μία πλευρά του εμβόλου και να επιστρέφει από την άλλη πλευρά του εμβόλου στη δεξαμενή. Το υγρό αντλείται από τη δεξαμενή με αντλία η οποία παράγει ροή ρευστού στα απαιτούμενα 150 bar. Τέτοιες αντλίες υψηλής πίεσης, ωστόσο, δεν μπορούν να λειτουργήσουν με αδιέξοδα φορτία, όπως π.χ. κάποιο μπλοκαρισμένο φορτίο, καθώς αυτές παρέχουν σταθερές ποσότητες ρευστού από τις εισόδους στις εξόδους για κάθε περιστροφή του άξονα της αντλίας. Με ένα αδιέξοδο φορτίο, η πίεση του υγρού αυξάνεται απεριόριστα, μέχρις ότου ένας σωλήνας του κυκλώματος ή μια αντλία να καταρρεύσει. Κάποια μορφή ρύθμισης της πίεσης, ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη ώστε, περίσσεια υγρού να επιστραφεί στη δεξαμενή.

Η κίνηση του κυλίνδρου ελέγχεται από μια βαλβίδα αλλαγής τριών



(a) Hydraulic cylinder



(b) Physical components

### Σχήμα 1.2 Μια υδραυλική λύση

θέσεων. Για την προέκταση του εμβόλου του κυλίνδρου, η θύρα A συνδέεται στη γραμμή πίεσης και η θύρα B στη δεξαμενή. Για να αντιστραφεί η κίνηση, η θύρα B συνδέεται στη γραμμή πίεσης και η θύρα A στη δεξαμενή. Στην κεντρική της θέση η βαλβίδα ασφαρίζει το ρευστό μέσα στον κύλινδρο, με αυτόν τον τρόπο κρατώντας τον στη θέση του και αδρανοποιεί τις γραμμές των υγρών, προκαλώντας επιστροφή όλων των υγρών στη δεξαμενή μέσω του ρυθμιστή πίεσης.

Υπάρχουν εδώ μερικά σημεία άξια σχολιασμού. Πρώτον, ο έλεγχος ταχύτητας επιτυγχάνεται εύκολα ρυθμίζοντας τον ογκομετρικό ρυθμό ροής στον κύλινδρο, που θα αναφερθεί λεπτομερώς στην συνέχεια. Ο ακριβής έλεγχος σε χαμηλές ταχύτητες είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα στα υδραυλικά συστήματα.

Δεύτερον, τα όρια της διαδρομής καθορίζονται από την κίνηση του εμβόλου του κυλίνδρου, και οι κύλινδροι γενικά, μπορούν να αφεθούν απλά να σταματήσουν στο τέλος της διαδρομής τους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ανάγκη για προστασία από την υπέρβαση της διαδρομής.

Τρίτον, η αντλία πρέπει να λειτουργήσει από μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, συνήθως έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος, με τη σειρά του, απαιτεί κάποιο κύκλωμα εκκίνησης και προστασίας από υπερφόρτωση.

Τέταρτον, το υδραυλικό υγρό πρέπει να είναι πολύ καθαρό, επομένως απαιτείται φίλτρο (φαίνεται στο Σχήμα 1.2b) για την απομάκρυνση των σωματιδίων ρύπανσης πριν περάσει το υγρό από τη δεξαμενή στην αντλία.

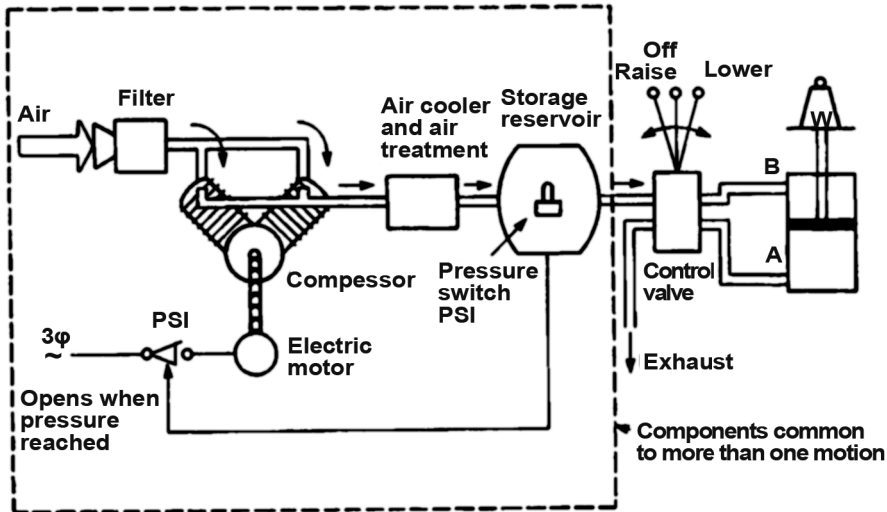
Ένα τελευταίο σημείο που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι διαρροές υγρών από το σύστημα μπορεί να είναι αθέατες, να προκαλέσουν ολισθηρότητα, ως εκ τούτου είναι επικίνδυνες και να γίνουν περιβαλλοντικά πολύ ανεπιθύμητες. Μια μείζονα τέτοια βλάβη μπορεί να είναι καταστροφική.

Εκ πρώτης όψεως το σύστημα του Σχήματος 1.2b φαίνεται υπερβολικά περίπλοκο σε σύγκριση με το ηλεκτρικό σύστημα του Σχήματος 1.1, αλλά πρέπει να θυμόμαστε ότι όλα τα μέρη που περικλείονται στο κουτί με τις διακεκομμένες γραμμές του Σχήματος 1.2 είναι κοινά σε μια εγκατάσταση και δεν είναι συνήθως αφιερωμένα σε μία μόνο κίνηση.

## **Ένα πνευματικό σύστημα**

Το Σχήμα 1.3 δείχνει τα στοιχεία ενός πνευματικού συστήματος. Ο βασικός ενεργοποιητής είναι και πάλι ένας κύλινδρος, με τη μέγιστη δύναμη στον άξονα να καθορίζεται από την πίεση του αέρα και την επιφάνεια διατομής του εμβόλου. Οι λειτουργικές πιέσεις σε πνευματικά συστήματα είναι γενικά πολύ χαμηλότερες από αυτές των υδραυλικών συστημάτων, τυπικά 10 bar, τα οποία μπορούν να ανυψώσουν 10 kg ανά cm<sup>2</sup> της διατομής του εμβόλου, έτσι απαιτείται ένα έμβολο με διάμετρο 16 cm για την ανύψωση του φορτίου των 2000 kg που καθορίστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Τα πνευματικά συστήματα συνεπώς χρειάζονται μεγαλύτερους ενεργοποιητές από τα υδραυλικά συστήματα για το ίδιο φορτίο.

Η βαλβίδα που παρέχει αέρα στον κύλινδρο λειτουργεί παρόμοια με την αντίστοιχη του υδραυλικού ισοδύναμου συστήματος. Μία αξιοσημείωτη διαφορά προκύπτει από το απλό γεγονός ότι ο αέρας είναι ρευστό χωρίς κόστος, καθώς ο αέρας της επιστροφής απλώς απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.



**Σχήμα 1.3** Μια πνευματική λύση

Ο αέρας αντλείται από την ατμόσφαιρα μέσω φίλτρου αέρα και ανεβαίνει στην απαιτούμενη πίεση από έναν συμπιεστή αέρα, ο οποίος συνήθως οδηγείται από έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται σημαντικά από αυτόν τον συμπιεστή. Ο αέρας περιέχει επίσης μια σημαντική ποσότητα υδατμών. Προτού να χρησιμοποιηθεί ο αέρας πρέπει να ψύχεται, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό της συμπύκνωσης. Επομένως, ο αεροσυμπιεστής πρέπει να ακολουθείται από έναν ψύκτη και μία μονάδα επεξεργασίας αέρα.

Η συμπιεστότητα ενός αερίου καθιστά απαραίτητη την αποθήκευση ενός όγκου συμπιεσμένου αερίου σε μια δεξαμενή, από όπου θα μπορεί να τραβηχτεί από το φορτίο. Χωρίς αυτή τη δεξαμενή, μια αργή εκθετική αύξηση της πίεσης έχει ως αποτέλεσμα μια παρομοίως αργή κίνηση του κυλίνδρου όταν η βαλβίδα ανοίγει για πρώτη φορά. Για αυτόν τον λόγο η μονάδα επεξεργασίας αέρα ακολουθείται από μια δεξαμενή αέρα.

Τα υδραυλικά συστήματα απαιτούν έναν ρυθμιστή πίεσης για να επιστραφεί το πλεόνασμα ρευστού πίσω στη δεξαμενή, αλλά η ρύθμιση της πίεσης σε ένα υδραυλικό σύστημα είναι πολύ

απλούστερη. Ένας πρεσοστάτης, τοποθετημένος στη δεξαμενή αέρα, εκκινεί τον κινητήρα του συμπιεστή όταν πέσει η πίεση και σταματά πάλι όταν η πίεση φτάσει στο απαιτούμενο επίπεδο.

Η γενική εντύπωση είναι πάλι μια πολυπλοκότητα, αλλά οι μονάδες στο κουτί των διακεκομμένων γραμμών είναι και πάλι κοινές σε μια εγκατάσταση ή ακόμα και σε ολόκληρο το σύμπλεγμα. Πολλά εργοστάσια παράγουν τον πεπιεσμένο αέρα σε έναν κεντρικό σταθμό και τον διανέμουν σε όλα τα σημεία της εγκατάστασης με παρόμοιο τρόπο όπως την ηλεκτρική ενέργεια, το νερό ή το αέριο.

## Μια σύγκριση

Ο Πίνακας 1.1 δίνει συγκρίσεις των διαφόρων συστημάτων που συζητήθηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

## Ορισμός των όρων

Υπάρχει σχεδόν καθολική έλλειψη τυποποίησης των μονάδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση στη βιομηχανία, όσον αφορά τις μονάδες μέτρησης των φυσικών μεγεθών. Τα υδραυλικά και πνευματικά συστήματα υποφέρουν ιδιαίτερα από αυτό το χαρακτηριστικό, και δεν είναι καθόλου ασυνήθιστο να βρεθεί π.χ. μέτρηση πίεσης σε διαφορετικές θέσεις στο ίδιο σύστημα σε bar, krascal και psi.

Υπάρχει, ωστόσο, μια ευπρόσδεκτη κίνηση στην τυποποίηση στο Διεθνές Σύστημα (SI) των μονάδων, αλλά και πάλι ο χρήστης ή σχεδιαστής του συστήματος θα συναντήσει διαφορετικές τυποποιήσεις μονάδων των μεγεθών.

Κάθε σύστημα μέτρησης απαιτεί τον ορισμό των έξι μονάδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση:

- μήκος,
- μάζα,
- χρόνος,
- θερμοκρασία,
- ηλεκτρικό ρεύμα,
- ένταση φωτός.

Από αυτές, οι μηχανικοί υδραυλικών-πνευματικών συστημάτων ασχολούνται κυρίως με τις τρεις πρώτες. Άλλες μονάδες όπως η ταχύτητα, η δύναμη και η πίεση μπορούν να οριστούν σε μορφές συνδυασμών από αυτές τις βασικές μονάδες. Η ταχύτητα, για παράδειγμα, ορίζεται από τον συνδυασμό μήκους/χρόνου.



	Electrical	Hydraulic	Pneumatic
Energy source	Usually from outside supplier	Electric motor or diesel driven	Electric motor or diesel driven
Energy storage	Limited (batteries)	Limited (accumulator)	Good (reservoir)
Distribution system	Excellent, with minimal loss	Limited basically a local facility	Good. can be treated as a plant wide service
Energy cost	Lowest	Medium	Highest
Rotary actuators	AC & DC motors. Good control on DC motors. AC motors cheap	Low speed. Good control. Can be stalled	Wide speed range. Accurate speed control difficult
Linear actuator	Short motion via solenoid. Otherwise	Cylinders. Very high force	Cylinders. Medium force
Controllable force	Possible with solenoid & DC motors. Complicated by need for cooling	Controllable high force	Controllable medium force
Points to note	Danger from electric shock	Leakage dangerous and unsightly. Fire hazard	Noise

**Πίνακας 1.1**

Το παλιό βρετανικό σύστημα Imperial χρησιμοποίησε ως μονάδες το πόδι (foot), τη λίβρα (pound) και το δευτερόλεπτο (second) και ήταν επομένως γνωστό ως το σύστημα fps. Τα πρώτα μετρικά συστήματα χρησιμοποίησαν εκατοστά (centimeter), γραμμάρια (gram), δευτερόλεπτα (second), γνωστό ως σύστημα cgs, και μέτρα (meter), κιλά (kilogram) και δευτερόλεπτα (second), το σύστημα mks. Το σύστημα mks εξελίχθηκε στο σύστημα SI που εισήγαγε μια πιο λογική μέθοδο καθορισμού της δύναμης και της πίεσης (που εξετάζεται σε επόμενες ενότητες).

Λάβετε υπόψη ότι οι μονάδες που έχουν ονόματα πραγματικών προσώπων (π.χ. newton) χρησιμοποιούν μικρά γράμματα, αλλά έχουν ως σύμβολα κεφαλαία γράμματα (π.χ. N). Οι παρακάτω πίνακες μετατροπής μετατρέπουν στην ισοδύναμη μονάδα SI.

Για να μετατρέψετε από μονάδες SI διαιρέστε με τον συντελεστή μετατροπής. Για τη μετατροπή μεταξύ δύο μη-SI μονάδων χρησιμοποιήστε μια διαδικασία δύο σταδίων: πρώτα πολλαπλασιάστε με τον πρώτο συντελεστή μετατροπής για μετατροπή σε μονάδες SI και στη συνέχεια διαιρέστε με τον δεύτερο συντελεστή μετατροπής για να πάρετε την αξία στις νέες μονάδες. Για παράδειγμα, στον Πίνακα 1.2 για να μετατρέψετε από kips σε cwt πολλαπλασιάστε με 453,59 και στη συνέχεια διαιρέστε με 50,802.

Μετατροπές μεταξύ των βασικών μονάδων μάζας, μήκους και όγκου δίνονται στους Πίνακες 1.2-1.4.

Mass	<p>1 kg = 2.2046 pound (lb) = 1000 gm</p> <p>1 lb = 0.4536 kg</p> <p>1 ton (imperial) = 2240 lb = 1016 kg = 1.12 ton (US)</p> <p>1 tonne - 1000 kg = 2204.6 lb = 0.9842 ton (imperial)</p> <p>1 ton (US) = 0.8929 ton (imperial)</p>
Length	<p>1 metre - 3.281 foot (ft) - 1000 mm - 100 cm</p> <p>1 i n c h - 25.4 mm- 2.54 cm</p> <p>1 yard - 0.9144 m</p>
Volum	<p>1 l i t r e - 0.2200 gallon (imperial)- 0.2642 gallon (US)</p> <p>1 gallon (imperial)- 4.546 l i t r e - 1.2011 gallon (US)</p> <p>= 0.161 cubic ft</p> <p>1 gallon ( U S ) - 3.785 l i t r e - 0.8326 gallon (imperial)</p> <p>1 cubic m e t e r - 220 gallon (imperial) = 35.315 cubic feet</p> <p>1 cubic i n c h - 16.387 cubic centimetres</p>

**Πίνακας 1.2**