

# ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΗΧ  
660

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: πεπιεσμένο αέρα  
Παραγωγή Διανομή Συσκευές

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΚΕΧΑΓΙΑΣ,  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΡΑΪΣΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: ΣΠΥΡΙΔΟΝ ΜΑΡΤΖΟΥΚΟΣ

ΤΟΠΟΣ – ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ  
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ-2012

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Εικόνων.....	3
Περίληψη .....	4
Πρόλογος .....	6
Ευχαριστίες .....	6
Εισαγωγή.....	7
Κύριο μέρος.....	8
Συμπεράσματα.....	39
Βιβλιογραφία.....	40
Παράρτημα Ι.....	41
Παράρτημα ΙΙ.....	42
Παράρτημα ΙΙΙ.....	47
Σχέδια.....	48
Στοιχεία δικτύου.....	50
Μελέτη εφαρμογής για τα μηχ. Εργαστήρια.....	51
Υπολογισμός Α/Σ.....	52
Οδηγίες συντήρησης .....	55
Μέτρα ασφαλείας.....	57

## Περιεχόμενα Εικόνων

### δα Εικόνα

- 3 1 Οργανωμένα συστήματα αεροσυμπιεστών
- 7 2 Οργανωμένες μονάδες παραγωγής πεπιεσμένου αέρα
- 3 3 Σύστημα κλειστού βρόγχου
- 1 4 Κλασσικό σύστημα κεντρικής γραμμής
- 2 5 Αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα στο αεροφυλάκιο
- 3 6 Πρόταση εγκατάστασης δικτύου πεπιεσμένου αέρα
- 4 7 Τρόποι εξαιρισμού χώρου εγκατάστασης πεπιεσμένου αέρα
- 6 8 Παρουσίαση ενός μικρού συμπιεστή
- 7 9 Σχηματική εγκατάσταση αεροστασίου
- 7 10 Εγκατάσταση αεροστασίου στην πραγματικότητα
- 9 11 Συγκροτημένη μονάδα παραγωγής πεπιεσμένου αέρα
- 1 12 Κεντρικός αεροσταθμός
- 2 13 Αποκεντρωμένος αεροσταθμός
- 4 14 Μια κατά μήκος τομή ενός συμπιεστή
- 5 15 Τομή ενός συμπιεστή πολλαπλών σταδίων εφαρμοσμένος σε απλή μηχανή (205°C μέχρι 240°C)
- 6 16 Προβολή του συμπιεστή screw
- 8 17 Προβολή του φυγοκεντρικού συμπιεστή
- 8 18 Τυπικό διάγραμμα διάκρισης συμπιεστών
- 0 19 Ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (με την μορφή πεπιεσμένου αέρα)
- 1 20 Ταμειυτήρες αποθήκευσης του συμπιεσμένου αέρα
- 4 21 Πεπιεσμένος αέρας, η ουσιαστική πηγή ενέργειας
- 6 22 Διαχωριστής νερού
- 7 23 Ξηραντής κατακράτησης υγρασίας
- 7 24 Διάφοροι τύποι ξηραντών
- 8 25 Βαλβίδα εξαγωγής συμπυκνωμάτων
- 3 ΠII 1 Ξηραντής κέντρου παραγωγής πεπιεσμένου αέρα
- 4 ΠII 2 Βακτηριολογικό φίλτρο
- 5 ΠII 3 Γραμμές επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα με σειρά φίλτρων
- 6 ΠIII Μπλοκ διάγραμμα σταθμού παραγωγής

## Περίληψη

Η χρήση του πεπιεσμένου αέρα σαν ένα μέσο για αυξημένη απόδοση στην παραγωγική διαδικασία είναι πολύ καλά καθιερωμένη στη βιομηχανία. Οι αεροσυμπιεστές μπορούν να βρεθούν σε σχεδόν όλα τα εργοστάσια. Η επιλογή ενός αεροσυμπιεστή είναι μία από τις πλέον σημαντικές αποφάσεις για το στήσιμο ενός νέου εργοστασίου ή την επέκταση ενός ήδη υπάρχοντος. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται αρχικά τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα διανομής αέρα. Έτσι παρουσιάζονται οι βασικές επιλογές για την εναέρια επί τοίχου ή κάτω από την οροφή εγκατάσταση ενός δικτύου πεπιεσμένου καθώς και την βασική διαστασιολόγηση αυτών. Με την παραπάνω αναφορά περιγράφεται το βασικό μπλοκ συσκευών που βοηθούν στην τελική παραγωγή πεπιεσμένου αέρα (σε σταθμό παραγωγής).

Στη συνέχεια περιγράφεται μία τυπική εγκατάσταση ενός αεροστασίου καθώς και οι απαιτήσεις για την επιλογή ενός αεροσυμπιεστή. Καθοριστική επιλογή σε ένα σταθμό παραγωγής πεπιεσμένου αέρα είναι η επιλογή μεταξύ κεντρικής ή αποκεντρωμένης παραγωγής αυτού.

Στη βασική δομή της συγκεκριμένης εργασίας αποτελεί και η αναφορά των κατηγοριών συμπιεστών που περιγράφονται ακολούθως.

Τέλος θα ήταν βασική παράληψη αν δεν γινόταν αναφορά στη σημερινή εποχή καθώς ο πεπιεσμένος αέρας παράγεται από ανεμογεννήτριες. Επίσης παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με την μορφή πεπιεσμένου αέρα.

Οι συσκευές επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα τελικά αναφέρονται και περιγράφονται αναλυτικά οπότε κάποιος μπορεί να σχηματίσει μια πλήρη εικόνα της παραγωγής αυτού.

## Summary

The use of compressed air as a means for increased output in the productive process is very well established in the industry. The compressors can find itself in almost the all factories. The choice of compressor is one from the henceforth important decisions for customized a new factory or the extension of one already existing. In the present final work are presented initial the criteria that should be satisfied in a suitably drawn system of distribution of air. Thus are presented the basic choices for the air on wall or under the roof installation of network compressed as well as the basic dimension of these. With the previous report is described the basic notepad of appliances that helps in the final production of compressed air (in station of production).

Afterwards is described a formal installation air station as well as the requirements for the choice of compressor. Decisive choice in a station of production of compressed air is the choice between central or decentralised production of this.

In the basic structure of particular work constitutes also the report of categories of compressors that is described followingly. Finally we must report in the current season while the compressed air is produced by wind generators. Also is presented a completed system of storage of electric energy with the form of compressed air.

The appliances of treatment of compressed air are finally reported and they are described analytically therefore somebody it can it shapes a complete picture of production of this.

## **Πρόλογος**

Οι αεροσυμπιεστές αποτελούν μία από τις πλέον σημαντικές εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας, και είναι σημαντικοί παράγοντες για την εξοικονόμηση εργατοωρών και για την αύξηση της παραγωγής. Η επιλογή ενός αεροσυμπιεστή είναι μία από τις πλέον σημαντικές αποφάσεις για το στήσιμο ενός νέου εργοστασίου ή την επέκταση ενός ήδη υπάρχοντος. Ο αεροσυμπιεστής είναι συχνά μείζων εξοπλισμός κατανάλωσης ενέργειας και επομένως, η απόδοσή του έχει σημαντική επίδραση στο συνολικό λειτουργικό κόστος του εργοστασίου.

## **Ευχαριστίες**

**Σπυρίδων Μαρτζούκος**

## Εισαγωγή

Η χρήση του πεπιεσμένου αέρα σαν ένα μέσο για αυξημένη απόδοση στην παραγωγική διαδικασία είναι πολύ καλά καθιερωμένη στη βιομηχανία. Οι αεροσυμπιεστές μπορούν να βρεθούν σε σχεδόν όλα τα εργοστάσια.

Οι αεροσυμπιεστές αποτελούν μία από τις πλέον σημαντικές εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας - ευκολίας, για την εξοικονόμηση εργατωρών και για την αύξηση της παραγωγής.

Επομένως, η επιλογή ενός αεροσυμπιεστή δικαιούται προσεκτικής ανάλυσης. Είναι μία από τις πλέον σημαντικές αποφάσεις για το στήσιμο ενός νέου εργοστασίου ή την επέκταση ενός ήδη υπάρχοντος.

Ο αεροσυμπιεστής είναι συχνά μείζων εξοπλισμός κατανάλωσης ενέργειας και επομένως, η απόδοσή του έχει σημαντική επίδραση στο συνολικό λειτουργικό κόστος του εργοστασίου.

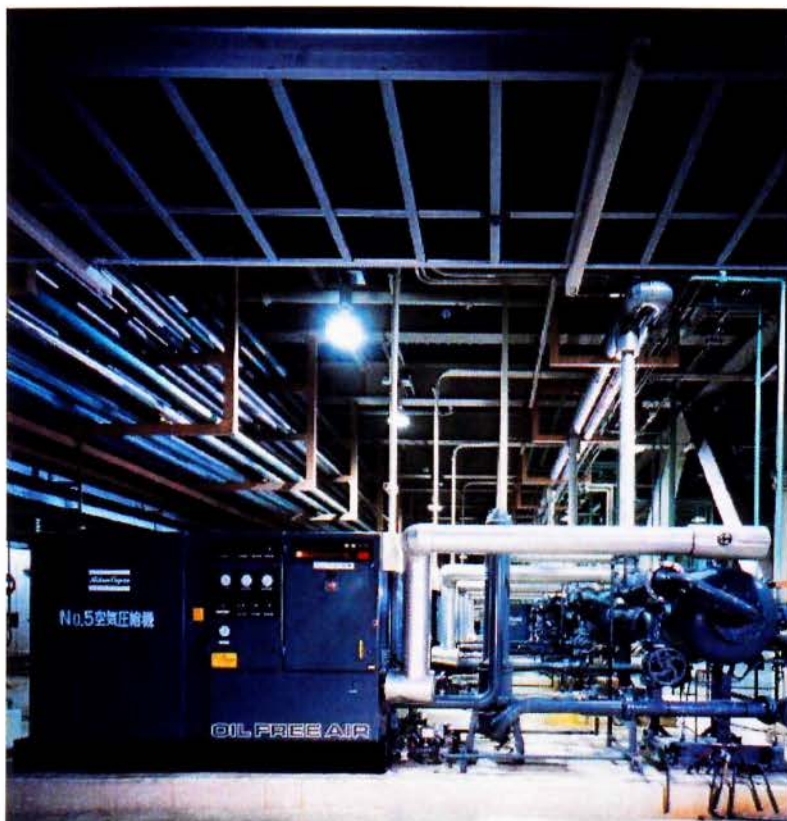


**Εικόνα 1:** Οργανωμένα συστήματα αεροσυμπιεστών

### Δίκτυα Διανομής του Πεπιεσμένου Αέρα

Ο σωστός σχεδιασμός, η εγκατάσταση και η συντήρηση του δικτύου διανομής του πεπιεσμένου αέρα είναι ουσιώδη εάν απαιτείται το σύστημα να είναι αποδοτικό, αξιόπιστο και οικονομικό. Οι μεταλλικοί σωλήνες, οι βάνες, οι ελαστικοί σωλήνες, οι συνδέσεις, κ.λ.π. πρέπει να είναι στις σωστές διαστάσεις και τύπο για να μειωθεί το κόστος ενέργειας στο ελάχιστο δυνατό και να εξασφαλίζει την παροχή πεπιεσμένου αέρα στην απαιτούμενη ποιότητα. Τα ακόλουθα κριτήρια πρέπει να ικανοποιηθούν σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα διανομής αέρα:

- Η σωστή πίεση αέρα στα σημεία κατανάλωσης
- Η ελάχιστη δυνατή διαρροή
- Επαρκής παροχή
- Σωστή ποιότητα αέρα
- Καλά σχεδιασμένη διαρρύθμιση και ευελιξία
- Αποδοτικά εξαρτήματα δικτύου αέρα
- Ασφάλεια με πλήρη συμμόρφωση στους τοπικούς κανονισμούς



Εικόνα 2: Οργανωμένες μονάδες παραγωγής πεπιεσμένου αέρα



Η σωστή επιλογή και εγκατάσταση ενός συγκροτήματος πεπιεσμένου αέρα εξοικονομεί σημαντική ενέργεια. Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και όχι μόνο, θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό των σωληνώσεων του πεπιεσμένου αέρα, καθώς επίσης στις σωληνώσεις του νερού και του ατμού. Το ίδιο ισχύει και για τα ηλεκτρικά καλώδια. Αυξημένοι λογαριασμοί ενέργειας, χαμηλή παραγωγικότητα και μειωμένη απόδοση στα αεροεργαλεία είναι το πιθανότερο αποτέλεσμα εάν το δίκτυο διανομής του αέρα είναι ανεπαρκές.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ακόλουθο:

- Μία πτώση πίεσης της τάξης του 1 bar, σημαίνει 7% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια στον αεροσυμπιεστή.

- Για κάθε 0,1 bar χαμηλότερη πίεση λειτουργίας στο αεροεργαλείο από την κανονική, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσής του κατά 2,5%.

Η πλέον κατάλληλη κατασκευή για ένα εσωτερικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα φυσικά διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση, καθώς εξαρτάται από τέτοιους παράγοντες όπως:

- Το μέγεθος του κτιρίου
- Τον αριθμό των ορόφων
- Την βασική δομή – κατασκευή του κτιρίου
- Ο αριθμός των σημείων κατανάλωσης αέρα και την θέση τους

Υπάρχουν δύο βασικά συστήματα για την εγκατάσταση εσωτερικού δικτύου διανομής αέρα:

1. Οι σωληνώσεις τοποθετούνται σε κανάλια στο δάπεδο, με τον απαιτούμενο αριθμό των διακλαδώσεων
2. Οι σωληνώσεις είναι αναρτημένες στους τοίχους ή στην οροφή του κτιρίου

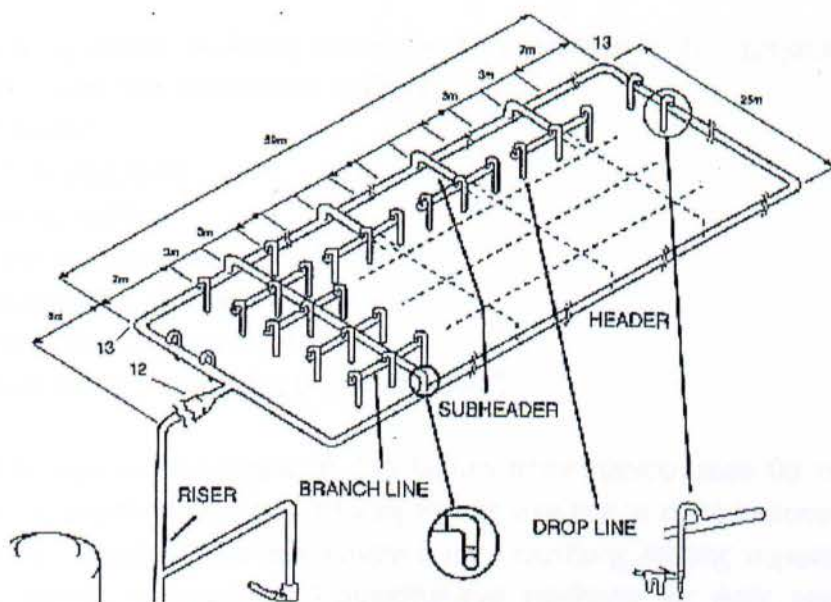
Στην πρώτη μέθοδο, η οποία ήταν δημοφιλής στο παρελθόν, η διαρρύθμιση της εγκατάστασης καθορίζεται από τα διαθέσιμα κανάλια τα οποία είναι κατασκευασμένα στο δάπεδο του κτιρίου. Επομένως η αλλαγή της διαρρύθμισης του δικτύου είναι δύσκολη έως αδύνατη να γίνει. Η εσωτερική συγκοινωνία και μεταφορά δεν παρεμποδίζεται την στιγμή που όλα τα κανάλια καλύπτονται από επιδαπέδια ελάσματα ή πλάκες. Οι τοίχοι είναι ελεύθεροι από σωληνώσεις, το οποίο είναι επιθυμητό σε ορισμένες περιπτώσεις.

Η δεύτερη μέθοδος, όπου οι σωληνώσεις αναρτώνται στους τοίχους ή την οροφή του κτιρίου, είναι η πλέον δημοφιλής σήμερα και διακρίνεται για την απλότητα, την ευελιξία, το χαμηλό κόστος κατασκευής, την εύκολη συντήρηση και την δυνατότητα τροποποίησης του δικτύου με λογικό κόστος. Οι σωληνώσεις θα πρέπει να εγκατασταθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμποδίζουν άλλες εγκαταστάσεις και άλλο βιομηχανικό εξοπλισμό. Το δίκτυο του αέρα θα πρέπει να είναι βαμμένο με κατάλληλο χρώμα για την προστασία του από την οξειδωση. Το χρώμα θα πρέπει να διαφοροποιεί

εμφανώς τις σωληνώσεις του αέρα από τις άλλες, για παράδειγμα το νερό και το αέριο. Η μόνωση των σωληνώσεων του πεπιεσμένου αέρα δεν είναι γενικά απαραίτητη. Υδατοπαγίδες με αυτόματη εκκένωση των συμπυκνωμάτων θα πρέπει να εγκατασταθούν στα χαμηλότερα σημεία.

Υπάρχουν δύο βασικές επιλογές για την εναέρια επί τοίχου ή κάτω από την οροφή εγκατάσταση ενός δικτύου πεπιεσμένου αέρα:

### Σύστημα κλειστού βρόχου



Εικόνα 3: Σύστημα κλειστού βρόγχου

Γενικά, καλύτερη λύση για την κατασκευή του δικτύου διανομής πεπιεσμένου αέρα είναι το σύστημα κλειστού βρόχου (Εικόνα 3) γύρω από την περιοχή όπου η κατανάλωση του αέρα λαμβάνει χώρα. Οι γραμμές των διακλαδώσεων τρέχουν από το κεντρικό δακτύλιο στα διάφορα σημεία της κατανάλωσης αέρα. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχει μία σημαντικά ομαλότερη παροχή πεπιεσμένου αέρα για περιπτώσεις μεγάλων και περιοδικών καταναλώσεων, επειδή ο αέρας οδηγείται στα σχετικά σημεία κατανάλωσης από δύο κατευθύνσεις. Αυτό το σύστημα θα πρέπει να χρησιμοποιείται για όλες τις εγκαταστάσεις, εκτός εάν υπάρχουν ξεχωριστά σημεία με υψηλή κατανάλωση αέρα σε σημαντική απόσταση από το αεροστάσιο. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να εγκατασταθεί ξεχωριστή κεντρική γραμμή για αυτά τα σημεία.

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- Πιο ισορροπημένη πίεση σε όλο το δίκτυο διανομής
- Χαμηλότερη πτώση πίεσης
- Δυνατότητα μικρότερης διαμέτρου στις σωληνώσεις κατά 25%.

- Ευελιξία και αυξημένη χρηστικότητα σε μελλοντικές επεκτάσεις ή προσθήκη νέων λήψεων αέρα

### Διαστασιολόγηση Δικτύων Διανομής Πεπιεσμένου Αέρα

Η ακόλουθη εξίσωση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης σε ένα δίκτυο πεπιεσμένου αέρα:

$$\Delta p = f \cdot (Q_v^{1,85} \cdot L) / (d^5 \cdot p)$$

Για υδραυλικούς λείους σωλήνες όπως αυτοί του εμπορίου που χρησιμοποιούνται για δίκτυα αέρα, η τιμή του συντελεστή τριβής είναι:

όπου  $f = 1.6 \times 10^{-8}$ ,

$\Delta p$  = πτώση πίεσης, (bar)

$f$  = συντελεστής τριβής

$Q_v$  = παροχή ελεύθερου αέρα ( $m^3/s$ )

$L$  = ισοδύναμο μήκος σωλήνα, (m)

$d$  = εσωτερική διάμετρος σωλήνα, (mm)

$p$  = επιθυμητή πίεση λειτουργίας (απόλυτη), [bar]

Οι διαστάσεις των σωληνώσεων σε ένα δίκτυο πεπιεσμένου αέρα θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε η μέγιστη επιτρεπτή πτώση πίεσης στο πλέον απομακρυσμένο σημείο να μην υπερβαίνει, σύμφωνα με τους κανόνες της επιστήμης και της τεχνικής το 1,5% της επιθυμητής πίεσης λειτουργίας. Η συνιστώμενη ταχύτητα της ροής του πεπιεσμένου αέρα θα πρέπει να είναι μεταξύ 6 και 10 m/s για να αποφευχθεί η υπερβολική πτώση πίεσης στις γραμμές του αέρα. Η σημασία της σωστής διαστασιολόγησης του δικτύου αέρα γίνεται περισσότερο από εμφανής στο επόμενο παράδειγμα.

Παράδειγμα Απώλειας Ενέργειας και αντίστοιχου Κόστους όταν εγκατασταθεί μικρής διαμέτρου σωλήνας πεπιεσμένου αέρα:

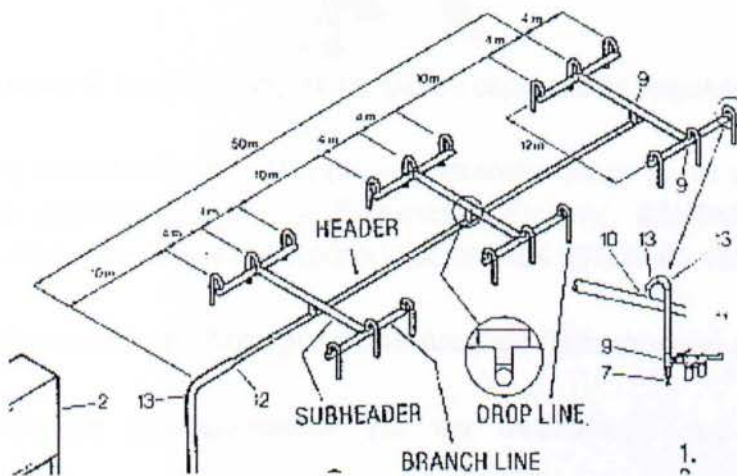
Μέγεθος Αεροσυμπιεστή = +/-250 l/s (15 m<sup>3</sup>/min), 7 bar, 100 kW, 8000 hr/yr

Μήκος Σωλήνα Πεπιεσμένου Αέρα = 100 m

Διάμετρος Σωλήνα [mm]	Πτώση Πίεσης [bar]	Απώλεια Ισχύος [kW]	Κόστος ανά Έτος (2006) [Ευρώ, €]
40	1,6	35	5500
50	0,55	12	2000
65	0,1	2,5	335
75	0,05	1,2	165

Πίνακας 1: Παράδειγμα Απώλειας Ενέργειας και αντίστοιχου Κόστους συστήματος κλειστού βρόγχου

## 2. Κλασικό σύστημα μονής κεντρικής γραμμής



Εικόνα 4: Κλασικό σύστημα κεντρικής γραμμής

### Αεροφυλάκιο Δικτύου Πεπιεσμένου Αέρα

Ο κύριος σκοπός του αεροφυλακίου είναι η αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα. Επίσης, αυτό ενεργεί και σαν συμπληρωματικός διαχωριστής νερού. Επιπλέον, το αεροφυλάκιο διασφαλίζει την σταθερή παροχή αέρα προς τα μηχανήματα που τον χρειάζονται για την λειτουργία τους και εξισορροπεί στιγμιαία τις διακυμάνσεις της πίεσης στο δίκτυο αέρα οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν συχνή φόρτωση / εκφόρτωση του αεροσυμπιεστή.



**Εικόνα 5:** Αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα στο αεροφυλάκιο

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και ο έλεγχος των αεροφυλακίων με τα εξαρτήματά τους ρυθμίζονται από σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, **87/404/EC και 97/23/EC**, που έχουν γίνει νόμος του Ελληνικού Κράτους με το **ΦΕΚ 987/27.05.1999**.

### **Διαστασιολόγηση Αεροφυλακίου Δικτύου Πεπιεσμένου Αέρα**

Η ακόλουθη εξίσωση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του όγκου  $V$  του αεροφυλακίου:

$$V = (0,25 * Q_c * P_1 * T_0) / (f_{max} * \Delta p * T_1)$$

όπου,

$Q_c$  = παροχή ελεύθερου αέρα, (l/s)

$P_1$  = απόλυτη πίεση εισόδου στον αεροσυμπιεστή, [bar]

$T_1$  = θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του αεροσυμπιεστή, (K)

$T_0$  = θερμοκρασία αέρα στο αεροφυλάκιο, (K)

$\Delta p$  = διαφορικό πίεσης =  $P_{εκφόρτωσης} - P_{φόρτωσης}$   $f_{max}$  = κύκλος συχνότητας = 1 cycle/30 sec

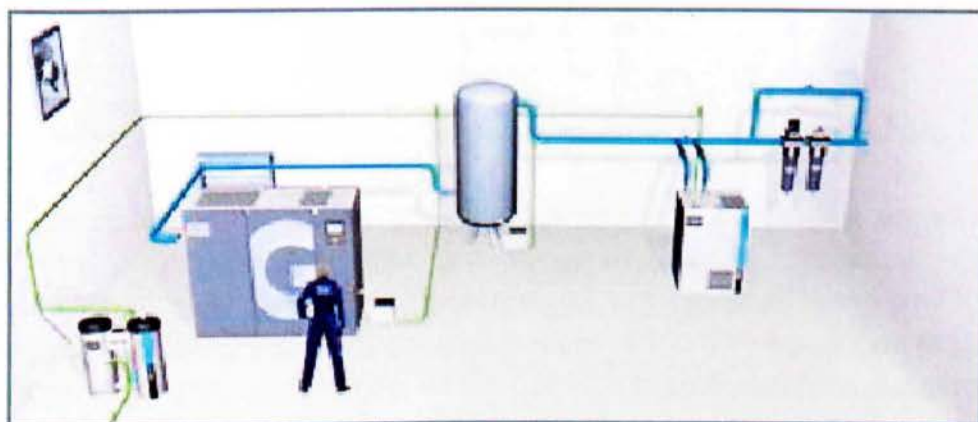
## Θέση Εγκατάστασης του Αεροφυλακίου

Οι περισσότεροι αεροσυμπιεστές περιλαμβάνουν εσωτερικά του μηχανήματος μεταψύκτη και υδατοπαγίδα. Μία καλή υδατοπαγίδα έχει απόδοση της τάξης του 80 - 90%. Το υπόλοιπο συμπύκνωμα ρέει, σαν αραιά ομίχλη, μαζί με τον πεπιεσμένο αέρα μέσα στον σωλήνα εξόδου. Καθώς το αεροφυλάκιο μπορεί να ενεργήσει σαν ένας συμπληρωματικός διαχωριστής αέρα - νερού, θα πρέπει να εγκατασταθεί όσο πιο κοντά γίνεται στους αεροσυμπιεστές και στο πιο κρύο χώρο (π.χ. εξωτερικά). Στο αεροφυλάκιο η ταχύτητα του αέρα θα μειωθεί και το περισσότερο από το υπόλοιπο του συμπυκνώματος θα τρέξει κάτω στον πυθμένα του δοχείου, ο οποίος θα πρέπει να είναι συνδεδεμένος με μία αυτόματη και χειροκίνητη βαλβίδα εκκένωσης των συμπυκνωμάτων.

## Πρόταση Εγκατάστασης του Εξωτερικού Ξηραντή

Οι εξωτερικοί ξηραντές πεπιεσμένου αέρα είναι προτιμότερο να εγκατασταθούν μετά το αεροφυλάκιο. Αυτός ο τρόπος εγκατάστασης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Λιγότερο φορτίο νερού στον ξηραντή
- Χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του ξηραντή
- Σταθερή ροή αέρα δια μέσου του ξηραντή
- Εμποδίζει την σημαντική και σταδιακή πτώση της ποιότητας του προσροφητικού υλικού στους χημικού τύπου ξηραντές.

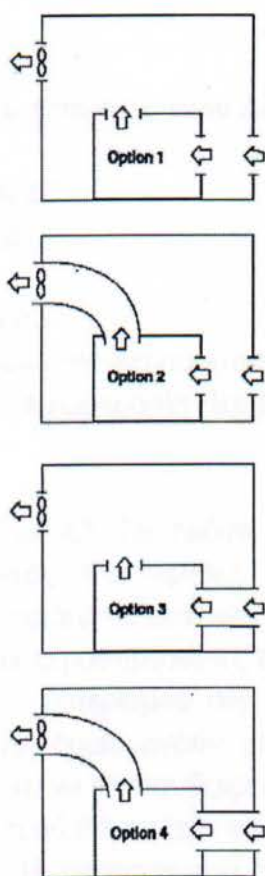


Εικόνα 6: Πρόταση εγκατάστασης δικτύου πεπιεσμένου αέρα

## Εξαίρεσιμος Χώρου Εγκατάστασης Αεροσυμπιεστών

Η συνολική ποσότητα της ενέργειας που παρέχεται στον αεροσυμπιεστή υπό την μορφή ηλεκτρικής παροχής, μετατρέπεται σχεδόν πλήρως σε θερμότητα κατά την διάρκεια της συμπίεσης. Στην περίπτωση ενός υδρόψυκτου αεροσυμπιεστή, η περισσότερη ποσότητα αυτής της θερμότητας εξέρχεται από το αεροστάσιο διά μέσου

του νερού ψύξης. Ο αέρας εξαερισμού για τους υδρόψυκτους αεροσυμπιεστές περιέχει περίπου 10% της ενέργειας που καταναλώθηκε από τον ηλεκτρικό κινητήρα.



**Εικόνα 7:** Τρόποι εξαερισμού χώρου εγκατάστασης πεπιεσμένου αέρα

Για τους αερόψυκτους αεροσυμπιεστές, σχεδόν όλη η ποσότητα της θερμότητας θα διασκορπιστεί στο αεροστάσιο εάν δεν υπάρχουν αγωγοί εξαερισμού. Ο αέρας εξαερισμού για τους αερόψυκτους αεροσυμπιεστές περιέχει πολύ κοντά στο 100% της ενέργειας που καταναλώθηκε από τον ηλεκτρικό κινητήρα υπό την μορφή θερμότητας. Η θερμότητα πρέπει να αφαιρεθεί για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του αεροστασίου σε αποδεκτά επίπεδα.

Η απαίτηση σε παροχή αέρα εξαερισμού για ένα αεροστάσιο εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- Τύπος του αεροσυμπιεστή (αερόψυκτος ή υδρόψυκτος)
- Εγκατάσταση αεραγωγών (αεραγωγοί στην είσοδο και στην έξοδο)
- Θέρμανση του αεροστασίου

### Υπολογισμός του Απαιτούμενου Αέρα Εξαερισμού

Αερόψυκτες μονάδες:  $Q_v = 1.05 * N/\Delta T$

Υδρόψυκτες μονάδες:  $Q_v = 0.1 * N/\Delta T$

όπου,

$Q_v$  = Απαιτούμενος Εξαερισμός ( $m^3/s$ )

$N$  = Απορροφημένη Ισχύς στον Άξονα του Αεροσυμπιεστή (kW)

$\Delta T$  = Θερμοκρασία Αεροστασίου – Θερμοκρασία Περιβάλλοντος

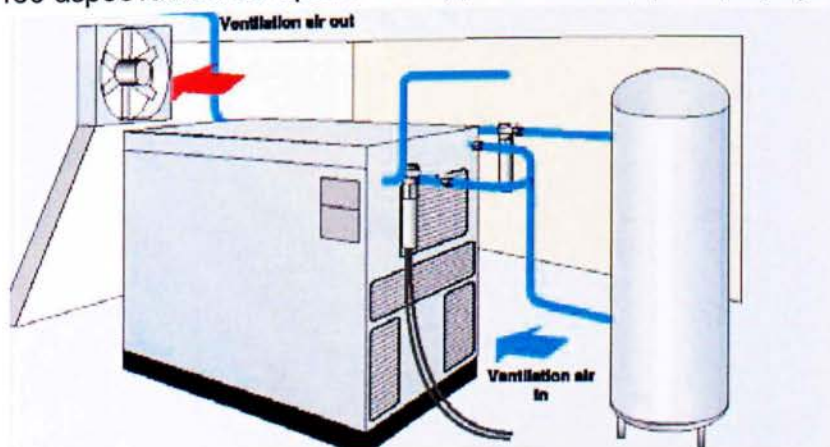
#### Παρατηρήσεις:

• Η θέρμανση του αεροστασίου,  $\Delta T$ , θα πρέπει να περιορίζεται σύμφωνα με την μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, η άνοδος της θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) θα πρέπει να κρατηθεί στους  $5^\circ C$ .

• Όταν περισσότεροι από έναν αεροσυμπιεστές είναι εγκατεστημένοι, συνιστάται η εγκατάσταση μερικών ανεμιστήρων εξαερισμού αντί ενός μεγάλου. Η θέση τους θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να δημιουργούν μία ροή κατά μήκος του κάθε αεροσυμπιεστή. Ο έλεγχος θα πρέπει να γίνεται θερμοστατικά.

• Η είσοδος του αέρα εξαερισμού θα πρέπει να είναι 3 m από το δάπεδο και να διαθέτει προστατευτικές εσχάρες. Η ταχύτητα του αέρα εξαερισμού διά μέσου των διακένων των εσχάρων δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα  $2.5 m/sec$ . Το ίδιο ισχύει εάν έχουν εγκατασταθεί και φίλτρα πλαισίου.

• Στους υπολογισμούς για την ποσότητα του αέρα διά μέσου των ανοιγμάτων εξαερισμού του αεροστασίου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο αέρας εξαερισμού.



Εικόνα 8: Παρουσίαση ενός μικρού συμπιεστή



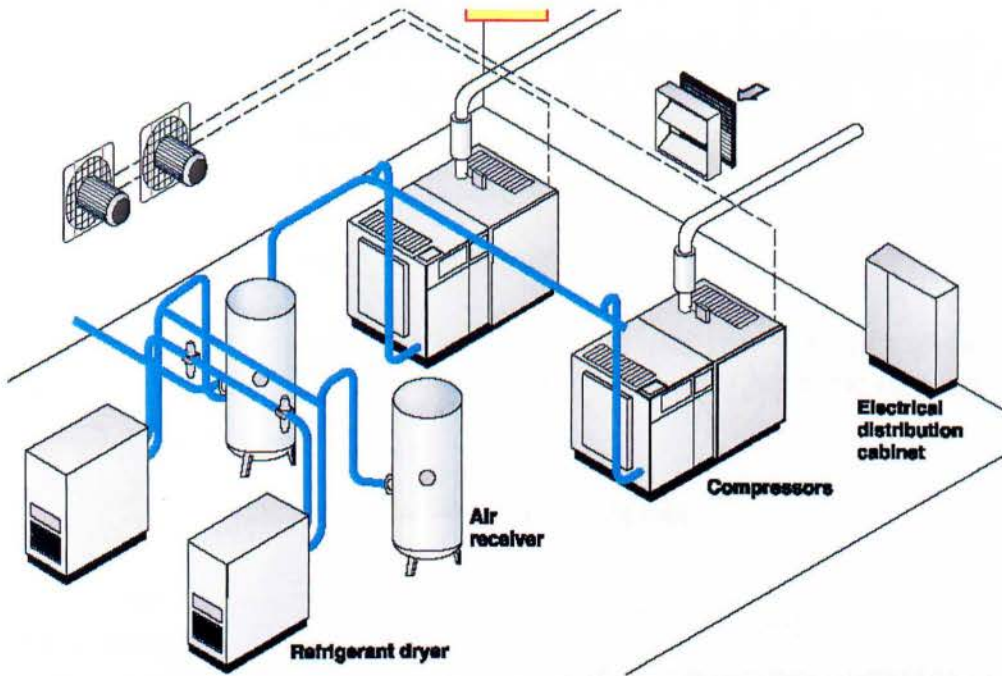
### Σημαντικές Παρατηρήσεις:

- Η άνοδος της θερμοκρασίας στο αεροστάσιο επηρεάζει αρνητικά την παροχή του αεροσυμπιεστή. Για κάθε  $10^{\circ}\text{C}$  αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος του χώρου, η μείωση της ροής της μάζας του πεπιεσμένου αέρα είναι της τάξης του 3%.

- Η υψηλή θερμοκρασία στο χώρο εγκατάστασης των αεροσυμπιεστών μπορεί να δημιουργήσει υπερθέρμανση του αεροσυμπιεστή, υπερθέρμανση του ηλεκτρικού κινητήρα και λειτουργικά προβλήματα.

- Η ποιότητα του νερού ψύξης για τις υδρόψυκτες μονάδες έχει εξαιρετική σημασία. Η κακή ποιότητα του νερού ψύξης μπορεί να δημιουργήσει πολλά προβλήματα, όπως π.χ. οξείδωση, διάβρωση και οργανικές συνθέσεις υλικών (άλατα και πουρί).

## Τυπική Εγκατάσταση Ενός Αεροστασίου



Εικόνα 9: Σχηματική εγκατάσταση αεροστασίου



Εικόνα 10: Εγκατάσταση αεροστασίου στην πραγματικότητα

## Συνοπτικά

Το συνολικό κόστος μίας εγκατάστασης εξαρτάται:

- Σωστή επιλογή του αεροσυμπιεστή (τύπος, απόδοση, παροχή και πίεση)
- Καλή ποιότητα του αέρα: ξηρός και καθαρός
- Επαγγελματική εγκατάσταση
- Σωληνώσεις πεπιεσμένου αέρα
- Εξαερισμός του αεροστασίου
- Ποιότητα του νερού ψύξης (όπου υπάρχει ανάγκη)

Είναι περισσότερο από εμφανές ότι ο πεπιεσμένος αέρας σαν «Πηγή Ενέργειας» είναι ανάγκη να λειτουργεί αποδοτικά. Αλλά δεν θα πρέπει να αγνοείται ο πιο απογοητευτικός παράγοντας η Διαρροή του Αέρα.

## Παράγοντας της Διαρροής

- 1% -άριστα
- 4% -αποδεκτό
- Συστήματα αέρα ακόμα και με 70% διαρροή των συνολικών απαιτήσεων έχουν μετρηθεί
- 30% διαρροή δεν είναι ασύνηθες γεγονός σε παλαιές εγκαταστάσεις

## Συμπέρασμα

Η σωστή επιλογή και η μελετημένη εγκατάσταση ενός συγκροτήματος πεπιεσμένου αέρα μπορεί αποδεδειγμένα να μειώσει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σημαντικά και να σταθεροποιήσει την λειτουργία του συστήματος πεπιεσμένου αέρα του χρήστη.

## Συμπληρωματικά

- Η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας δεν προσφέρει μόνο οικονομικά πλεονεκτήματα, αλλά έχει επίσης και θετικό αποτέλεσμα στο περιβάλλον.
- Λιγότερη ενέργεια σημαίνει λιγότερη μόλυνση στο φυσικό περιβάλλον.

## Επιλογή Αεροσυμπιεστή

Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του τύπου του αεροσυμπιεστή και του τύπου της εγκατάστασης είναι:

- Η προοριζόμενη χρήση και επομένως οι απαιτήσεις για πίεση λειτουργίας, καθαρότητα - ποιότητα, αέρα μη – λιπαινόμενο.
- Πόσα και πως είναι κατανομημένα τα σημεία χρήσης.
- Η μέγιστη και η ελάχιστη απαίτηση σε αέρα, οι εποχιακές διαφοροποιήσεις, οι προβλεπόμενες μελλοντικές επεκτάσεις.
- Οι συνθήκες περιβάλλοντος. Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι ακραίες θερμοκρασίες, ο μολυσμένος αέρας, τα μεγάλα υψόμετρα.
- Το είδος του κτιρίου στο οποίο θα εγκατασταθεί ο αεροσυμπιεστής. Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι περιορισμοί σε χώρους, το αποδεκτό φορτίο για το δάπεδο, οι περιορισμοί σε κραδασμούς, κ.λ.π.
- Διαθεσιμότητα και κόστος του νερού ψύξης, ανάγκη για επεξεργασία του νερού, ανακυκλοφορία.
- Ποιο είναι το κόστος ενέργειας;
- Μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της πιθανής ανάκτησης ενέργειας;
- Υπάρχουν όρια στην διαθέσιμη ισχύ;
- Υπάρχουν όρια στον εκπεμπόμενο θόρυβο;
- Είναι η ανάγκη για αέρα συνεχής ή περιοδικής παροχής;
- Είναι το κόστος της διακοπής λειτουργίας παραδεκτό;
- Υπάρχει διαθεσιμότητα έμπειρων χειριστών και προσωπικού συντήρησης



**Εικόνα 11:** Συγκροτημένη μονάδα παραγωγής πεπιεσμένου αέρα  
**Εγκατεστημένη Παροχή Αέρα**

Η απαιτούμενη παροχή αέρα είναι φυσικά πρωταρχικής σημασίας. Μία μελέτη του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί αέρα σε ένα τυπικό εργοστάσιο θα δείξει ότι αρκετός εξοπλισμός λειτουργεί σχεδόν συνεχώς, ενώ υπάρχουν και μηχανήματα που λειτουργούν σπάνια αλλά μπορεί να απαιτούν σχετικά μεγάλη παροχή αέρα όταν είναι σε χρήση.

Οι συνολικές απαιτήσεις σε αέρα δεν θα πρέπει επομένως να είναι το άθροισμα των ξεχωριστών μέγιστων απαιτήσεων, αλλά το σύνολο των μέσων όρων των καταναλώσεων κάθε μηχανήματος.

Ο καθορισμός της μέσης κατανάλωσης αέρα διευκολύνεται από τη χρήση του Συντελεστή Φορτίου. Ο συντελεστής φορτίου είναι ο λόγος της πραγματικής κατανάλωσης αέρα σε σχέση με την μέγιστη συνεχή κατανάλωση σε πλήρες φορτίο. Στον όρο Συντελεστής Φορτίου εμπλέκονται δύο παράγοντες:

- Ο πρώτος παράγοντας είναι ο Συντελεστής Χρόνου ο οποίος είναι το ποσοστό του συνολικού χρόνου λειτουργίας κατά την διάρκεια του οποίου το μηχάνημα είναι πραγματικά σε χρήση.

- Ο δεύτερος παράγοντας είναι ο Συντελεστής Έργου ο οποίος είναι το ποσοστό του αέρα που χρειάζεται για τη μέγιστη δυνατή απόδοση του έργου ανά λεπτό που απαιτείται σε σχέση με αυτό που πραγματικά εκτελείται από το μηχάνημα. Ο Συντελεστής Φορτίου είναι το γινόμενο του Συντελεστή Χρόνου επί του Συντελεστή Έργου.

### **Συμπληρωματικοί Παράγοντες**

Αν και οι διαρροές είναι κοστολογικά ασύμφωρες και θα πρέπει, φυσικά, να κρατηθούν στο ελάχιστο, είναι σύνηθες να προστίθεται περίπου 10% στην προϋπολογιζόμενη κατανάλωση αέρα για πιθανές διαρροές όταν υπολογίζεται η συνολική απαίτηση. Οι σωληνώσεις του αέρα μπορούν να κρατηθούν στεγανές, αλλά επειδή ο μελετητής σπάνια έχει τον έλεγχο της συντήρησης, συνιστάται να αφήνεται αυτό το λογικό περιθώριο. Πριν τελικά επιλεγεί το μέγεθος του αεροσυμπιεστή θα πρέπει προσεκτικά να ληφθεί σοβαρά υπόψη ότι από την στιγμή που θα υπάρχει πεπιεσμένος αέρας διαθέσιμος για χρήση, η πολύπλευρη χρήση του θα οδηγήσει σε πολλές ακόμα χρήσεις και εφαρμογές που δεν είχαν αρχικά υπολογιστεί. Η γενική επέκταση της παραγωγικής διαδικασίας του εργοστασίου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη επίσης.

## Επιλογή μεταξύ Κεντρικής ή Αποκεντρωμένης Εγκατάσταση Σταθμών Παραγωγής Πεπιεσμένου Αέρα

Τα πλεονεκτήματα ενός κεντρικού αεροσταθμού είναι:

- Χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης
- Χαμηλότερο κόστος ενέργειας
- Χαμηλότερο κόστος συντήρησης



Εικόνα 12: Κεντρικός αεροσταθμός

Τα πλεονεκτήματα ενός αποκεντρωμένου αεροσταθμού είναι:

- Μικρότερο δίκτυο πεπιεσμένου αέρα και εκφύσης λιγότερες διαρροές και μικρότερη πτώση πίεσης
- Τα ξεχωριστά δίκτυα πεπιεσμένου αέρα μπορούν να λειτουργούν σε διαφορετικές πιέσεις
- Ευελιξία σε περίπτωση πιθανής βλάβης



**Εικόνα 13:** Αποκεντρωμένος αεροσταθμός

Συμπέρασμα: Ένας αποκεντρωμένος αεροσταθμός μπορεί να εγκατασταθεί όταν ο πεπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται για ειδικές εφαρμογές όπως,

- Διαφορετικές πιέσεις λειτουργίας
- Όταν απαιτείται θερμός αέρας για παράδειγμα, πνευματική λειτουργία εργαλείων σφυρήλασης
- Αέρας φουσητήρα για ηλεκτρικούς διακόπτες υψηλής τάσης
- Πνευματική μεταφορά υλικών

Στις περισσότερες άλλες περιπτώσεις, ένας κεντρικός αεροσταθμός είναι προτιμότερος.

### **Επιλογή μεταξύ ενός μεγάλου ή πολλών μικρών αεροσυμπιεστών**

Αρχίζοντας από το βασικό δεδομένο ότι το 100% των απαιτήσεων σε πεπιεσμένο αέρα πρέπει να καλυφθούν, τα ακόλουθα σημεία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν γίνεται η επιλογή μεταξύ της εγκατάστασης ενός αεροσυμπιεστή για κάλυψη 100% της παροχής ή π.χ. δύο αεροσυμπιεστών με δυνατότητα παροχής 50% ο καθένας της συνολικής που απαιτείται από την παραγωγική διαδικασία:

- Το κόστος της πιθανής διακοπής της παραγωγής
- Τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παροχής ισχύος
- Τον κύκλο φόρτωσης των αεροσυμπιεστών
- Το κόστος επέκτασης του συστήματος διανομής του αέρα
- Το διαθέσιμο χώρο για την εγκατάσταση των αεροσυμπιεστών

Σε πολλές περιπτώσεις, ο ένας από τους δύο αεροσυμπιεστές με δυνατότητα παροχής 50% μπορεί να παρέχει αρκετό απόθεμα σε αέρα έτσι ώστε μέρος της παραγωγικής

διαδικασίας να συνεχίσει απρόσκοπτα σε περίπτωση μίας απρόβλεπτης διακοπής ενός από τους δύο αεροσυμπιεστές. Εάν η συνέχεια της παραγωγής είναι ζωτική, τότε τρεις αεροσυμπιεστές με δυνατότητα παροχής 50% ο καθένας πρέπει να εγκατασταθούν: δύο για την κάλυψη της απαιτούμενης κατανάλωσης και ένας εφεδρικός. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις, οι δύο αεροσυμπιεστές θα είναι σχεδόν πάντοτε πλήρως φορτωμένοι, ενώ ο εφεδρικός θα είναι εκτός λειτουργίας και σε αναμονή. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι οι δύο μονάδες θα λειτουργούν με υψηλή απόδοση, καθώς η απόδοση ενός αεροσυμπιεστή αυξάνει στον ανώτατο βαθμό όταν λειτουργεί σε πλήρες φορτίο.

Συμπληρωματικά, με τρεις αεροσυμπιεστές δυνατότητας παροχής 50% ο καθένας, ο τρίτος αεροσυμπιεστής είναι διαθέσιμος για να καλύπτει τις αιχμές των καταναλώσεων και επιτρέπει τις προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης χωρίς απώλεια παραγωγής.

Η χρήση μερικών αεροσυμπιεστών με σύστημα επιλογής σειράς λειτουργίας είναι μία δυναμική λύση για το δίλημμα της χαμηλής απόδοσης ενός υπερμεγέθους αεροσυμπιεστή και της αδυναμίας κάλυψης των αιχμών καταναλώσεων με αποτέλεσμα την μειωμένη

παραγωγή.

Στην περίπτωση εγκατάστασης ενός μόνο μεγάλου αεροσυμπιεστή, ένας μικρότερος αεροσυμπιεστής με περίπου 10% ικανότητα σε παροχή μπορεί πολλές φορές να εγκατασταθεί για να καλύπτει τις μικρές απαιτήσεις πεπιεσμένου αέρα κατά τη διάρκεια των βραδινών βαρδιών και των Σαββατοκύριακων. Άλλο σημείο το οποίο μπορεί να ληφθεί υπόψη όταν εγκαθίστανται ένας μεγάλος αεροσυμπιεστής, είναι η πιθανότητα ότι μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την κύρια παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με την πολλή μεγάλη εισροή ρευμάτων.



## Κατηγορίες - Συσκευές

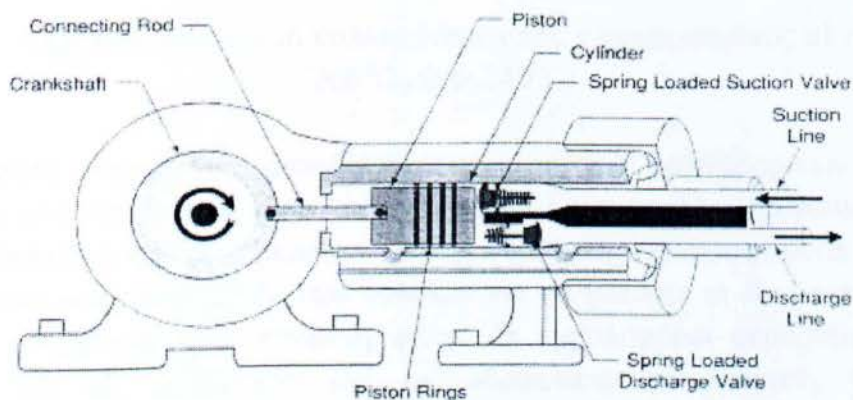
Οι δύο βασικοί τύποι είναι συμπιεστών δύο: θετικής μετατόπισης και τύπου «Δυναμικής». Στους συμπιεστές τύπου θετικής μετατόπισης, μια συγκεκριμένη ποσότητα αέρα ή αέριο παγιδεύεται σε ένα θάλαμο συμπίεσης και ο όγκος που καταλαμβάνει μειώνεται μηχανικά, προκαλώντας αντίστοιχη αύξηση της πίεσης πριν από την εκκένωση. Με την ταχύτητα να παραμένει σταθερή, η ροή του αέρα παραμένει επίσης σταθερή απαλλαγμένη από τις διακυμάνσεις της πίεσης. Οι συμπιεστές τύπου «Δυναμικής» μεταφέρουν την ενέργεια αναγκάζοντας τον αέρα να ρέει συνεχώς αέρα μέσω των στροφείων που περιστρέφονται με πολύ υψηλές ταχύτητες. Η ενέργεια της ταχύτητας (velocity energy) μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσης (pressure energy) τόσο από τους έλικες όσο και από τους έλικες εκφόρτωσης (ή τους διαχύτες). Στους φυγόκεντρους συμπιεστές τύπου «Δυναμικής», το σχήμα των πτερυγίων του στροφείου καθορίζει τη σχέση μεταξύ της ροής αέρα και της πίεσης που δημιουργείται.

### Συμπιεστές θετικής μετατόπισης

Οι συμπιεστές αυτοί είναι διαθέσιμοι σε δύο τύπους: παλινδρομικούς και περιστροφικούς.

#### Παλινδρομικοί συμπιεστές

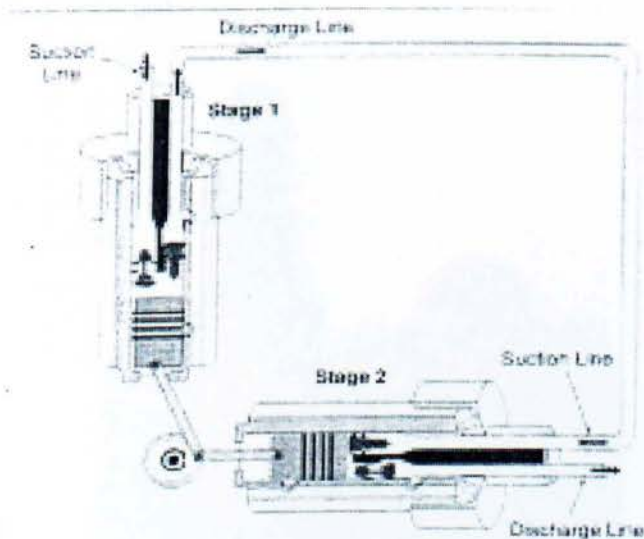
Στη βιομηχανία, ο παλινδρομικός συμπιεστής είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος για τη συμπίεση του αέρα και την ψύξη του μέσου (Εικόνα 14). Αυτοί οι συμπιεστές δουλεύουν πάνω στην αρχή της τρόμπας (αντλίας) ενός ποδηλάτου και χαρακτηρίζονται από μια έξοδο της ροής που παραμένει σχεδόν σταθερή σε ένα εύρος των πιέσεων εκτόνωσης. Επίσης, η απόδοση του συμπιεστή είναι ανάλογη προς την ταχύτητα.



**Εικόνα 14:** Μια κατά μήκος τομή ενός συμπιεστή

Οι παλινδρομικοί συμπιεστές είναι διαθέσιμοι σε πολλές παραλλαγές. Οι τέσσερις πιο διαδεδομένες παραλλαγές είναι οριζόντια, κάθετη, οριζόντιας αντιροής και παράλληλης

αντιροής. Η κάθετου τύπου παλινδρομικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται στο φάσμα ισχύος από 50 έως 150 cfm. Οι συμπιεστές οριζόντιας αντιροής χρησιμοποιούνται στο φάσμα ισχύος από 200 - 5000 cfm (σε απλούς σχεδιασμούς). Σε πολλαπλούς σχεδιασμούς το φάσμα ισχύος φτάνει μέχρι 10.000 cfm. Η συμπιεστή αέρα θεωρείται μονής ενεργείας όταν η συμπίεση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μόνο μία πλευρά του εμβόλου. Ένας συμπιεστής που χρησιμοποιεί και τις δύο πλευρές του εμβόλου θεωρείται διπλής ενέργειας. Ένας συμπιεστής θεωρείται ενός ενιαίου σταδίου, όταν ολόκληρη η συμπίεση επιτυγχάνεται με ένα μονοκύλινδρο ή με τη βοήθεια μιας ομάδας παράλληλων κυλίνδρων. Πολλές εφαρμογές αφορούν συνθήκες πέρα από την ικανότητα του ενός σταδίου συμπίεσης. Η μεγάλη αναλογία συμπίεσης (σε απόλυτη πίεση εκτόνωσης προς απόλυτη πίεση εισαγωγής) μπορεί να προκαλέσει υπερβολική θερμοκρασία εξόδου ή άλλα προβλήματα σχεδιασμού. Οι μηχανές δύο σταδίων χρησιμοποιούνται για υψηλή πίεση και χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη θερμοκρασία εξόδου (140°C μέχρι 160°C) συγκρινόμενες με της απλής ενέργειας.



**Εικόνα 15:** Τομή ενός συμπιεστή πολλαπλών σταδίων εφαρμοσμένος σε απλή μηχανή (205°C μέχρι 240°C)

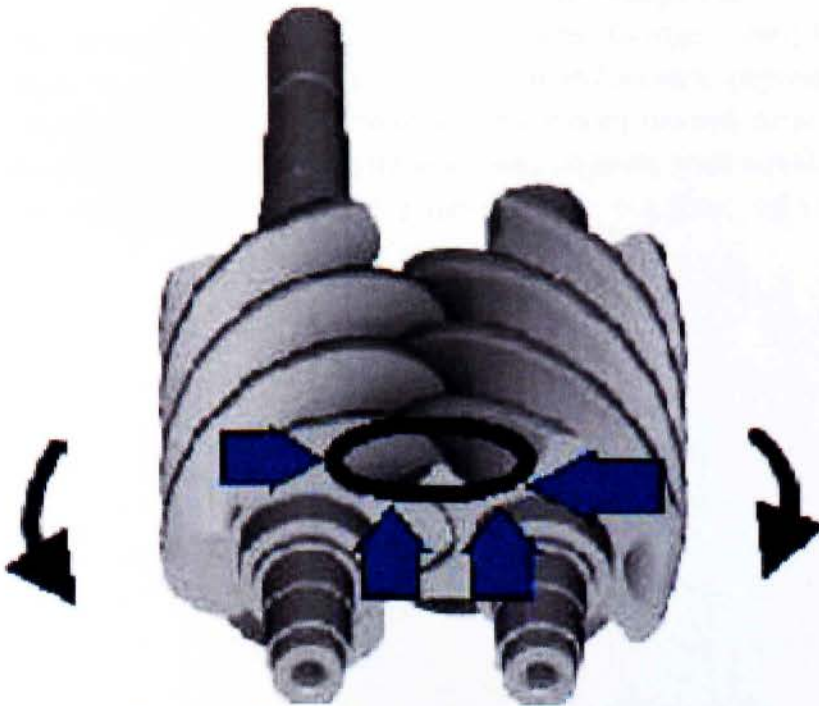
Για πρακτικούς λόγους οι περισσότερες εγκαταστάσεις παλινδρομικών συμπιεστών αέρα πάνω από 100 ίππους είναι κατασκευασμένες ως μονάδες πολλαπλών σταδίων κατά την οποία δύο ή περισσότερα στάδια της συμπίεσης ομαδοποιούνται σε σειρές. Ο αέρας ψύχεται κανονικά μεταξύ των σταδίων για να μειώσει τη θερμοκρασία και τον όγκο που εισέρχονται στην επόμενη φάση. Οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές είναι διαθέσιμοι είτε ως αερόψυκτοι είτε ως υδρόψυκτοι με λίπανση. Οι εν λόγω αεροσυμπιεστές μπορούν να παρέχουν ένα ευρύ φάσμα επιλογών πίεσης και χωρητικότητας.

## Περιστροφικοί συμπιεστές

Οι περιστροφικοί συμπιεστές έχουν ρότορες στη θέση των εμβόλων και δίνουν μία συνεχή ελεύθερη παλμική εκροή. Λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες και παρέχουν εν γένει υψηλότερη απόδοση από ότι οι παλινδρομικοί συμπιεστές. Το κόστος κεφαλαίου τους είναι χαμηλό, είναι συμπαγείς στο μέγεθος, έχουν χαμηλό βάρος, και είναι εύκολο να συντηρηθούν. Για αυτό το λόγο έχουν κερδίσει τη δημοτικότητα στη βιομηχανία. Πιο συχνά χρησιμοποιείται σε μεγέθη από περίπου 30 έως 200 hp ή 22 έως 150 kW.

Οι τύποι των περιστροφικών συμπιεστών περιλαμβάνουν:

- Τους συμπιεστές λοβού (φουσητήρα)
- Τους συμπιεστές Βίδας (περιστροφικής βίδας του ελικοειδούς λοβού, όπου τα αρσενικά και τα θηλυκά σπειρώματα που διακινούν την βίδα έχουν αντίθετες κατευθύνσεις και τον παγιδευμένο αέρα, ο οποίος συμπιέζεται καθώς κινείται προς τα εμπρός, βλέπε ακόλουθο σχήμα) περιστρεφόμενα ελικοειδή πτερύγια / συρόμενα, με δακτύλιο υγρού και τύπου κύλισης.



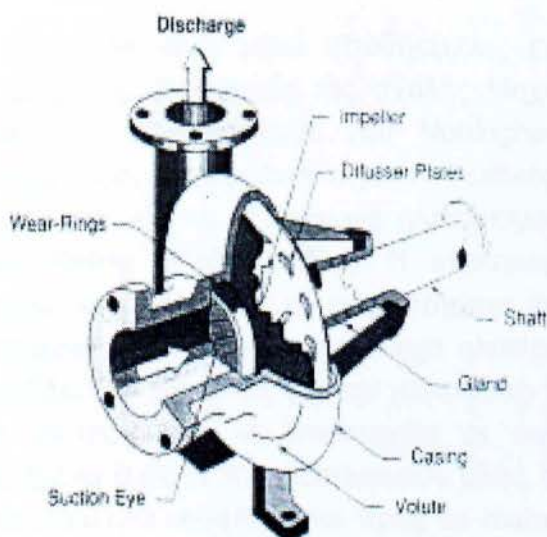
**Εικόνα 16:** Προβολή του συμπιεστή screw

Οι κοχλιοφόροι αεροσυμπιεστές μπορεί να είναι αερόψυκτοι ή υδρόψυκτοι. Δεδομένου ότι η ψύξη γίνεται ακριβώς μέσα στο συμπιεστή, τα λειτουργικά μέρη δεν βιώνουν ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας. Ο περιστροφικός συμπιεστής, ως εκ τούτου, είναι συνεχούς λειτουργίας, αερόψυκτος ή υδρόψυκτος αεροσυμπιεστής. Λόγω του απλού σχεδιασμού μερικά από τα μέρη που τον αποτελούν και οι περιστρεφόμενες βίδες των

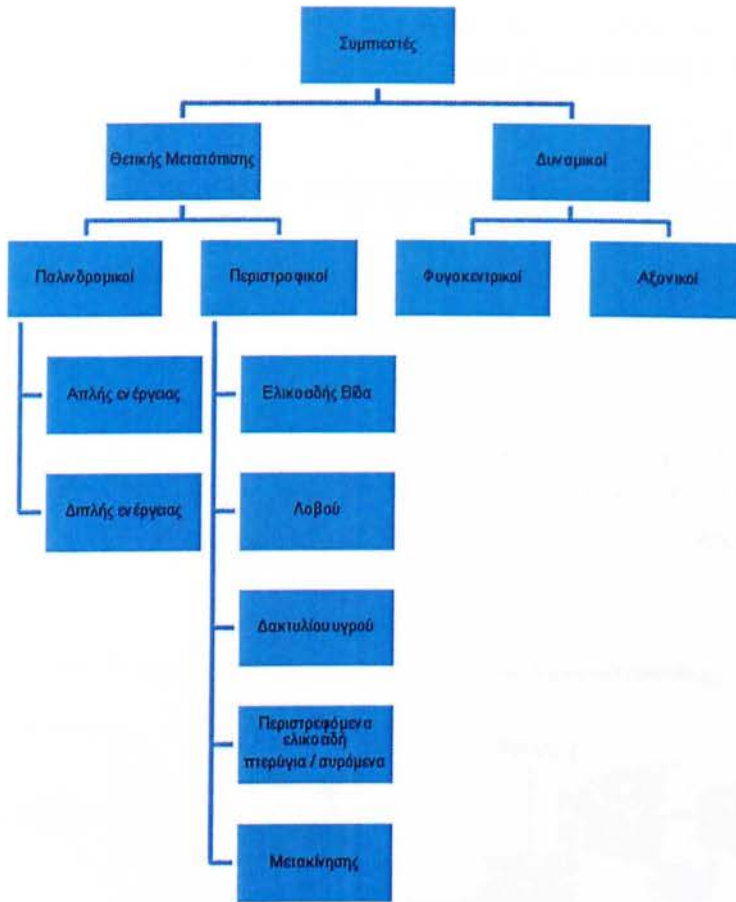
περιστροφικών αεροσυμπιεστών είναι εύκολο να συντηρηθούν, λειτουργούν και παρέχουν μεγάλη ευελιξία εγκατάστασης. Οι περιστροφικοί συμπιεστές αέρα μπορεί να εγκατασταθούν σε οποιαδήποτε επιφάνεια την οποία θα υποστηρίξει το στατικό βάρος.

### Δυναμικοί συμπιεστές

Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής αέρα (Εικόνα 17) είναι ένα δυναμικός συμπιεστής, ο οποίος εξαρτάται από την μεταφορά της ενέργειας από ένα περιστρεφόμενο τροφείο στον αέρα. Ο ρότορας το καταφέρνει αυτό αλλάζοντας τη δυναμική και την πίεση του αέρα. Η δυναμική αυτή μετατρέπεται σε χρήσιμη πίεση από την επιβράδυνση του αέρα κάτω σε ένα σταθερό διαχύτη. Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής αέρα από το σχεδιασμό του είναι ένα ελεύθερος συμπιεστής πετρελαίου. Το λάδι λιπαίνει τα γρανάζια που κυλούνται και χωρίζεται από τον αέρα με τσιμούχες και εξαεριστικά. Η φυγόκεντρος συμπιεστής είναι ένας συνεχούς λειτουργίας συμπιεστής, με λίγα κινούμενα μέρη, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε εφαρμογές υψηλών όγκων υψηλής έντασης, ιδίως όταν απαιτείται αέρας χωρίς καθόλου λιπαντικό. Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές αέρα είναι υδρόψυκτοι και μπορούν να τυποποιηθούν. Τυπικά το πακέτο (του τυποποιημένου συμπιεστή) περιλαμβάνει τον μεταψύκτη με όλα τα στοιχεία ελέγχου. Οι συμπιεστές έχουν αισθητά διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τις παλινδρομικές μηχανές. Μια μικρή αλλαγή στην αναλογία συμπίεσης, παράγει μια σημαντική αλλαγή στην απόδοση και την αποδοτικότητα του συμπιεστή. Οι φυγοκεντρικές μηχανές είναι καταλληλότερες για εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλές χωρητικότητες, συνήθως πάνω από 12.000 cfm.



Εικόνα 17: Προβολή του φυγοκεντρικού συμπιεστή



**Εικόνα 18:**Τυπικό διάγραμμα διάκρισης συμπίεσιών

### Παραγωγή πεπιεσμένου αέρα από ανεμογεννήτριες για αποθήκευση ενέργειας

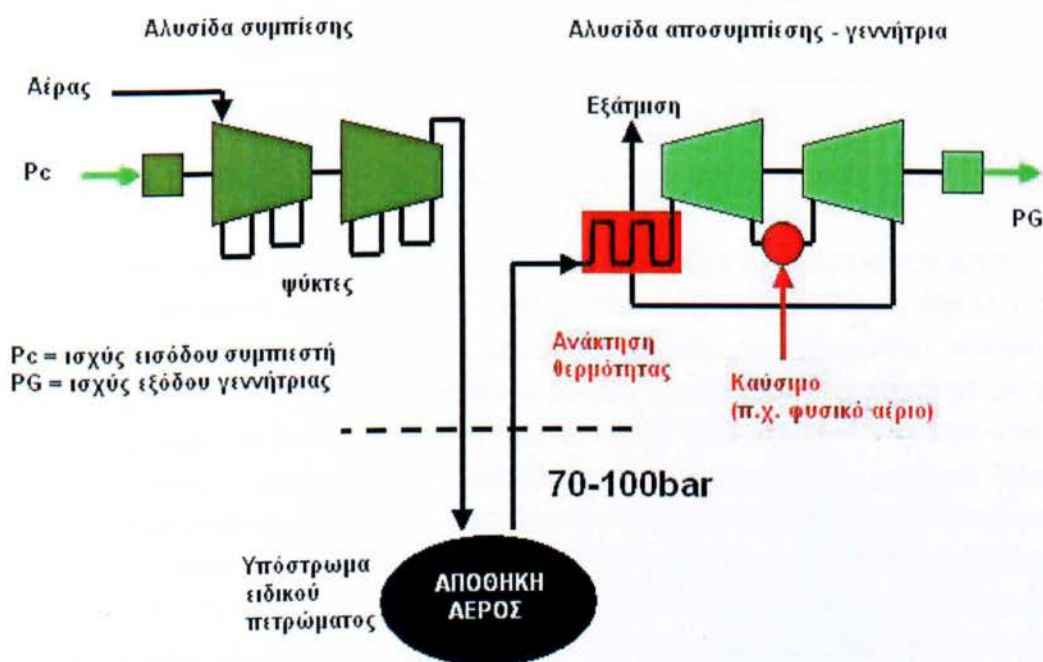
Ο πεπιεσμένος αέρας μπορεί να είναι μέσο αποθήκευσης ενέργειας για πράσινα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Καθηγητές της σχολής Μηχανολογίας Υλικών και Βιομηχανικής Παραγωγής του Πανεπιστημίου του Nottingham παρουσίασαν μια πρωτότυπη ιδέα για την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα από ειδικές ανεμογεννήτριες που θα χρησιμοποιούν τον αέρα όχι για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά για να κινούν έμβολα πίπτουσας μάζας (falling weight pistons). Η παραγωγή πεπιεσμένου αέρα σίγουρα δεν είναι ενεργειακά αποδοτική. Όμως, τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα είναι πολύ πιο βολικά και οικονομικά, σε σχέση με αντίστοιχα ηλεκτρικά συστήματα, σε ότι αφορά τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας και την μετατροπή της σε μηχανικό έργο. Σύμφωνα με τη μελέτη, σκοπός είναι να αναπτυχθεί σε πειραματικό στάδιο μια ανεμογεννήτρια με σταθμισμένα έμβολα που λειτουργούν μέσα σε σωλήνες εντός των πτερυγίων της. Καθώς τα πτερύγια ανυψώνονται προς το ανώτερο νεκρό σημείο, τα έμβολα πέφτουν στους σωλήνες, συμπιέζοντας τον αέρα. Το εμφανές πρόβλημα με αυτό, είναι ότι η κεντρομόλος επιτάχυνση υπερβαίνει τη δύναμη της βαρύτητας για μεγάλο μέρος του μήκους του πτερυγίου. Η λύση που προτάθηκε είναι είτε να

υπάρχουν πτερύγια το ένα απέναντι στο άλλο και να συνδεθούν μηχανικά τα έμβολα που κινούνται σε διαμετρικά αντίθετες κατευθύνσεις είτε να επανεισαχθεί αέρας ώστε να δοθεί ώθηση στην καθοδική διαδρομή.

### Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή πεπιεσμένου αέρα

Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι αέρας μπορεί να συμπιεστεί στα 800 ως 1600psi σε ειδικές γεωλογικές δομές και να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας αεριοστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό (Εικόνα 19).

Συμπίεση του αέρα μπορεί να γίνει για παράδειγμα κατά τη διάρκεια κοιλάδων φορτίου και αποσυμπίεση κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου. Λόγω της ειδικής γεωλογικής δομής που απαιτείται υπόστρωμα ορυκτού άλατος, μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως, η μία στις ΗΠΑ και η άλλη στη Γερμανία στο Huntorf.

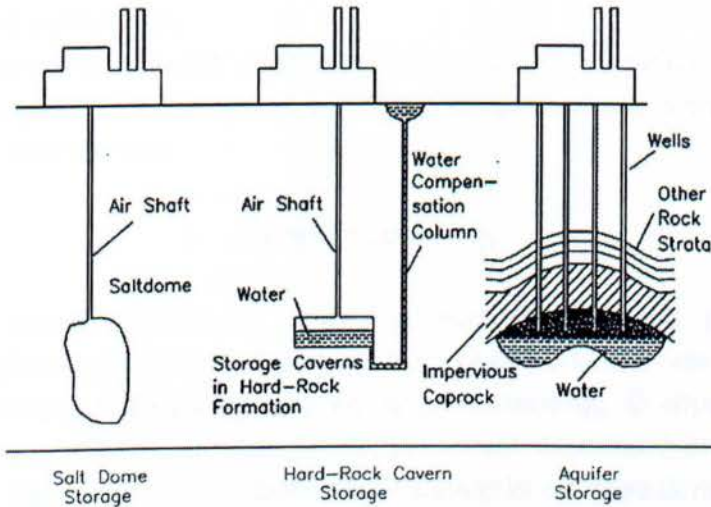


Εικόνα 19: Ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (με την μορφή πεπιεσμένου αέρα)

Πρόσφατη είναι και η προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύος και της πιο ευέλικτης εφαρμογής τέτοιων διατάξεων με τη μορφή Transportable -CAES ή micro -CAES για την εκμετάλλευση αιολικής παραγωγής, ενώ νέες εγκαταστάσεις αυτής της μορφής εγκαθίστανται στις Η.Π.Α.

### ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Όπως αναφέρθηκε, η αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα επιτυγχάνεται σε υψηλές πιέσεις (40 – 70 bar), και κοντά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει μικρότερος όγκο και μικρότερη δεξαμενή (ταμιευτήρας) (Εικόνα 20) αποθήκευσης. Υπάρχουν πολλοί γεωλογικοί σχηματισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ταμιευτήρες για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα.



**Εικόνα 20:** Ταμιευτήρες αποθήκευσης του συμπιεσμένου αέρα

Και οι τρεις αυτοί τύποι ταμιευτήρων αποτελούν ιδανικές επιλογές για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα, δεδομένου ότι ωφελούνται από τη γεωστατική πίεση, η οποία διευκολύνει τη συγκράτηση της μάζας αέρα. Γενικότερα, για εφαρμογές συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, τα βραχώδη σπήλαια είναι κατά 60% περίπου ακριβότερα από τα σπήλαια – αλατωρυχεία. Η διαφορά αυτή οφείλεται στον τρόπο σχηματισμού των δύο αυτών σπηλαίων. Συγκεκριμένα, τα υπόγεια βραχώδη σπήλαια δημιουργούνται από τους σχηματισμούς στερεών βράχων ανασκαφής, σε αντίθεση με τα σπήλαια άλατος που δημιουργούνται από την εξόρυξη διαλυμάτων άλατος. Από την άλλη, η αποθήκευση σε υπόγεια υδροφόρα στρώματα αποτελεί τη φθηνότερη μέθοδο και επομένως προτιμάται πολύ περισσότερο από τις προηγούμενες δύο μεθόδους.

### Περιγραφή συστήματος Ενεργειακής Αποθήκευσης Συμπιεσμένου Αέρα (ΕΑΣΑ)

Η βασική εγκατάσταση ενός τυπικού συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (ΕΑΣΑ) αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα :

- Το τμήμα ισχύος, το οποίο αποτελείται από τον προθερμαντήρα / μονάδα επιλεκτικής καταλυτικής μείωσης, το στρόβιλο αέρα, το στρόβιλο καύσης και την ηλεκτρική γεννήτρια.

- Το τμήμα συμπίεσης, που αποτελείται από τον ηλεκτρικό κινητήρα και τους αξονικούς και φυγοκεντρικούς συμπιεστές, οι οποίοι συμπληρώνονται με δοχεία ψύξης

για την επίτευξη οικονομικής συμπίεσης και τη μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία.

- Τον υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα για την αποθήκευση του αέρα που υποβάλλεται σε συμπίεση.

- Το κέντρο ελέγχου του εξοπλισμού για τη λειτουργία του στροβίλου καύσης, του συμπιεστή και των βοηθητικών, αλλά και για τον έλεγχο της μετάβασης από την παραγωγή στην αποθήκευση.

- Τον βοηθητικό εξοπλισμό για την αποθήκευση και τη διαχείριση του καυσίμου, και μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα για να υποστηρίξουν τους διάφορους εναλλάκτες θερμότητας που απαιτούνται.

### **Τμήμα συμπίεσης**

Ο συμπιεστής πραγματοποιεί τη συμπίεση του εργαζόμενου μέσου, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο αέρας. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που ο συμπιεστής σε τέτοιο σύστημα καλείται και αεροσυμπιεστής. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, πίεσης 15 bar (σε κανονικές συνθήκες), εισέρχεται στον συμπιεστή όπου συμπιέζεται σε μεγάλες πιέσεις της τάξης των 75 bar, και εν συνεχεία αποθηκεύεται σε έναν υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα. Οι αεροσυμπιεστές μπορεί να είναι είτε αξονικής είτε ακτινικής ροής. Ο αξονικός συμπιεστής έχει επικρατήσει σε μηχανές μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, ενώ ο ακτινικός συναντάται μόνο σε μικρές μηχανές.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αξονικών συμπιεστών είναι οι μεγαλύτεροι βαθμοί απόδοσης από τους ακτινικούς. Παράλληλα, όσον αφορά στους αξονικούς συμπιεστές, η ευκολία συνδυασμού βαθμίδων για τη συγκρότηση πολυβάθμιων μηχανών τους δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερων λόγων πίεσης.

Τέλος, οι αξονικοί συμπιεστές έχουν μεγαλύτερη αναρροφητική ικανότητα, δηλαδή αναρροφούν μεγαλύτερες παροχές εργαζόμενου μέσου από τους ακτινικούς για την ίδια μετωπική επιφάνεια. Η επιλογή του αεροσυμπιεστή απαιτεί προσεκτική ανάλυση, αφού επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί από αυτούς:

Η μέγιστη και η ελάχιστη απαίτηση αέρα, οι εποχιακές διαφοροποιήσεις, καθώς και οι προβλεπόμενες μελλοντικές επεκτάσεις.

- Οι συνθήκες περιβάλλοντος. Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι ακραίες θερμοκρασίες, ο μολυσμένος αέρας, τα μεγάλα υψόμετρα, κ.τ.λ. Η προοριζόμενη χρήση και επομένως οι απαιτήσεις για πίεση λειτουργίας.

- Η ανάγκη για συνεχή ή περιοδική παροχή αέρα.

- Η ύπαρξη ορίων στη διαθέσιμη ισχύ.

- Ο χώρος που θα εγκατασταθεί ο αεροσυμπιεστής (περιορισμοί σε κραδασμούς κ.α.)



## ΤΙ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΕΧΘΕΙ

Ένα σημαντικό ζήτημα που τίθεται επίσης σε ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, είναι η επιλογή μεταξύ ενός μεγάλου ή πολλών αεροσυμπιεστών. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι το 100% των απαιτήσεων σε πεπιεσμένο αέρα πρέπει να καλυφθεί, κατά την επιλογή μεταξύ της εγκατάστασης ενός αεροσυμπιεστή για κάλυψη 100% της παροχής ή π.χ. δυο αεροσυμπιεστών με δυνατότητα παροχής 50% της συνολικής που απαιτείται από την παραγωγική διαδικασία, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα σημεία:

- Το κόστος της πιθανής διακοπής της παραγωγής.
- Τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παροχής ισχύος.
- Τον κύκλο φόρτισης των αεροσυμπιεστών.
- Το διαθέσιμο χώρο για την εγκατάσταση των συμπιεστών.

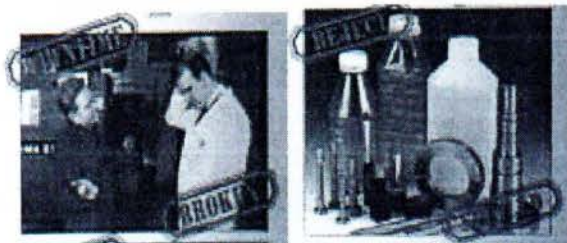
## Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### Πεπιεσμένος αέρας. Η ουσιαστική πηγή ενέργειας

Είναι γνωστή η ευρύτατη εφαρμογή που βρίσκει ο πεπιεσμένος αέρας στη βιομηχανία. Μερικές από τις εφαρμογές του είναι η κίνηση εργαλείων, η συσκευασία, η βαφή, ο αυτοματισμός, η επεξεργασία φιλμ, το φύσημα πλαστικών, η παραγωγή καλλυντικών, η παραγωγή γαλακτοκομικών τροφίμων - ποτών, η μεταφορά και ο διαχωρισμός προϊόντων και χιλιάδες άλλες εφαρμογές που θα χρειαζόμασταν πολλές σελίδες για να τις αναφέρουμε όλες.

Η προτίμηση του αέρα έναντι άλλων μέσων, για παράδειγμα του ηλεκτρισμού, οφείλεται σε διάφορους παράγοντες μερικοί από τους οποίους είναι ο μειωμένος κίνδυνος έναντι του ηλεκτρισμού, το μικρότερο κόστος των αεροκίνητων εργαλείων έναντι των ηλεκτροκίνητων, η φθηνή πρώτη ύλη (ατμοσφαιρικός αέρας).

Όσο όμως εξυπηρετική και αποδοτική πηγή ενέργειας είναι ο πεπιεσμένος αέρας, είναι δυνατόν η χρήση του να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα αν η ποιότητα του δεν είναι η κατάλληλη. Δυστυχώς στο σημείο αυτό δεν έχει δοθεί η δέουσα προσοχή τόσο από τους χρήστες του πεπιεσμένου αέρα όσο και από τους κατασκευαστές των αεροσυμπιεστών, οι οποίοι επικέντρωναν και επικεντρώνουν την προσοχή τους στη κατασκευή νέων, συμφεροτέρων και καλύτερης ποιότητας μηχανημάτων παραγωγής και λιγότερο στην κατασκευή συσκευών επεξεργασίας του αέρα μετά τη παραγωγή του.



**Εικόνα 21:** Πεπιεσμένος αέρας, η ουσιαστική πηγή ενέργειας

Την ανάγκη της κατασκευής αποτελεσματικών συσκευών επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα ήλθαν να καλύψουν βιομηχανίες που δεν κατασκευάζουν αεροσυμπιεστές αλλά έχουν ως αποκλειστική απασχόληση τους την κατασκευή συσκευών επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα. Η σημαντικότερη από τις βιομηχανίες αυτές είναι η Αγγλική εταιρεία domnick hunter με πείρα και τεχνογνωσία στη κατασκευή συσκευών επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα που ξεκινάει από το 1963 και αρκετά βραβεία στο ενεργητικό της για την αναγνώριση των κατασκευαστικών της επιτευγμάτων, που πολλές φορές αποτέλεσαν την απαρχή νέων οριζόντων στην επεξεργασία του πεπιεσμένου αέρα (προσοφητικός ξηραντής PNEUDRI - βαλβίδες αυτόματης εξαγωγής συμπυκνωμάτων ED) .

## Η επεξεργασία του πεπιεσμένου αέρα

Ο πεπιεσμένος αέρα που παρέχουν οι αεροσυμπιεστές περιέχει διάφορες ανεπιθύμητες ουσίες, τις οποίες καλούνται οι συσκευές επεξεργασίας να απομακρύνουν. Το είδος των ανεπιθύμητων ουσιών καθώς και ο επιθυμητός βαθμός καθαρότητας του πεπιεσμένου αέρα εξαρτάται από τη χρήση του. Συνεπώς άλλη είναι η ποιότητα του πεπιεσμένου αέρα που απαιτείται για χρήση του σε βαφές, άλλη εκείνου που χρησιμεύει για την κίνηση εργαλείων, την συσκευασία τροφίμων, το φύσημα πλαστικών ή τέλος του αναπνευστικού αέρα για την νοσηλεία νεογνών σε νοσοκομεία.

Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη να βρεθούν κριτήρια για την ποιότητα του αέρα ανά εφαρμογή και ποια θα είναι αυτή και δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα εργαλεία για τον καθορισμό αυτών των κριτηρίων και την ταξινόμηση της ποιότητας του πεπιεσμένου αέρα, όπως το **ISO 8573-1/1991-12-15**, και τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν οι επί μέρους συσκευές επεξεργασίας, π.χ. το **ISO 7183-1/1986-03-15**.

Ο καθορισμός λοιπόν της απαιτούμενης ποιότητας του πεπιεσμένου αέρα και η επί τη βάση της επιθυμητής ποιότητας επιλογή των καταλλήλων συσκευών είναι μια υπόθεση, που δύσκολα μπορεί να γνωρίζει στη λεπτομέρεια της ο μηχανικός παραγωγής ή ο μηχανικός συντήρησης.

## Συσκευές επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα



Εικόνα 22: Διαχωριστής νερού

Υπάρχουν διάφορα είδη συσκευών επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα:

- Ο **διαχωριστής νερού (water separator)** (Εικόνα 22), που χρησιμεύει στην πρώτη (χονδροειδή) κατακράτηση των συμπυκνωμάτων (μίγμα υγρασίας, λαδιών, σκόνης) που υπάρχουν στον αέρα σε υγρή μορφή και όχι σε μορφή σταγονιδίων (bulk liquid).

- Το **φίλτρο**, σίγουρα η πιο χρήσιμη και απαραίτητη συσκευή μετά την αγορά του αεροσυμπιεστή που ανάλογα με τον τύπο του χρησιμεύει για την κατακράτηση των σωματιδίων (σκόνης), του λαδιού, των ατμών του λαδιού, των οσμών και τέλος για την αποστείρωση του αέρα. Υπάρχουν φίλτρα διαφόρων ειδών ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται αλλά και την επιθυμητή ποιότητα του παρεχομένου αέρα.

- Ο **ξηραντής** (Εικόνα 23), για την κατακράτηση της υγρασίας του αέρα. Η σημασία του είναι τεράστια. Δεν υπάρχει μηχανικός παραγωγής που να μην έχει αλλάξει έστω και μία βαλβίδα ή ένα ελατήριο λόγω σκουριάς. Και συνήθως οι βαλβίδες είναι πολλές ενώ σίγουρα δεν πάσχουν μόνο αυτές από την υγρασία.



**Εικόνα 23:** Ξηραντής κατακράτησης υγρασίας

Οι συνήθως χρησιμοποιούμενοι στην βιομηχανία ξηραντές είναι καταψυκτικού τύπου, λειτουργούν με κάποιο μέσο ψύξης (R22 ή R134a) και παρέχουν αέρα με σημείο δρόσου υπό πίεση  $+4^{\circ}\text{C}$ , που αντιστοιχεί σε σχετική υγρασία (RH)  $\sim 37\%$  σε θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ . Για ξηραντή (μέχρι και σημείο δρόσου  $-70^{\circ}\text{C}$  υπό πίεση, που αντιστοιχεί σε σχετική υγρασία  $\sim 0,016\%$  σε θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ ) χρησιμοποιούνται ξηραντές προσροφητικού τύπου όπου η ξήρανση γίνεται με την εκμετάλλευση του φαινομένου της προσρόφησης του νερού από σωματίδια ενεργοποιημένης αλουμίνας.



**Εικόνα 24:** Διάφοροι τύποι ξηραντών

- Η **βαλβίδα εξαγωγής συμπυκνωμάτων**, τελευταία αλλά εξίσου σημαντική με όλες τις υπόλοιπες συσκευές, που χρησιμεύει στη διοχέτευση των συμπυκνωμάτων

στην αποχέτευση και στη διατήρηση καθαρού του θαλάμου κατακράτησης (διαχωριστής Νερού, φίλτρου, αεροφυλακίου).



**Εικόνα 25:** Βαλβίδα εξαγωγής συμπυκνωμάτων

Η διοχέτευση αυτή προς την αποχέτευση μπορεί να γίνει είτε απευθείας είτε μέσω ενός διαχωριστή λαδιού-νερού ο οποίος μπορεί να κατακρατεί τα λάδια για περαιτέρω επεξεργασία ή εξουδετέρωση και να διοχετεύει το νερό καθαρό πλέον στην αποχέτευση δίχως η βιομηχανία που τον χρησιμοποιεί να επιβαρύνει το περιβάλλον και πιθανώς τον υπόγειο υδάτινο πλούτο με λάδια από τον αεροσυμπιεστή. Υπάρχουν διαφόρων ειδών βαλβίδες εξαγωγής συμπυκνωμάτων όπως χειροκίνητες, αυτόματες μηχανικού τύπου (με πλωτήρα), αυτόματες με ηλεκτρονική λειτουργία χρονική και αυτόματες με ηλεκτρονικό προσδιορισμό της στάθμης του συμπυκνώματος. Φυσικά κάθε μία από αυτές έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι των άλλων, η δε επιλογή τους πρέπει να γίνεται βάσει των πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων αυτών και φυσικά του κόστους λειτουργίας τους.

## Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα πτυχιακή εργασία είναι τα ακόλουθα:

- Ο αεροσυμπιεστής είναι συχνά μείζων εξοπλισμός κατανάλωσης ενέργειας και επομένως, η απόδοσή του έχει σημαντική επίδραση στο συνολικό λειτουργικό κόστος του εργοστασίου
- Το συνολικό κόστος μίας εγκατάστασης εξαρτάται:
  - Σωστή επιλογή του αεροσυμπιεστή (τύπος, απόδοση, παροχή και πίεση)
  - Καλή ποιότητα του αέρα: ξηρός και καθαρός
  - Επαγγελματική εγκατάσταση
  - Σωληνώσεις πεπιεσμένου αέρα
  - Εξαερισμός του αεροστασίου
  - Ποιότητα του νερού ψύξης
- Η σωστή επιλογή και η μελετημένη εγκατάσταση ενός συγκροτήματος πεπιεσμένου αέρα μπορεί αποδεδειγμένα να μειώσει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σημαντικά και να σταθεροποιήσει την λειτουργία του συστήματος πεπιεσμένου αέρα του χρήστη.
- Η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας δεν προσφέρει μόνο οικονομικά πλεονεκτήματα, αλλά έχει επίσης και θετικό αποτέλεσμα στο περιβάλλον.
- Λιγότερη ενέργεια σημαίνει λιγότερη μόλυνση στο φυσικό περιβάλλον.
- Ένας αποκεντρωμένος αεροσταθμός μπορεί να εγκατασταθεί όταν ο πεπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται για ειδικές εφαρμογές όπως,
  - Διαφορετικές πιέσεις λειτουργίας
  - Όταν απαιτείται θερμός αέρας για παράδειγμα, πνευματική λειτουργία εργαλείων σφυρήλασης
  - Αέρας φυσητήρα για ηλεκτρικούς διακόπτες υψηλής τάσης
  - Πνευματική μεταφορά υλικών

## Βιβλιογραφία

Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση Τεύχος Απρίλιος 2009

Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση Τεύχος Οκτώβριος 2007

<http://www.retscreen.net/fichier.php/943/Compressors%20and%20Compressed%20Air%20Systems.pdf>

[www.fme.aegean.gr/sites/default/files/cf/omilia\\_sezenias.pdf](http://www.fme.aegean.gr/sites/default/files/cf/omilia_sezenias.pdf)

[http://www.tee.gr/magazines/tech-mag/teuxos6/zip\\_air.shtml](http://www.tee.gr/magazines/tech-mag/teuxos6/zip_air.shtml)

[www.koytsoykos.com](http://www.koytsoykos.com)



## Παράρτημα I

### **Νέος πρωτοποριακός αεροσυμπιεστής από την CompAir**

Ένας νέος αεροσυμπιεστής χωρίς λάδι (oil-free) έλαιο μειώνει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας,, το κόστος συντήρησης και την επιφάνεια του καταλαμβανόμενου χώρου χρησιμοποιώντας μόνο ένα κινούμενο μέρος - τον ρότορα του κινητήρα συνδεδεμένο απευθείας στο στοιχείο συμπίεσης που περιστρέφεται σε υψηλές στροφές (μέχρι και 60.000 rpm). Αυτή η εξέλιξη περικόπτει το κόστος του πεπιεσμένου αέρα και θέτει ξανά τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα μεταξύ των σύγχρονων τεχνολογιών που είναι κατάλληλες για αυτόματα συστήματα. Σύμφωνα με την CompAir, αυτό το νέο μηχάνημα είναι ένα μεγάλο βήμα μπροστά σε σύγκριση με τους συμβατικούς oil-free αεροσυμπιεστές, που χρησιμοποιούν ζεύγος ξηρών κοχλιών που κινούνται μέσω κιβωτίου ταχυτήτων. Το Quantima περιλαμβάνει έναν επαγωγικό κινητήρα του με κεντρικό ρότορα, τα δύο άκρα του οποίου καταλήγουν σε δύο φυγοκεντρικούς (turbo) συμπιεστές, ολόκληρος αποτελώντας ένα ενιαίο κινούμενο μέρος που στηρίζεται σε μαγνητικά έδρανα, τόσο αξονικά όσο και ακτινικά, με αισθητήρες που ελέγχουν τη θέση του 120.000 φορές το λεπτό. Ο ένας από τους δύο φυγοκεντρικούς συμπιεστές συμπιέζει σε πρώτο στάδιο έως τα 3 bar, ενώ στη συνέχεια ο αέρας διέρχεται μέσω ενός ενδιάμεσου ψύκτη πριν συμπιεστεί από τον δεύτερο συμπιεστή που βρίσκεται στο αντίθετο άκρο του ίδιου ρότορα, έως τα 7-8 bar μετά από τον οποίο οδηγείται στον μεταψύκτη. Η CompAir έχει κατοχυρώσει την ευρεσιτεχνία αυτού του συστήματος κινητήρα-συμπιεστή που το ονομάζει Q-drive.

## Παράρτημα II

### ΚΕΝΤΡΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΙΑΤΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

#### ΓΕΝΙΚΑ

Το κέντρο παραγωγής πεπιεσμένου αέρα για ιατρική χρήση εξυπηρετεί ανάγκες της κλινικής για αέρα αναπνοής (Air) και αέρα για την κίνηση χειρουργικών εργαλείων (Air – 800). Σχεδιάζεται, κατασκευάζεται, ελέγχεται και λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ EN 737.03 και φέρει πιστοποίηση ποιότητας CE για ιατροτεχνολογικά προϊόντα σύμφωνα με την οδηγία 93/42/ΕΕ.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Το κέντρο παραγωγής πεπιεσμένου αέρα τροφοδοτεί το δίκτυο προς δύο γραμμές καταναλώσεων, τη γραμμή κατανάλωσης του αέρα αναπνοής (Air) και τη γραμμή κατανάλωσης του αέρα για κίνηση χειρουργικών εργαλείων (Air - 800). Η παροχή του πεπιεσμένου αέρα προκύπτει από το άθροισμα των καταναλώσεων Air και Air - 800 στα διάφορα τμήματα, χειρουργείων, μαιευτηρίου, εντατικής, επειγόντων, εξωτερικών ιατρείων και νοσηλευτικών μονάδων. Ενδεικτικά, για αριθμό κλινών ίσο με 80, η παροχή πεπιεσμένου αέρα υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί σε 360 m<sup>3</sup>/h. Η παροχή αυτή δίνεται από αεροσυμπιεστές ισχύος περίπου 37 kW.

#### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Το κέντρο παραγωγής πεπιεσμένου αέρα αποτελείται, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 737.03, από τρία συγκροτήματα αεροσυμπιεστών, δύο ή περισσότερα αεροφυλάκια μέγιστης χωρητικότητας 2000l και δύο ισοδύναμες γραμμές επεξεργασίας αέρα που περιλαμβάνουν τους ξηραντές και σειρά φίλτρων.

#### ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

##### 1. ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Ο αεροσυμπιεστής που χρησιμοποιείται είναι ηλεκτροκίνητος, κοχλιοφόρος, αερόψυκτος. Η πίεση έναρξης/παύσης λειτουργίας του είναι 8/10 bar. Περιέχει ενσωματωμένο πρόφιλτρο σωματιδίων 5μm, σιγαστήρα, μεταψύκτη και παγίδα υγρών πάνω σε αυτόν. Το σύστημα ελέγχου λειτουργίας των αεροσυμπιεστών εξασφαλίζει ότι υπάρχει κυκλική εναλλαγή της σειράς έναρξης λειτουργίας τους. Όταν απαιτείται λειτουργούν δύο ή και οι τρεις αεροσυμπιεστές ταυτόχρονα, ενώ η βλάβη ή η απομόνωση του ενός ή δύο από αυτούς δεν επηρεάζει τη λειτουργία των υπολοίπων.

## 2. ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΟ

Τα αεροφυλάκιο χρησιμεύουν για την αποθήκευση μιας ποσότητας πεπιεσμένου αέρα, αρκετής για τη ρύθμιση της ομαλής παροχής στην κατανάλωση, για την προστασία της λειτουργίας των αεροσυμπιεστών από συχνές στάσεις – εκκινήσεις και κατά δεύτερο λόγο, για τη συμπύκνωση της υγρασίας του αέρα. Κατασκευάζεται, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 97/23, από ανοξείδωτο χάλυβα, φέρει πρεσσοστάτη, μετρητή πίεσης, βαλβίδα ασφαλείας για εκτόνωση της πίεσης και αυτόματη παγίδα υγρών με δυνατότητα χειροκίνητης παράκαμψης. Τοποθετείται κάθετα ή οριζόντια, ανάλογα με τις διαστάσεις του αντλιοστασίου.

## 3. ΞΗΡΑΝΤΗΣ

Ο ξηραντής που χρησιμοποιείται είναι προσροφητικού τύπου. Έχει τη δυνατότητα να κατεβάσει το σημείο δρόσου στους  $-40^{\circ}\text{C}$ , υπό ατμοσφαιρική πίεση. Αποτελείται από δύο εναλλασσόμενες προσροφητικές στήλες, εκ των οποίων η μία λειτουργεί και η άλλη αναγεννάται. Στον ξηραντή υπάρχει ενσωματωμένη παγίδα υγρών και αισθητήριο δρόσου.



Εικόνα ΠΙΙ 1: Ξηραντής κέντρου παραγωγής πεπιεσμένου αέρα

#### 4. ΦΙΛΤΡΑ

Στις δύο ισοδύναμες γραμμές επεξεργασίας αέρα χρησιμοποιούνται τα παρακάτω φίλτρα:

- Φίλτρο με δυνατότητα συγκράτησης σωματιδίων 5 $\mu$ m που προφιλτράρει τον αέρα πριν την είσοδό του στον ξηραντή. Ανάλογο φίλτρο τοποθετείται και στη έξοδο του αέρα από τον ξηραντή.

- Υπομικρονικό φίλτρο με δυνατότητα συγκράτησης σωματιδίων έως 0,01  $\mu$ m που τοποθετείται επίσης πριν τον ξηραντή.

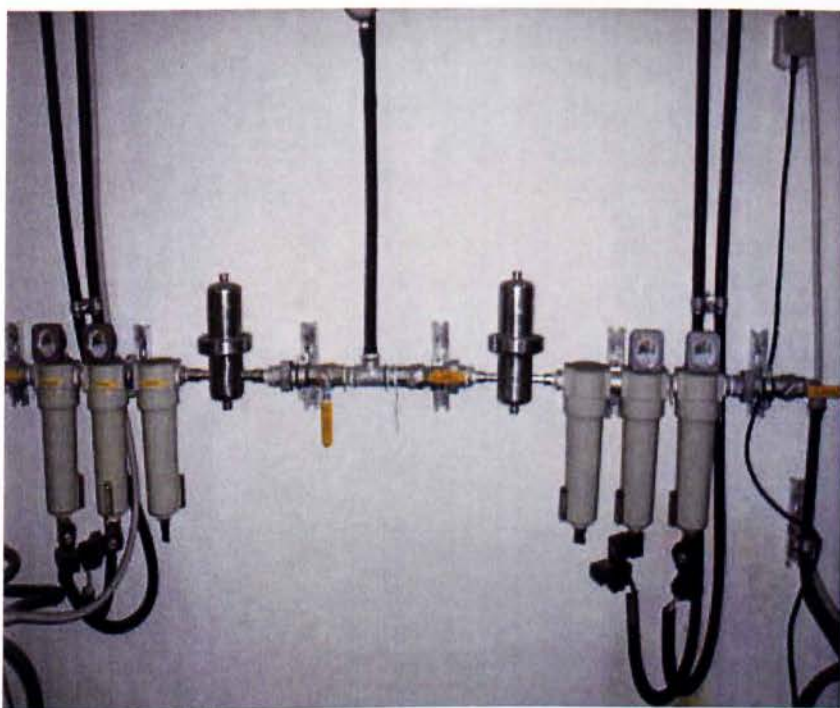
- Φίλτρο με δυνατότητα κατακράτησης σωματιδίων έως 1 $\mu$ m και διαπερατότητα μικρότερη του 0.03% όταν ελέγχεται με το dop test, σύμφωνα με το BS 3928.

- Φίλτρο ενεργού άνθρακα.

- Βακτηριολογικό φίλτρο με δυνατότητα κατακράτησης σωματιδίων μέχρι 0.01 mg/m<sup>3</sup> και διαπερατότητα μικρότερη του 0.0001% όταν ελέγχεται με το dop test, σύμφωνα με το BS 3928. Η απολύμανσή του γίνεται με τροφοδότηση ατμού από ειδικά διαμορφωμένη εγκατάσταση.



Εικόνα ΠΙΙ 2: Βακτηριολογικό φίλτρο

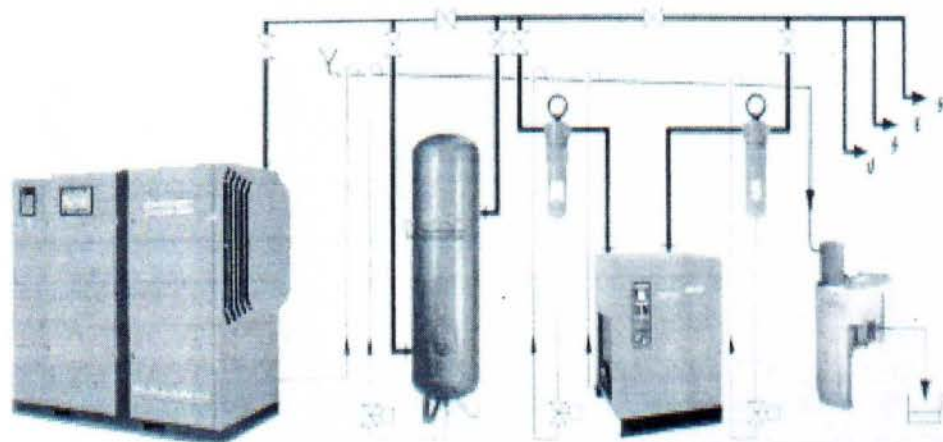


Εικόνα ΠΙΙ 3: Γραμμές επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα με σειρά φίλτρων

## **ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ**

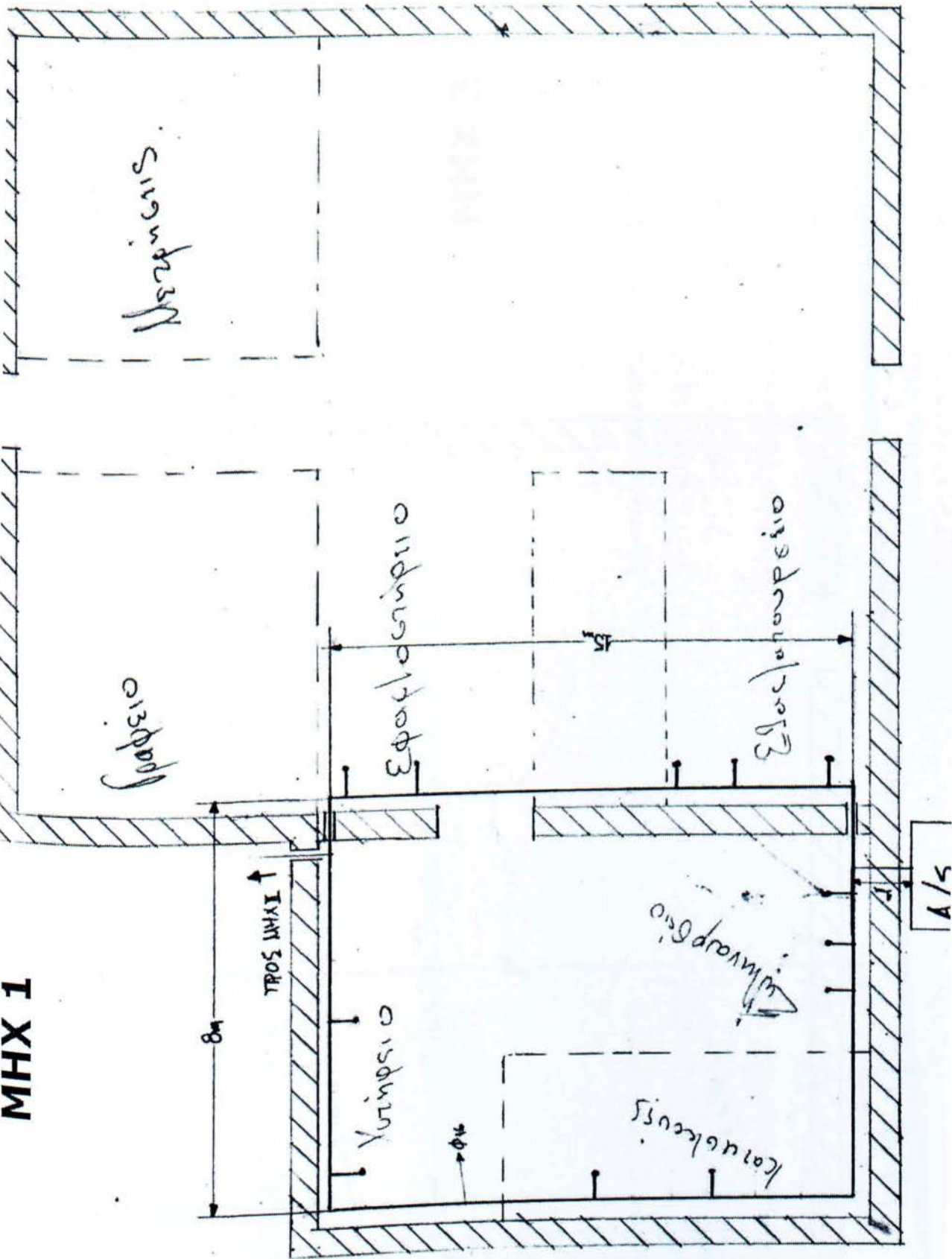
Κάθε ένας εκ των τριών αεροσυμπιεστών έχει ενσωματωμένο ηλεκτρολογικό πίνακα ισχύος και ελέγχου. Ο έλεγχος όλων των παραμέτρων λειτουργίας του αεροσυμπιεστή, καθώς και οι επιλογές χειρισμού του, πραγματοποιούνται από ένα ενσωματωμένο ηλεκτρονικό λογικό ελεγκτή ο οποίος έχει οθόνη ενδείξεων και πλήκτρα παραμετροποίησης. Ο ηλεκτρονικός λογικός ελεγκτής παρέχει πλήρη αυτοδιάγνωση του κάθε αεροσυμπιεστή. Ο κεντρικός έλεγχος της λειτουργίας των τριών αεροσυμπιεστών πραγματοποιείται από έναν ηλεκτρονικό λογικό ελεγκτή. Ο κεντρικός ηλεκτρονικός λογικός ελεγκτής πραγματοποιεί διαδοχική εκκίνηση κάθε ενός εκ των τριών αεροσυμπιεστών σε χρόνο που προγραμματίζεται, ώστε να μοιράζονται οι ώρες λειτουργίας του κέντρου παραγωγής πεπιεσμένου αέρα εξίσου και στους τρεις αεροσυμπιεστές. Επιπλέον, ο κεντρικός ηλεκτρονικός λογικός ελεγκτής διαθέτει αισθητήριο πίεσης βάσει του οποίου καθορίζεται, αν θα λειτουργούν ο ένας, οι δύο ή και οι τρεις αεροσυμπιεστές.

### Παράρτημα III

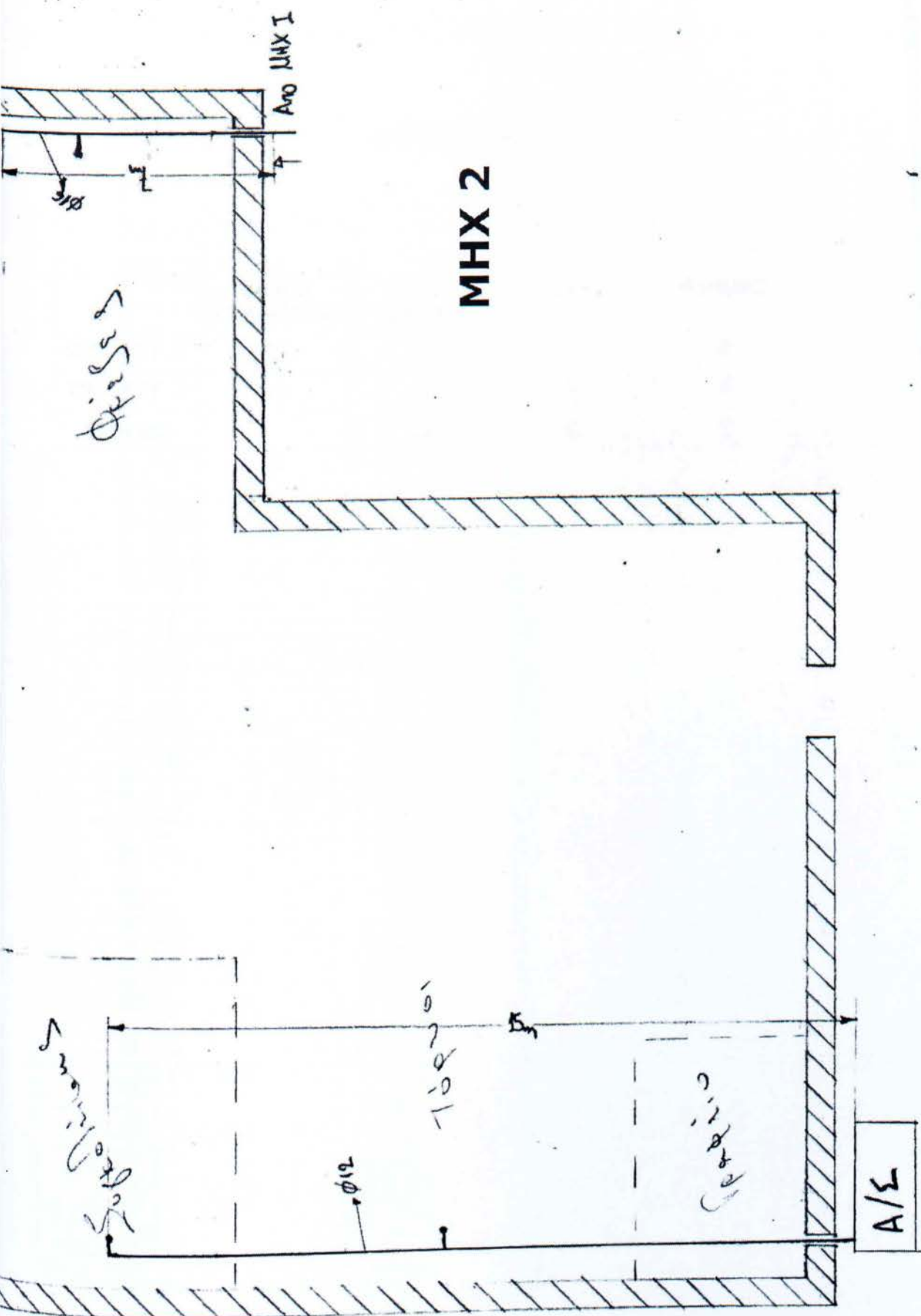


Εικόνα ΠIII: Μπλοκ διάγραμμα σταθμού παραγωγής

**MHX I**







## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

	D(mm) ΣΩΛΗΝΑ Cu	L(m) ΣΩΛΗΝΑ	ΤΑΦ	ΓΩΝΙΕΣ
ΜΗΧ. ΕΡΓ. 1	16	53	15	4
ΜΗΧ.ΕΡΓ. 2	12	15	2	1
ΣΥΝΟΛΟ		68	17	5

## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΗΧ/ΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ

### ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Παρακάτω θα δούμε τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν στην μελέτη μας στα Μηχανουργεία 1 και 2.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ	ΣΤΡΟΦΕΣ [rpm]	Q [l/min]	ΠΙΕΣΗ [bar]
Αεροτριβείο	1000	109	6,3
Αεροκαστάνια	240	85	6,3
Αεροτροχός	7000	255	6,3
Αεροδράπανο	800	184	6,3
Αεροκατσάβιδο	800	170	6,3
Αεροπρισιναδόρος	-	1,5/κύκλ ο	6,3
Αεροψάλιδο	2600	184	6,3
Πιστόλι αέρα	-	400	6-8,5
Πιστόλι αμμοβολής	-	250	6,3
Ματσακόνι	5500	85	6,3

## Υπολογισμός Α/Σ

- Θα πρέπει να μας καλύπτει από θέμα πίεσεις και παροχής. Η πίεση λειτουργίας μας είναι 6,3 bar, είναι μια συνηθισμένη πίεση που την εξασφαλίζουν όλοι οι Α/Σ του εμπορίου στην κατηγορία αυτή. Άρα θα εξετάσουμε από μεριά παροχής την καταλληλότητα του και αυτό θα γίνει τμηματικά και με γνώμονα την κατανάλωση των εργαλείων σε κάθε εργαστήριο αλλά και σε κάθε τμήμα αυτών.

$$Q_{ολικό} = Q_1 + \dots + Q_n / n$$

### MHX1

- Σωληνοργείο:  
 $Q = 255 \text{ l/min} + 400 \text{ l/min} + 85 \text{ l/min} / 3 = 245 \text{ l/min}$
- Χυτήριο  
 $Q = 212 \text{ l/min}$
- Κατασκευές  
 $Q = 204 \text{ l/min}$
- Ελασματοργείο  
 $Q = 190 \text{ l/min}$
- 3. Εφαρμοστήριο  
 $Q = 193 \text{ l/min}$

### MHX2

- Τόρνοι  
 $Q = 195 \text{ l/min}$
- Φρέζες  
 $Q = 195 \text{ l/min}$
- Επομένως η μέση συνολική παροχή όλου του MHX1 θα είναι:  
 $Q_{ολικό} = 200 \text{ l/min}$
- Εφόσον βρήκαμε την μέση ολική παροχή αέρα των εργαστηρίων από άποψη απαιτήσεων των εργαλείων. Τώρα θα πρέπει να ορίσουμε ένα συντελεστή ταυτοχρονισμού. Δηλαδή σύμφωνα με το πρόγραμμα των εργαστηρίων και τον φόρτο εργασίας αυτών, ΠΟΣΑ εργαλεία πιθανόν θα δουλεύουν ταυτόχρονα. Αυτός ο συντελεστής είναι πολύ σημαντικό να είναι ρεαλιστικός και αρκετά αυστηρός διότι αυτός κατά κύριο λόγο θα μας καθορίσει τις ανάγκες μας για κατάλληλο Α/Σ. Φυσικά και επόμενα καθορίζει το απαιτούμενο κόστος για την αγορά αυτού. Σύμφωνα όπως προείπαμε με το πρόγραμμα των εργαστηρίων, αλλά και την συμβουλή του καθηγητή μας αποφασίσαμε ότι ένας ρεαλιστικός συντελεστής

ταυτοχρονισμού κυμαίνεται γύρω στο 0,4. Αυτός αφορά το MHX1 το οποίο διαθέτει τον κύριο όγκο των παροχών καθώς και εργαλείων.

- Δεν συμπεριλαμβάνουμε στο υπολογισμό του συντελεστή το MHX2 για τους παρακάτω λόγους :
  - Διότι σύμφωνα με το πρόγραμμα δεν συμπίπτουν οι ώρες λειτουργίας του ενός μηχανουργείου με το άλλα, άρα δεν θα έχουμε ταυτόχρονη λειτουργία εργαλείων.
  - Το MHX2 έχει δύο παροχές αέρα (δηλ μόνο δύο εργαλεία). Άρα ο συντελεστής του MHX1 μας υπερκαλύπτει .
- ▲ Με συντελεστή ταυτοχρονισμού 0,4 σε ώρα αιχμής θα έχουμε σε λειτουργία :
- ▲  $10 \text{εργαλεία} \times 0,4 = \underline{4 \text{εργαλεία}}$

Η μέγιστη  $Q_{pick}$  θα είναι :  $Q_{pick} = Q_{ολ} \times 4 \text{ εργαλεία} = 800 \text{ l/min}$

Επομένως τα δεδομένα μας για την επιλογή του κατάλληλου Α/Σ είναι τα εξής:

- $Q_{rick}=800 \text{ L/min}$
- Σταθερή λειτουργία 6,3 bar (από χαρακτηριστικά εργαλείων)
- Περιορισμένος χρόνος λειτουργίας
- Χαμηλό κόστος
- Ανεκτός θόρυβος

Η οικονομικότερη λύση βάση αγοράς είναι ένας Α/Σ μάρκας TOROS με αεροφυλάκιο των 1000 Lt και 2 αεροσυμπιεστές των 7,5 HP το καθένα και παροχή και των 2 αεροσυμπιεστών 1500 L/min στο 1 bar. Επομένως έχουμε σε 4–4,5 min την πλήρωση του αεροφυλακίου στα 6,5 bar.

## ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ Κ' ΜΑΚΡΟΖΩΙΑΣ

- Διαλέγουμε την προτεινόμενη διατομή σωλήνα ώστε να μην έχουμε απώλεια ροπής στα εργαλεία
- Απαραίτητη είναι η λίπανση των εργαλείων στο τέλος της καθημερινής λειτουργίας τους ή μετά από παρατεταμένη χρήση. Επίσης το γρασάρισμα των μηχανισμών των εργαλείων είναι κι αυτό απαραίτητο μία φορά τον μήνα.
- Η πίεση του αέρα θα πρέπει να είναι σταθερή στα 6,3 bar. Η χρήση των εργαλείων σε μεγαλύτερες πιέσεις μειώνει την διάρκεια ζωής τους ενώ αν η απαιτούμενη πίεση είναι μικρότερη τα εργαλεία δεν αποδίδουν το μέγιστο των δυνατοτήτων τους.
- Η τοποθέτηση ενός αφυγραντήρα και ελαιωτήρα είναι απαραίτητη. Αυτό μας παρέχει τη λίπανση που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία των εργαλείων και επίσης απομακρύνει την υγρασία που υπάρχει στον αέρα η οποία μειώνει τη ζωή των μεταλλικών μερών των εργαλείων.
- Βασικό για τη μακροζωία των εργαλείων και την σωστή απόδοση τους είναι να χρησιμοποιούνται για την χρήση που προορίζονται και όχι να ταλαιπωρούνται σε εργασίες που δεν είναι κατασκευασμένα. Γι' αυτό είναι σημαντικό να είμαστε σίγουροι να είμαστε σίγουροι ότι μας καλύπτει για την χρήση που το χρειαζόμαστε π.χ στα αερόκλειδα κοιτάμε την μέγιστη διατομή της βίδας που είναι ικάνο να βιδώσει ή να ξεβιδώσει.

#### 3.1 Προειδοποίηση



Προκειμένου να διατηρήσετε τον αεροσυμπιεστή σας σε άψογη κατάσταση λειτουργίας, συστήνουμε να πραγματοποιείτε τακτικές εργασίες συντήρησης. Προτού προβείτε σε οποιαδήποτε εργασία συντήρησης, απενεργοποιήστε τον αεροσυμπιεστή και αποδεσμεύστε όλο τον αέρα από το δοχείο.

#### 3.2 Αποστράγγιση συμπυκνώματος (εβδομαδιαίως)

Ακολουθήστε τις εξής οδηγίες (βλέπε εικ.5):

- ανοίξτε τη βαλβίδα (E) γυρίζοντάς την αριστερόστροφα,
- γείρετε το δοχείο έτσι ώστε το στόμιο της βαλβίδας να στραφεί προς τα κάτω
- τοποθετήστε ένα δοχείο συλλογής κάτω από τη βαλβίδα και κρατήστε τον αεροσυμπιεστή στη θέση αυτή μέχρις ότου να βγει όλο το συμπύκνωμα. Καθώς οι αεροσυμπιεστές της σειράς μας "OILLESS" δεν απαιτούν τη χρήση λιπαντικού, το συμπύκνωμα που θα βγει από το δοχείο δεν είναι επικίνδυνο για το περιβάλλον και μπορεί να διοχετευθεί στο κοινό αποχετευτικό σύστημα.

#### 3.3 Καθαρισμός φίλτρου εισόδου αέρα (μηνιαίως)

Ή πιο συχνά, αν ο αεροσυμπιεστής λειτουργεί σε πολύ σκονισμένο περιβάλλον.

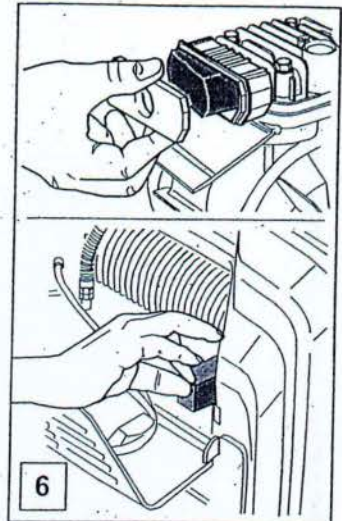
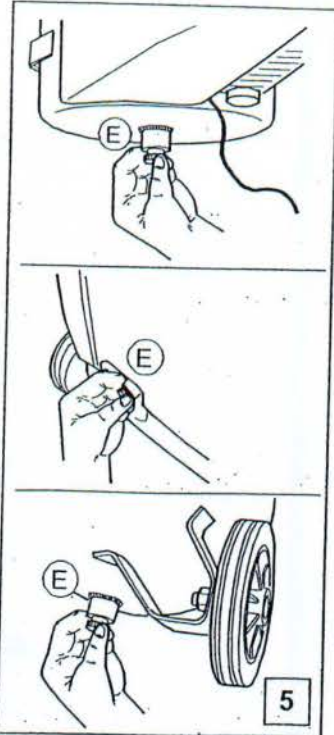
Αφαιρέστε το φίλτρο εισόδου και αντικαταστήστε ή καθαρίστε το στοιχείο φίλτρου (εικ.6).

- με τη βοήθεια ενός σταυροκατσάβιδου ξεβιδώστε τις τέσσερις βίδες που σφίγγουν το κάλυμμα του κινητήρα, αφαιρέστε το κάλυμμα (αν χρειαστεί), αφαιρέστε το καπάκι του φίλτρου και εξάγετε το στοιχείο φίλτρου.

- Genius: Ανοίξτε τη θύρα του κουτιού καλωδίωσης στο πίσω μέρος και αφαιρέστε το στοιχείο φίλτρου.

- Πλύνετε το στοιχείο του φίλτρου με σαπουνόνερο και βεβαιωθείτε ότι είναι εντελώς στεγνό πριν το επαναπροσαρμόσετε.

**ΜΗ λειτουργείτε τον αεροσυμπιεστή χωρίς το φίλτρο εισόδου, καθώς ξένα σωματίδια ή σκόνη είναι δυνατό να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά στα εσωτερικά τμήματα του συμπιεστή.**





## Μέτρα ασφαλείας

Συσκευές	Ατομικά μέτρα ασφαλείας για την χρήση εργαλείων αέρα
Αεροτριβείο	γυαλιά ,γάντια ,ωτοασπίδες
Αεροκασάνια	γάντια ,ωτοασπίδες
Αεροτροχός	γυαλιά ,γάντια ,ωτοασπίδες
Αεροδράπανο	γυαλιά ,ωτοασπίδες
Αεροκατσάβιδο	ωτοασπίδες
Αεροπρισιναδόρος	ωτοασπίδες
Αεροψάλιδο	γάντια
Πιστόλι αέρα	γυαλιά
Πιστόλι αμμοβολής εντός θαλάμου	γυαλιά ,γάντια ,ωτοασπίδες και ειδικό κλοβό
Ματσακόνι	γυαλιά ,γάντια ,ωτοασπίδες