



*A holistic framework  
for **Empowering SME's**  
capacity to increase  
their energy **efficiency***



## Ενεργειακές ανάγκες εγκαταστάσεων παραγωγής **Συστήματα Πεπιεσμένου Αέρα – Compressed Air Systems (CAS)**

**Συστήματα ενεργειακής αποδοτικότητας, μετρήσεις και λύσεις.  
Δυνατότητες διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας.  
Διδακτική Ενότητα 2 (ΔΕ2)**

**Νικόλαος Πασιαλής**  
*Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών*  
**Ενεργειακός Ελεγκτής Γ' Τάξης**



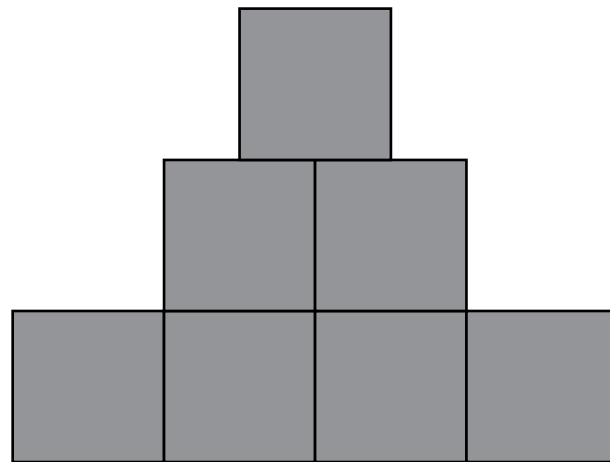
Θεσσαλονίκη 03/03/2021



Το έργο αυτό χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας χρηματοδότησης υπ' αριθ. 847132

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ



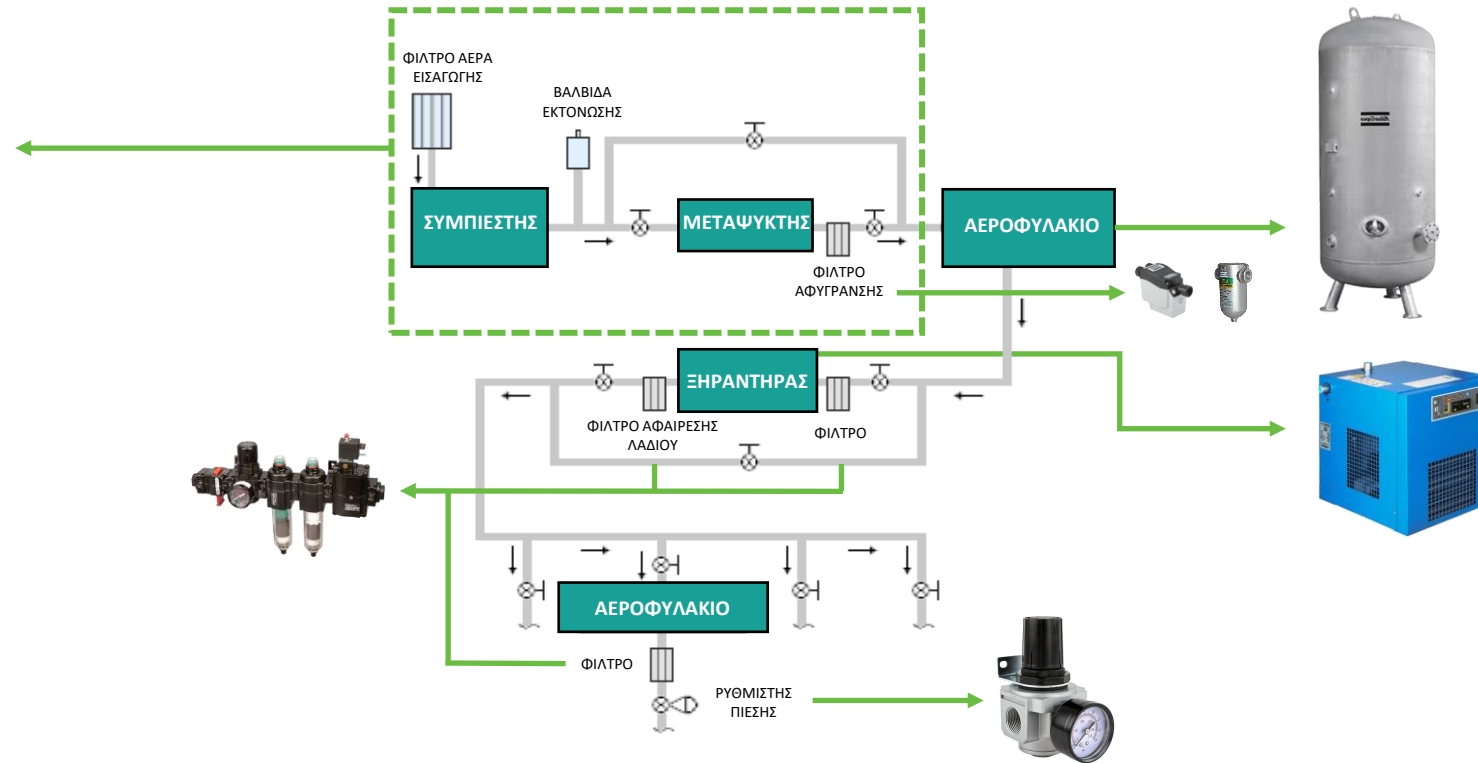
7 ΚΥΒΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΕΡΑ  
ΠΙΕΣΗ 1 bar



1 ΚΥΒΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΕΡΑ  
ΠΙΕΣΗ 7 bar

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ – ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



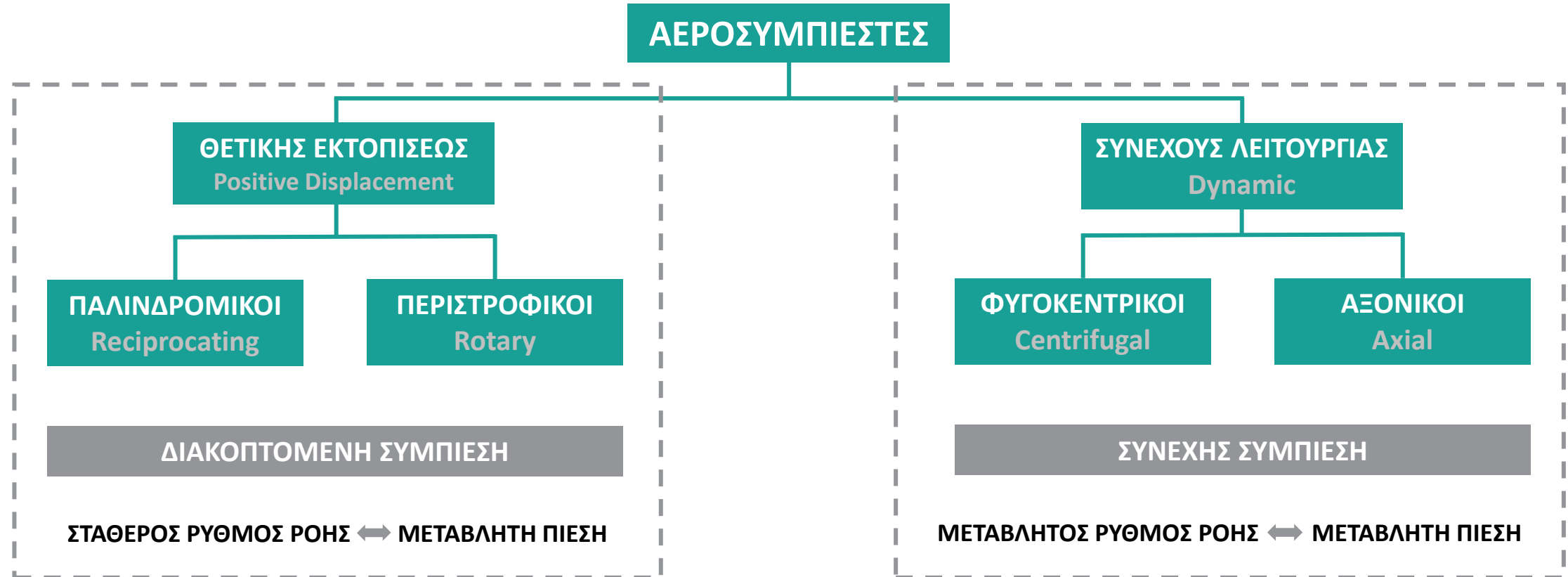
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ



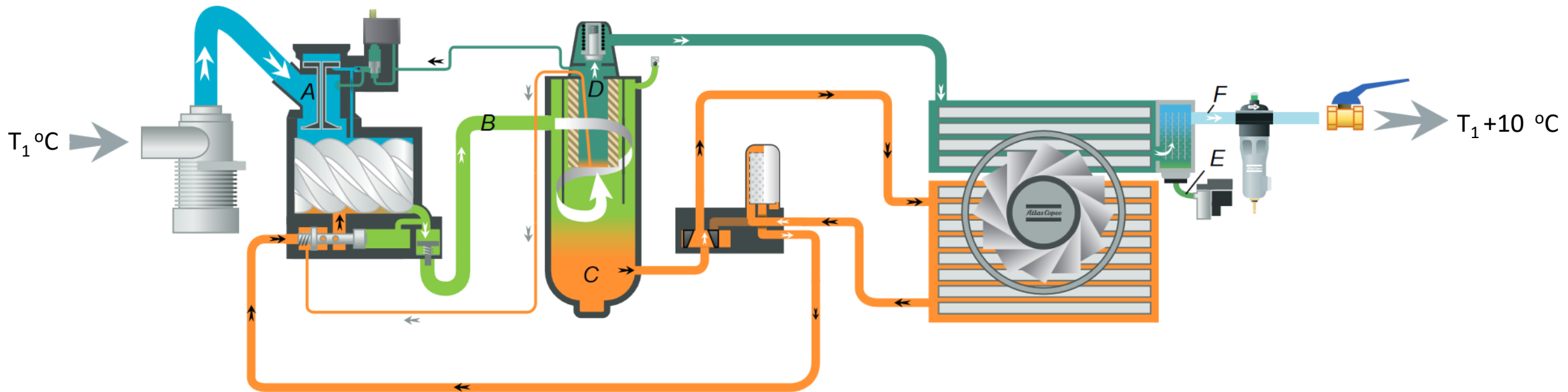
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ – ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



A ● ΑΕΡΑΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

B ● ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΣ ΑΕΡΑΣ ΜΕ ΛΑΔΙ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

C ● ΘΕΡΜΟΑΓΩΓΙΜΟ ΛΑΔΙ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

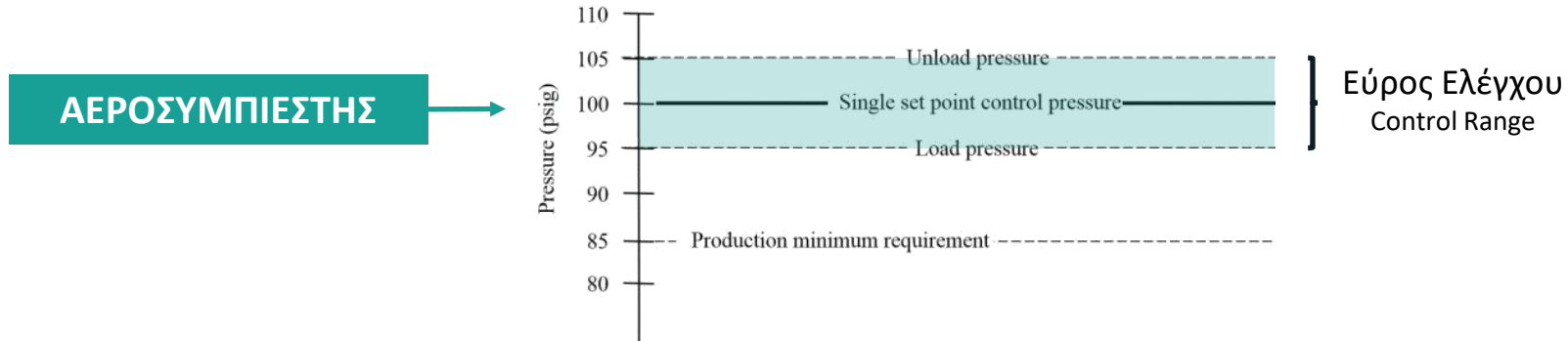
D ● ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΣ ΑΕΡΑΣ ΜΕ ΥΓΡΑΣΙΑ

E ● ΑΠΟΒΟΛΗ 90% ΥΓΡΑΣΙΑΣ H<sub>2</sub>O

F ● ΞΗΡΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΣ ΑΕΡΑΣ

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ



### Start/Stop

Reciprocating }  
Rotary } < 30 kW

### Load/Unload

Reciprocating }  
Rotary } > 30 kW

2 steps }  
3 steps } Εκφόρτιση  
5 steps } συμπίεσης

### Modulating inlet control

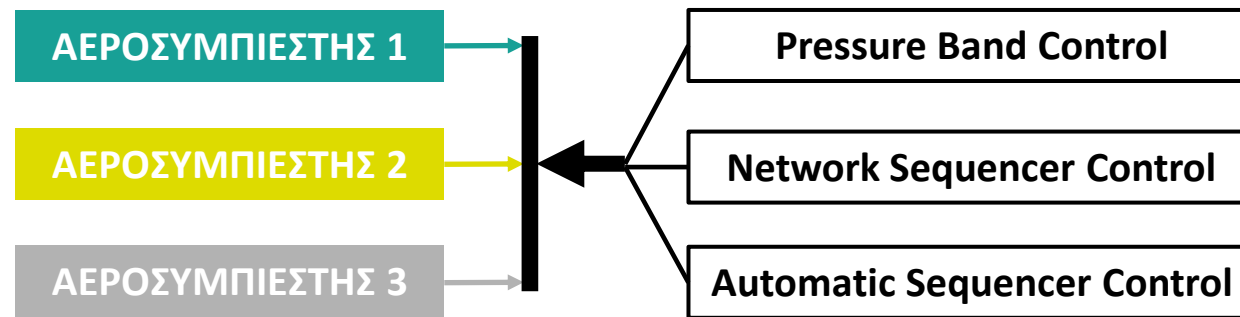
Centrifugal }  
Rotary (lubricant ejected) }  
~~Reciprocating }  
Rotary (lubricant free) }~~

### Variable Frequency Drive

Reciprocating }  
Rotary }  
Operation 30-80% full load.

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

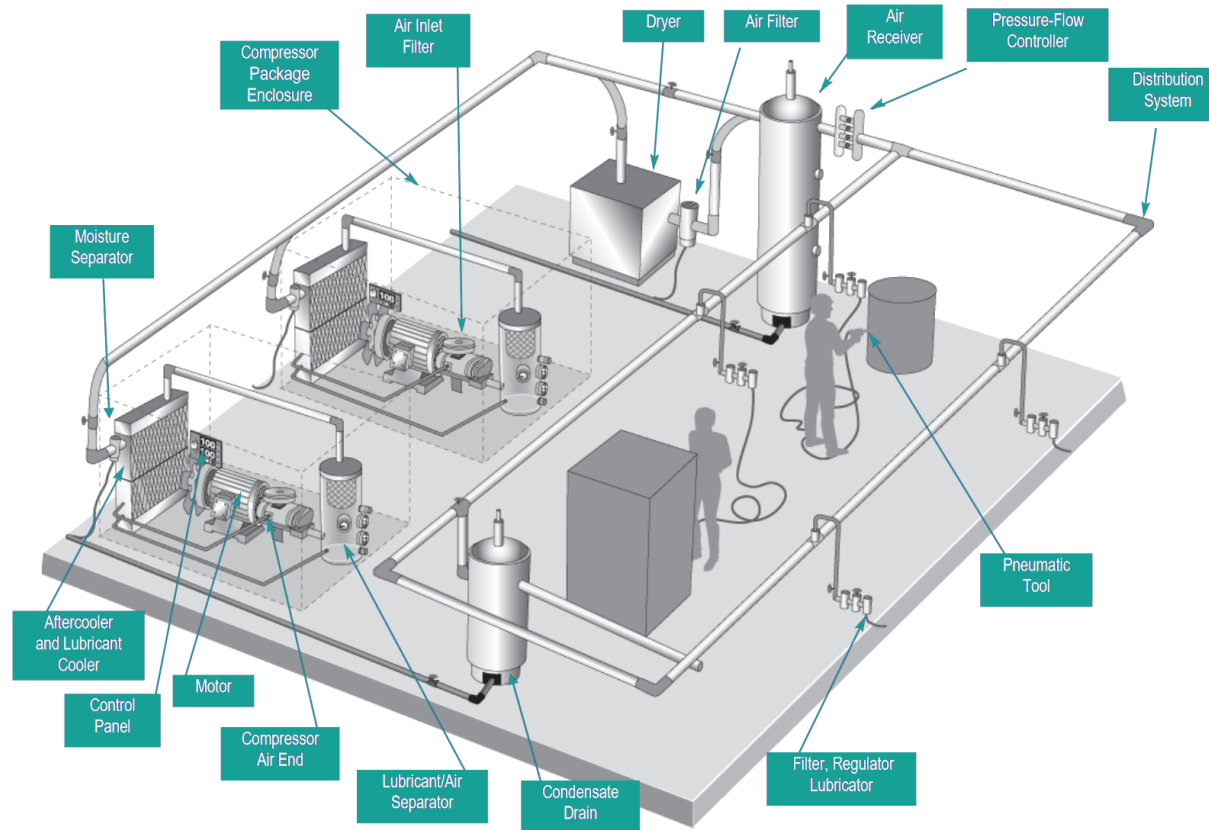
## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ





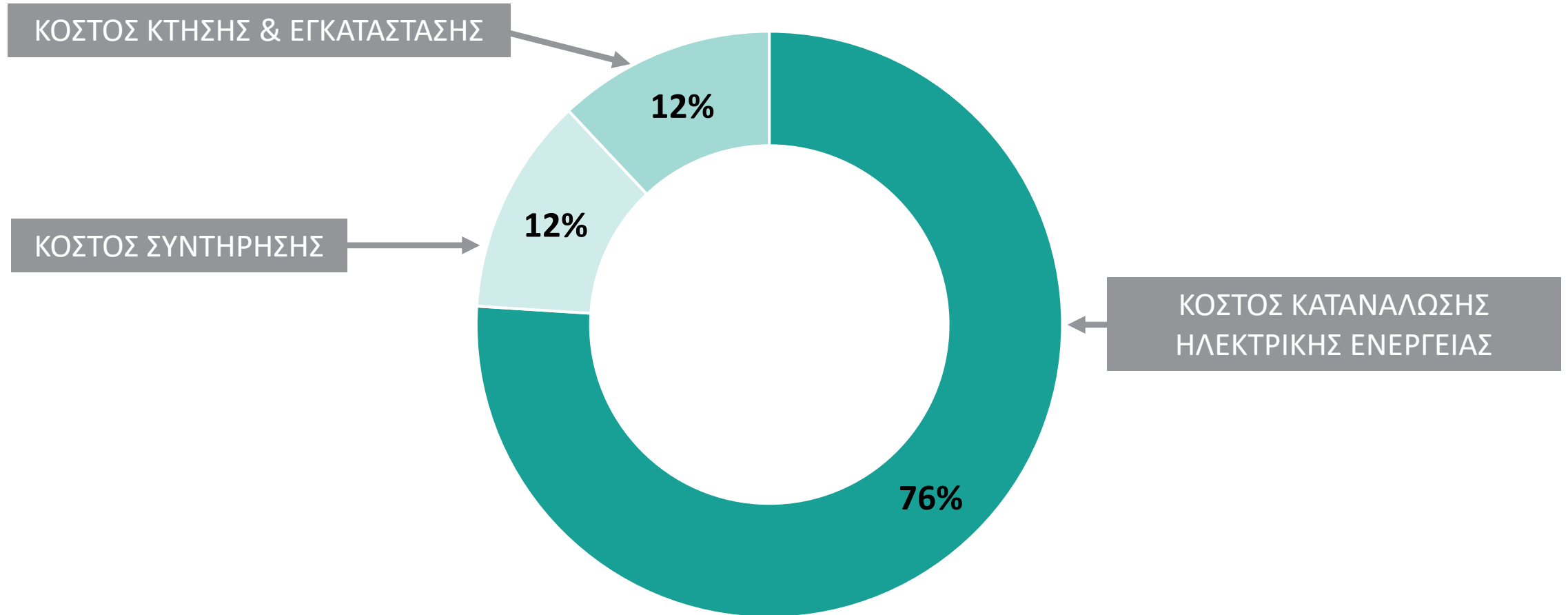
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ



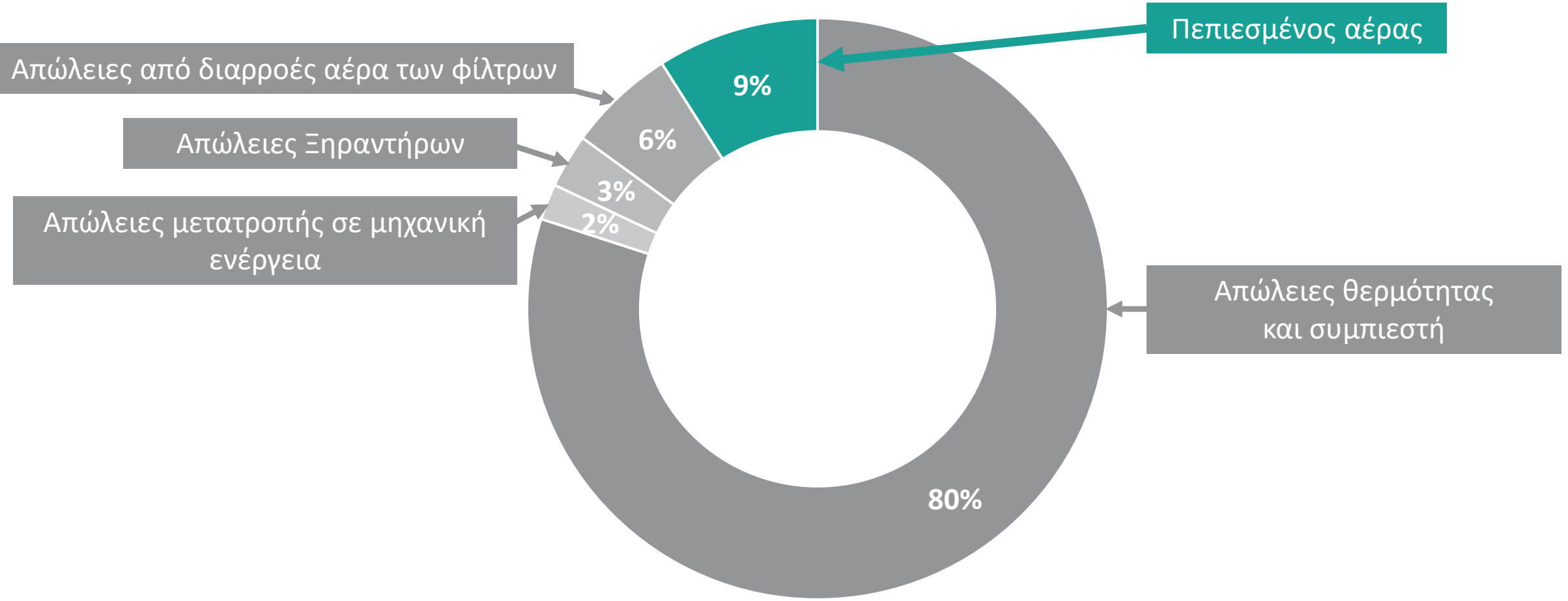
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΕΡΓΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



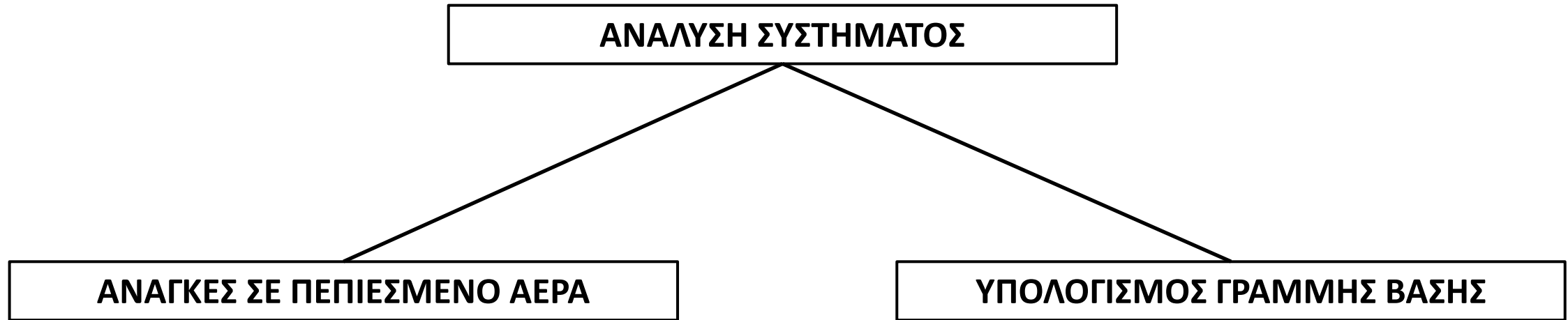
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΥΞΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΑΕΡΑ

| Ποιότητα αέρα |                               |
|---------------|-------------------------------|
| 0             | Γενικής χρήσης                |
| 1             | Εργαστήρια, βαφεία            |
| 2             | Τρόφιμα, φάρμακα, ηλεκτρονικά |
| 3             | Νοσοκομεία, αναπνευστήρες     |

Συμπιεστής < Lubricant-free  
Συμβατικός +  
Επιπλέον φίλτρα

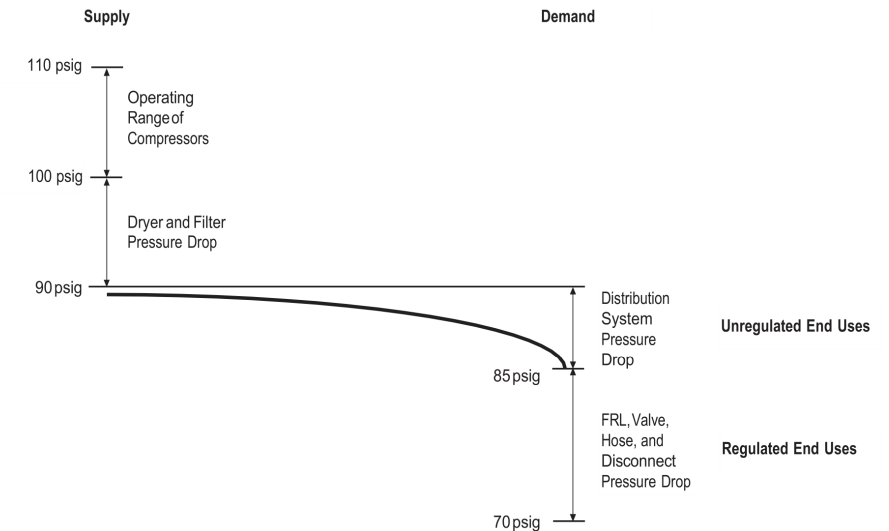
### Ποσότητα αέρα

$$m_{total}^3 = \sum \bar{m}_{process(i)}^3$$

Αντιστάθμιση ζήτησης με χρήση  
αεροφυλακίων

+  
Αποφυγή υπερδιαστασιολόγησης  
αεροσυμπιεστών

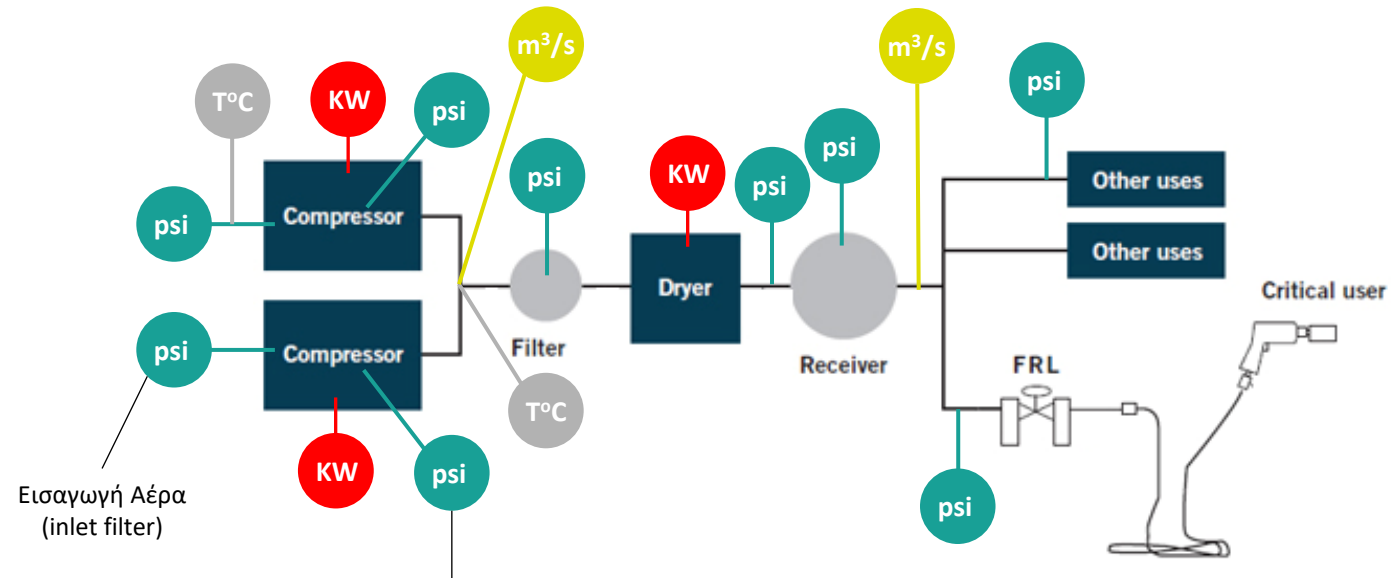
### Πίεση αέρα



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΒΑΣΗΣ



1. Διαφορική μέτρηση στον διαχωριστή αέρα/λιπαντικού
2. Σε κάθε βήμα του Load/Unload ελέγχου
3. Διαφορική μέτρηση στον μεταψύκτη (aftercooler)

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΔΡΑΣΕΙΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

**ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ**

**ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ**

**ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ**

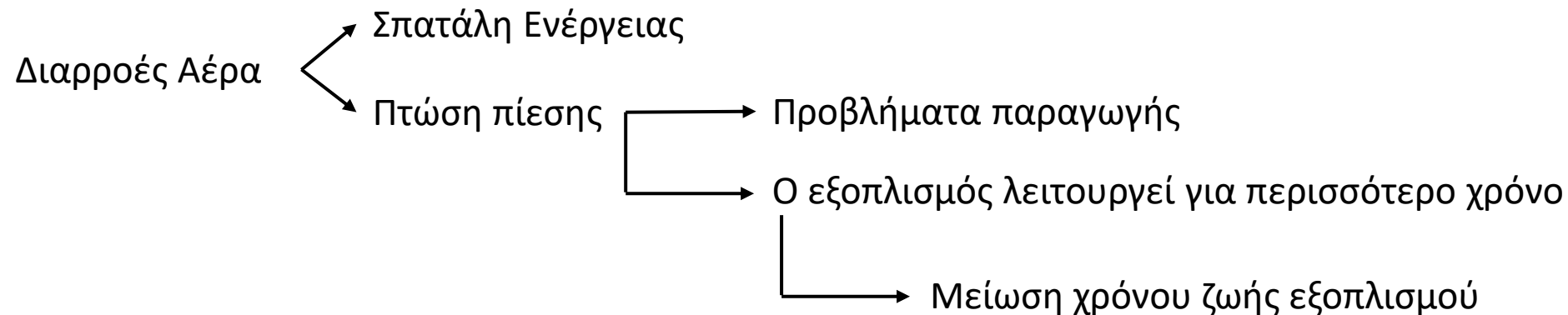
**ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ**



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

- Μία τυπική βιομηχανική εγκατάσταση έχει διαρροές της τάξης του 20-30% του συνολικού παραγόμενου αέρα
- Συχνή συντήρηση μπορεί να μειώσει τις διαρροές τουλάχιστον στο 10% του συνολικού παραγόμενου αέρα
- Συνήθως, η επιδιόρθωση διαρροών είναι μία δράση με χρόνο απόσβεσης μικρότερο των 6 μηνών

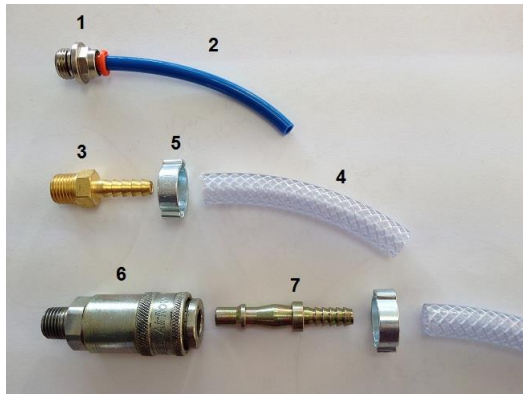


# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

### ΣΗΜΕΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΑΕΡΑ

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ



ΡΥΘΟΜΙΣΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ  
ΦΙΛΤΡΑ



ΠΑΓΙΔΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΩΝ  
ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ



ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

### ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΑΕΡΑ

|              | Ρυθμός Διαρροής NI/min |        |        |        |        |        |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | 0,5 mm                 | 1,0 mm | 1,5 mm | 2,0 mm | 2,5 mm | 3,0 mm |
| <b>3 bar</b> | 9                      | 36     | 81     | 145    | 226    | 325    |
| <b>4 bar</b> | 11                     | 45     | 102    | 181    | 282    | 407    |
| <b>5 bar</b> | 14                     | 54     | 122    | 217    | 339    | 488    |
| <b>6 bar</b> | 16                     | 63     | 142    | 253    | 395    | 569    |
| <b>7 bar</b> | 18                     | 72     | 163    | 289    | 452    | 651    |
| <b>8 bar</b> | 20                     | 81     | 183    | 325    | 508    | 732    |

Ρυθμός διαρροής

| ΔΙΑΡΡΟΗ<br>mm | 1 ΒΑΡΔΙΑ<br>2250 hrs/year | 2 ΒΑΡΔΙΕΣ<br>4250 hrs/year | 3 ΒΑΡΔΙΕΣ<br>8400 hrs/year |
|---------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1,5           | 200 €                     | 380 €                      | 750 €                      |
| 6             | 3.210 €                   | 6.070 €                    | 11.990 €                   |
| 9,5           | 7.230 €                   | 13.650 €                   | 26.980 €                   |
| 12,5          | 12.820 €                  | 24.210 €                   | 47.850 €                   |

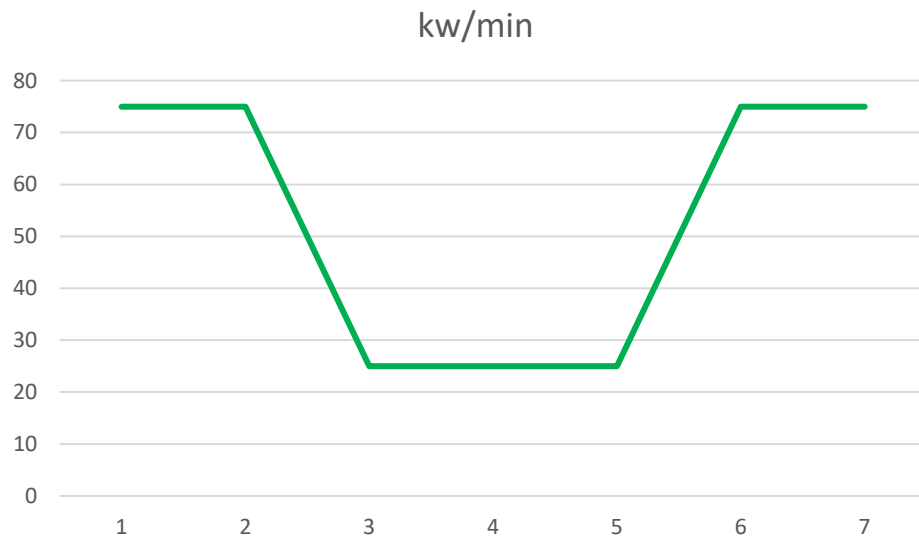
Ετήσιο κόστος διαρροών αέρα για χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας €0,85/kWh  
σε δίκτυο πεπιεσμένου αέρα που λειτουργεί στα 7 bar

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΑΕΡΑ

Λειτουργία Load/Unload αεροσυμπιεστή χωρίς καταναλώσεις αέρα



Ονομαστικά Στοιχεία Αεροσυμπιεστή: 75 kW, 400 cfm (11,3 m<sup>3</sup>/min)

$$\left. \begin{array}{l} t_{load} = 2 \text{ min} \\ t_{unload} = 3 \text{ min} \end{array} \right\} t_{total} = t_{load} + t_{unload} = 5 \text{ min}$$

$$Comp_{load} = t_{unload} / t_{load} = 2 / 5 = 40\%$$

$$\text{Διαρροή} = 40\% \times 400 \text{ cfm} = 160 \text{ cfm}$$

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

### ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΑΕΡΑ

Ultrasonic Leakage Detector



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

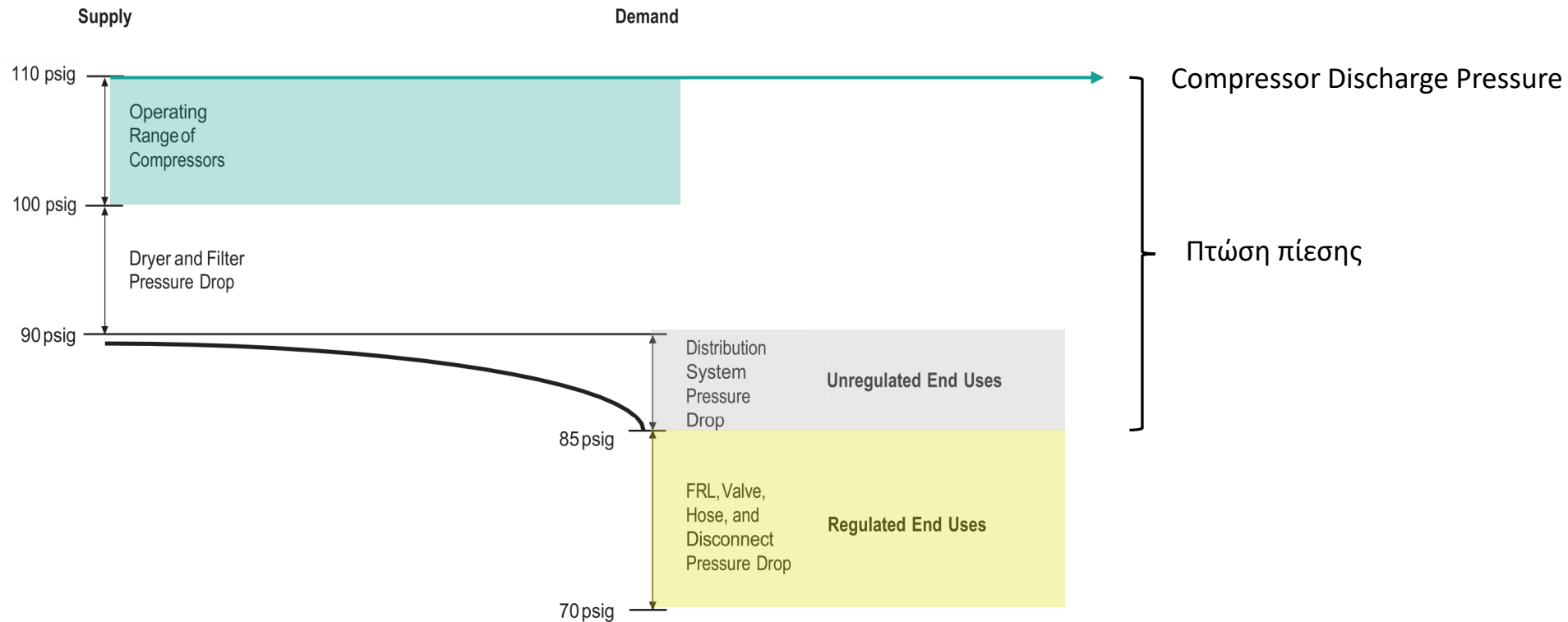
## ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΑΕΡΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

### ΔΡΑΣΕΙΣ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΑΕΡΑ

- Συχνή συντήρηση εξοπλισμού.
- Προσοχή στις διατάξεις που ενώνονται με εξαρτήματα του δικτύου πεπιεσμένου αέρα (φίλτρα, παγίδες συμπυκνωμάτων, ρυθμιστές πίεσης, κλπ.).
- Απομόνωση της παροχής πνευματικών διατάξεων και μηχανών όταν δεν λειτουργούν με βαλβίδα απομόνωσης.
- Μείωση της πίεσης του παρεχόμενου αέρα όπου και εάν είναι εφικτό.
- Χρησιμοποίηση υλικών καλής ποιότητας στα σημεία συνδέσεων.

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ

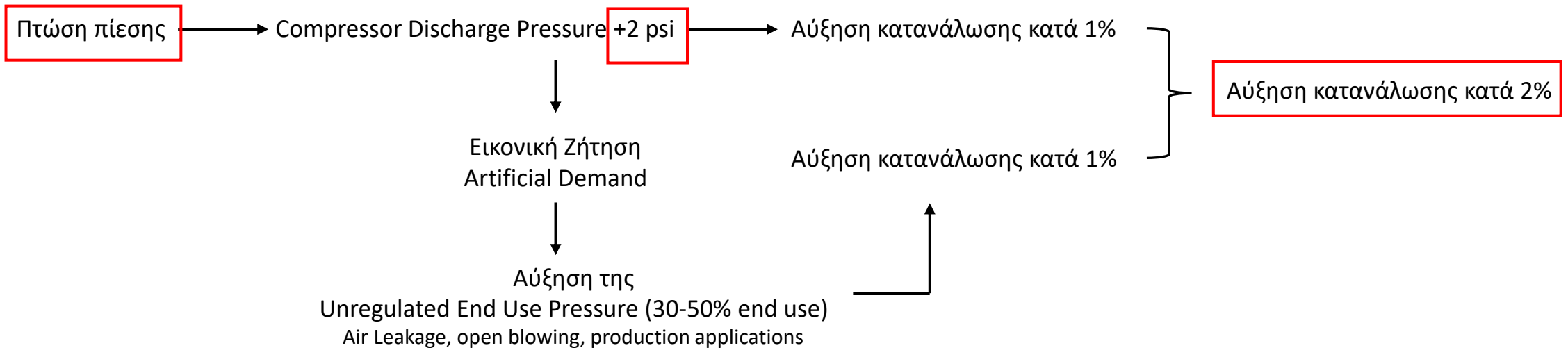


# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ

### ΣΗΜΕΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Μεταψύκτης (aftercooler)
- Διαχωριστής λιπαντικού/αέρα αεροσυμπιεστή
- Διατάξεις διαχείρισης ποιότητας αέρα (φίλτρα, ξηραντήρες)
- Βαλβίδες ελέγχου





# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ

### ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Μεταψύκτης (aftercooler)
  - Διαχωριστές υγρασίας
  - Διατάξεις διαχείρισης ποιότητας αέρα (φίλτρα, ξηραντήρες)
- } Παρουσιάζουν την μικρότερη δυνατή πτώση πίεσης στις μέγιστες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος
- Περιοδική Συντήρηση των διατάξεων επεξεργασίας της ποιότητας του αέρα ώστε ο αέρας που κυκλοφορεί στο δίκτυο να έχει την μικρότερη δυνατή περιεκτικότητα σε υγρασία και να αποφευχθεί η διάβρωση του εσωτερικού των σωληνώσεων διανομής.
  - Οποιοδήποτε υλικό ή διάταξη πρόκειται να προστεθεί στο δίκτυο διανομής, το πιο πιθανό είναι ότι θα προκαλέσει πτώση πίεσης. Πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη η πτώση πίεσης που θα προκαλέσει.
  - Ορθή διαστασιολόγηση ρυθμιστών πίεσης, διατάξεων λίπανσης, εύκαμπτων σωληνώσεων, κλπ. Η διαστασιολόγηση του υλικού θα πρέπει να προκαλεί την ελάχιστη δυνατή πτώση πίεσης στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας πίεσης και ροής του εξαρτήματος και όχι στην μέση τιμή τους.
  - Αποδοτικό σύστημα ελέγχου του δικτύου αεροσυμπιεστών. (Θα το αναλύσουμε παρακάτω).

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΕΡΑ – ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΑ (Air Tank)

### ΧΡΗΣΗ AIR TANKS

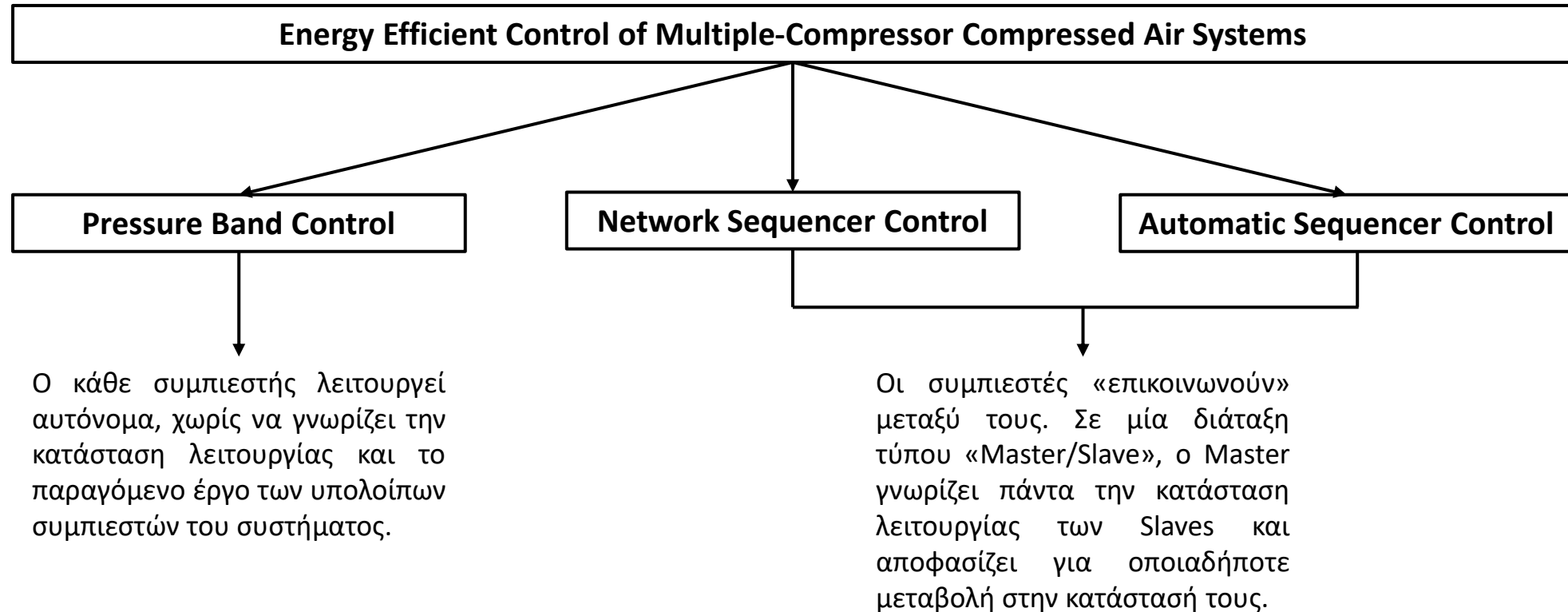
Ο βασικός σκοπός ενός αεροφυλάκιου (air tank) είναι η αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα για άμεση χρήση όταν ζητηθεί.  
Επιπλέον:

- Αντισταθμίζει περιόδους ξαφνικής αύξησης ζήτησης (peak demand) ελαχιστοποιώντας τις πτώσεις πίεσης και εξομαλύνοντας το peak ζήτησης παρέχοντας αποθηκευμένο αέρα
- Εγκατεστημένο πριν από πνευματικές μηχανές και εργαλεία ευαίσθητα σε απότομες αυξομειώσεις πίεσης, τα προστατεύει καθώς αντισταθμίζει τις μεταβολές αυτές στην είσοδό του.
- Εάν είναι εγκατεστημένο κοντά στις πνευματικές μηχανές και εργαλεία, αντισταθμίζει τον ρυθμό της πτώσης πίεσης

**ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Η ΣΩΣΤΗ ΧΡΗΣΗ AIR TANKS ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ, ΘΑ ΑΥΞΗΣΕΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

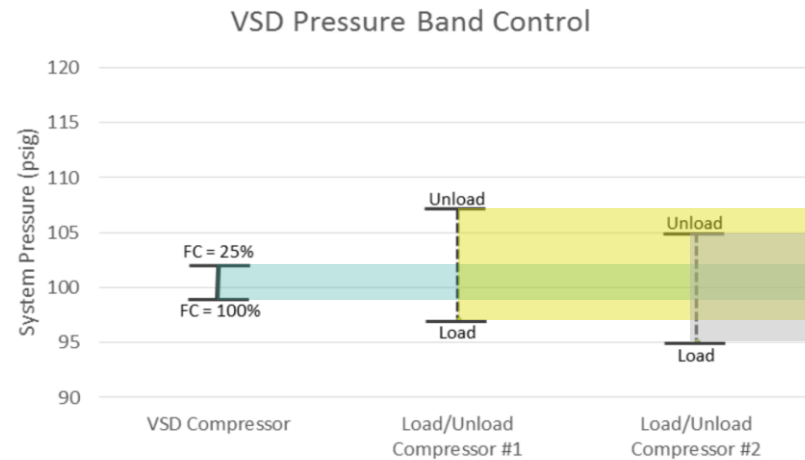
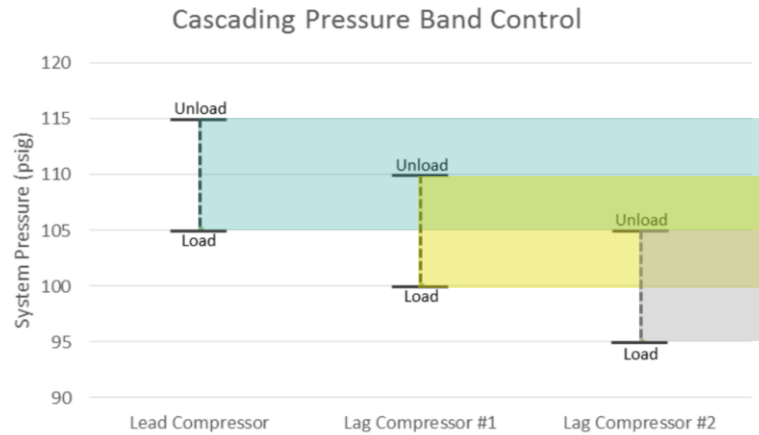
## ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

### Pressure Band Control



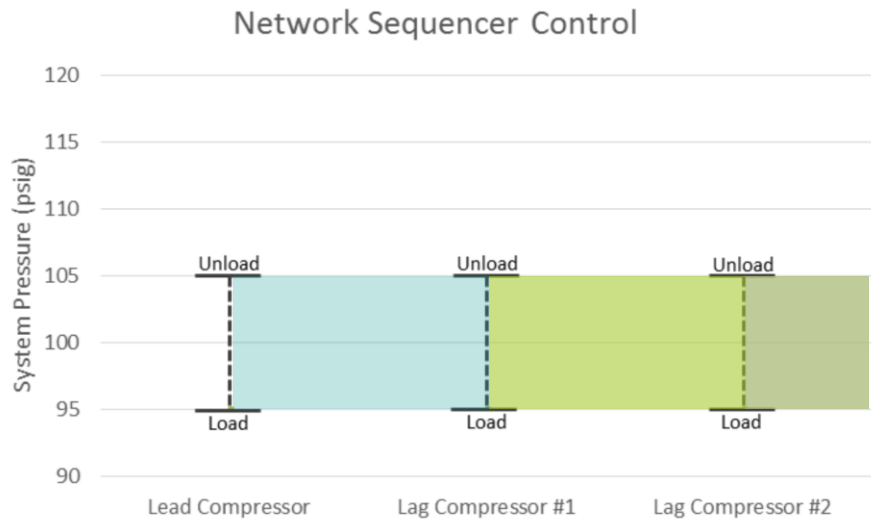
#### Μειονεκτήματα:

- Μεγάλες διακυμάνσεις πίεσης στο δίκτυο πεπιεσμένου αέρα
- Αργή απόκριση σε διακυμάνσεις της ζήτησης

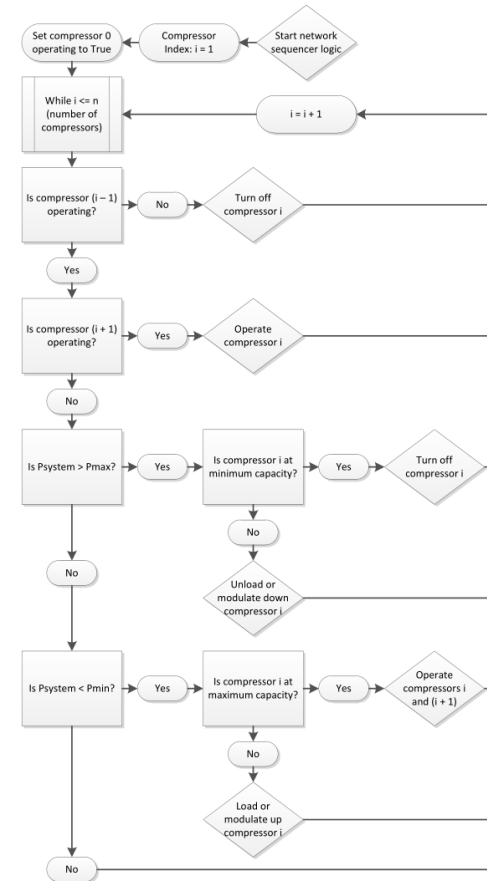
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

### Network Sequencer Control



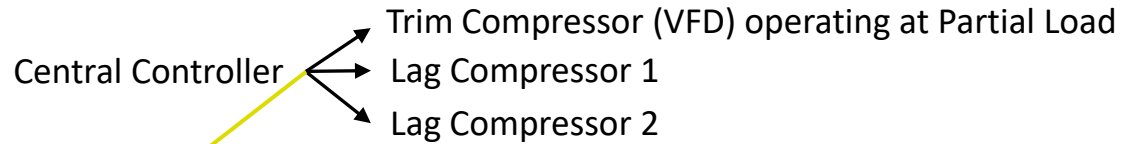
Lead Compressor → Lag Compressor 1  
 → Lag Compressor 2  
 1 κοινό σημείο μέτρησης πίεσης



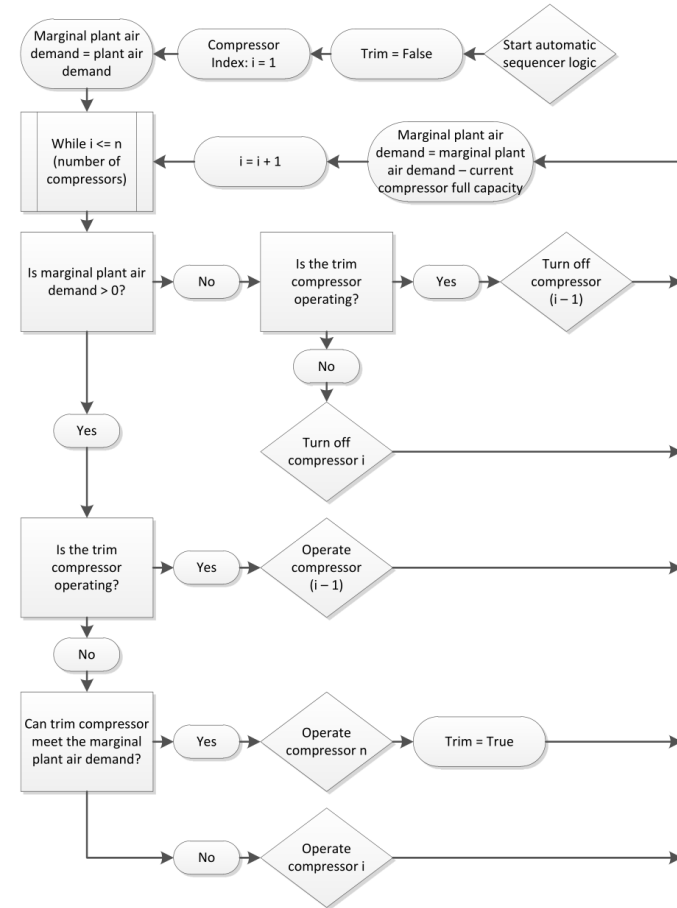
# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

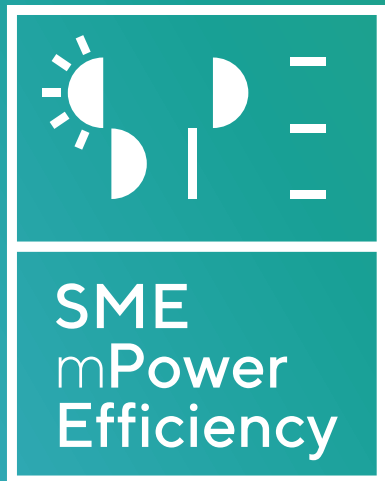
## ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

### Automatic Sequencer Control



System Pressure  
System Pressure changing rate  
Plant Air Demand  
Each Compressor's output and power demand  
Drier performance  
Pressure drop across filters








Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Νικόλαος Πασιαλής  
n.pasialis@enerca.eu

ΑΚΟΛΟΥΘΗΣΤΕ ΜΑΣ

-  SMEmPower H2020
-  @SmeH2020
-  SMEmPOWER Energy Efficiency

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



Το έργο αυτό χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας χρηματοδότησης υπ' αριθ. 847132

# Εταίροι του έργου



POWER SYSTEMS LABORATORY  
ARISTOTLE UNIVERSITY OF  
THESSALONIKI



Teesside  
University



ŠTAJERSKA  
GOSPODARSKA  
ZBORNICA



UNIVERSITATEA  
TEHNICĂ  
DIN CLUJ-NAPOCA



OEB



Energy is money! We save both.



energiada



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto  
Ingeniería  
Energética



adelphi



UNIVERSITY OF  
WESTERN MACEDONIA