

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1.1 Ορισμός

Τα **πνευματικά συστήματα** είναι συστήματα μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούν **πεπιεσμένο αέρα** ως μέσο για τη μεταφορά ενέργειας και τον έλεγχο μηχανικών κινήσεων. Σε ένα πλοίο, ο πεπιεσμένος αέρας παράγεται από αεροσυμπιεστές και αποθηκεύεται σε ειδικές φιάλες (αεροφιάλες) για μελλοντική χρήση.

1.1.2 Σημασία στα Πλοία

Τα πνευματικά συστήματα αποτελούν **ζωτικό μέρος** της λειτουργίας ενός σύγχρονου πλοίου:

- **Εκκίνηση Κύριας Μηχανής:** Ο πεπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται για την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα και την εκκίνηση μεγάλων δίχρονων ντιζελοκινητήρων.
- **Σύστημα Ελέγχου:** Πνευματικά σήματα ελέγχουν πολλές λειτουργίες (π.χ. θέση βαλβίδων, ροή καυσίμου).
- **Συναγερμοί & Ασφάλεια:** Πολλά συστήματα συναγερμού και ασφαλείας βασίζονται σε πνευματική ενεργοποίηση.
- **Εργαλεία & Βοηθητικά Συστήματα:** Πνευματικά εργαλεία (γυαλιστικά, δράπανα), σύστημα καθαρισμού σωληνώσεων (blowing through), κόρνες.

1.1.3 Πλεονεκτήματα Πνευματικών Συστημάτων

Πλεονέκτημα	Επεξήγηση	Παράδειγμα Εφαρμογής
Ασφάλεια	Ο αέρας δεν αναφλέγεται, δεν υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς	Χρήση σε περιβάλλοντα με εύφλεκτα υλικά (μηχανοστάσιο)
Καθαρότητα	Δεν υπάρχουν διαρροές λαδιού που μολύνουν το περιβάλλον	Εργαλεία σε καμπίνες επιβατών
Αποθήκευση Ενέργειας	Ο αέρας μπορεί να αποθηκευτεί σε φιάλες για άμεση χρήση	Αεροφιάλες εκκίνησης - διαθέσιμες ακόμα κι αν σταματήσουν οι αεροσυμπιεστές
Απλότητα	Σχετικά απλή κατασκευή και συντήρηση	Πνευματικοί κύλινδροι με λίγα κινούμενα μέρη
Ταχύτητα Απόκρισης	Γρήγορη κίνηση ενεργοποιητών	Γρήγορο άνοιγμα/κλείσιμο βαλβίδων ασφαλείας
Οικονομία	Χαμηλό κόστος παραγωγής και διανομής	Κεντρικό σύστημα αέρα τροφοδοτεί πολλές εφαρμογές

1.1.4 Μειονεκτήματα Πνευματικών Συστημάτων

Μειονέκτημα	Επεξήγηση	Συνέπεια
Περιορισμένη Δύναμη	Σε σχέση με υδραυλικά, ο αέρας δεν μπορεί να αναπτύξει πολύ υψηλές πιέσεις οικονομικά	Μέγιστες πιέσεις συνήθως 7-10 bar (συγκριτικά με 150-300 bar σε υδραυλικά)
Συμπιεστότητα	Ο αέρας συμπιέζεται, οπότε η κίνηση δεν είναι τόσο ακριβής	Δυσκολία σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή στάση (positioning)
Θόρυβος	Η εξάτμιση του αέρα δημιουργεί θόρυβο	Απαιτούνται σιγαστήρες εξάτμισης
Κόστος Παραγωγής	Η συμπίεση του αέρα απαιτεί ενέργεια	Απόδοση συστήματος συνολικά ~10-20%
Υγρασία	Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει υγρασία που πρέπει να αφαιρεθεί	Απαιτείται εξοπλισμός ξήρανσης και φιλτραρίσματος

1.1.5 Βασικές Ιδιότητες του Πεπιεσμένου Αέρα

Ο **πεπιεσμένος αέρας** είναι ατμοσφαιρικός αέρας που έχει συμπιεστεί σε μικρότερο όγκο, αυξάνοντας έτσι την πίεσή του.

Σύνθεση Αέρα:

- Άζωτο (N₂): ~78%

- Οξυγόνο (O₂): ~21%
- Άλλα αέρια (CO₂, Ar, κ.λπ.): ~1%
- Υδρατμοί (μεταβλητή ποσότητα)

Κρίσιμες Ιδιότητες για Ναυτικές Εφαρμογές:

1. **Ελαστικότητα:** Ο αέρας μπορεί να συμπιεστεί και να επανέλθει - χρήσιμο για απορρόφηση κραδασμών.
2. **Διάχυση:** Ο αέρας διαφεύγει εύκολα από διαρροές - σημασία στεγανότητας συνδέσεων.
3. **Καθαρότητα:** Πρέπει να αφαιρεθούν:
 - Υγρασία (συμπύκνωση)
 - Σωματίδια σκόνης
 - Ατμοί λαδιού από αεροσυμπιεστή

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ - ΝΟΜΟΙ ΑΕΡΙΩΝ

Η συμπεριφορά του αέρα υπό πίεση διέπεται από θεμελιώδεις φυσικούς νόμους που πρέπει να κατανοούμε για το σχεδιασμό και τη λειτουργία πνευματικών συστημάτων.

1.2.1 Νόμος του Boyle (Σταθερής Θερμοκρασίας - Ισοθερμική Διαδικασία)

Διατύπωση:

Για σταθερή θερμοκρασία, η πίεση ενός αερίου είναι *αντιστρόφως ανάλογη* του όγκου του.

Μαθηματική Έκφραση:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \quad (\text{σε σταθερή θερμοκρασία } T)$$

Όπου:

- P_1, P_2 = Αρχική και τελική πίεση (bar, Pa)
- V_1, V_2 = Αρχικός και τελικός όγκος (m³, L)

Τι σημαίνει στην πράξη;

- Αν **συμπιέσω** τον αέρα (μικρότερος όγκος) → η πίεση **αυξάνεται**.
- Αν **επεκταθεί** ο αέρας (μεγαλύτερος όγκος) → η πίεση **μειώνεται**.

Παράδειγμα:

Έχω 10 m³ αέρα σε 1 bar (ατμοσφαιρική πίεση).

Τον συμπιέζω σε 2 m³.

Ποια θα είναι η νέα πίεση;

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$1 \text{ bar} \times 10 \text{ m}^3 = P_2 \times 2 \text{ m}^3$$

$$P_2 = (1 \times 10) / 2 = 5 \text{ bar}$$

Εφαρμογή στο πλοίο:

Όταν ο αεροσυμπιεστής συμπιέζει αέρα από την ατμόσφαιρα (1 bar) και τον στέλνει στην αεροφιάλη (30 bar), ο όγκος του μειώνεται 30 φορές!

Πρακτική Εφαρμογή:

Αν συμπιέσουμε 10 λίτρα αέρα από 1 bar σε 10 bar (σταθερή θερμοκρασία), ο όγκος θα γίνει:

$$1 \text{ bar} \times 10 \text{ L} = 10 \text{ bar} \times V_2$$

$$V_2 = 1 \text{ L}$$

Ναυτικό Παράδειγμα:

Κατά την πλήρωση αεροφιάλης 50 L από 0 bar (κενή) σε 30 bar, θεωρητικά έχουμε συμπιέσει:

$$30 \text{ bar} \times 50 \text{ L} = 1 \text{ bar} \times V_{\text{ατμοσφαιρικός}}$$

$$V_{\text{ατμοσφαιρικός}} = 1500 \text{ L ατμοσφαιρικού αέρα}$$

1.2.2 Νόμος του Charles (Σταθερής Πίεσης - Ισοβαρική Διαδικασία)

Διατύπωση:

Για σταθερή πίεση, ο όγκος ενός αερίου είναι *ευθέως ανάλογος* της απόλυτης θερμοκρασίας του.

Μαθηματική Έκφραση:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \text{ (σε σταθερή πίεση P)}$$

Όπου:

- T = απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin (K)
 - $K = ^\circ C + 273$

Τι σημαίνει στην πράξη;

- Αν θερμάνω τον αέρα → ο όγκος του **αυξάνεται**.
- Αν ψύξω τον αέρα → ο όγκος του **μειώνεται**.

Παράδειγμα:

Ένα μπαλόνι με αέρα στους 20°C έχει όγκο 5 λίτρα.

Αν το θερμάνω στους 80°C, τι όγκο θα έχει;

$$T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = 80 + 273 = 353 \text{ K}$$

$$V_2 = V_1 \times (T_2 / T_1)$$

$$V_2 = 5 \times (353 / 293) = 6.02 \text{ λίτρα}$$

Πρακτική Εφαρμογή:

Ένας κύλινδρος με έμβολο ελεύθερο να κινείται (σταθερή πίεση). Αν θερμανθεί από 20°C σε 80°C:

$$V_1/(20+273) = V_2/(80+273)$$

$$V_1/293 = V_2/353$$

$$V_2 = V_1 \times (353/293) = V_1 \times 1.20$$

Δηλαδή, ο όγκος αυξάνεται κατά 20%

Εφαρμογή στο πλοίο:

Κατά τη συμπίεση, ο αέρας θερμαίνεται πολύ (μερικές φορές πάνω από 150°C)! Γι' αυτό χρησιμοποιούμε **ψυγεία (aftercoolers)** για να τον ψύξουμε πριν τον αποθηκεύσουμε.

1.2.3 Νόμος του Gay-Lussac (Σταθερού Όγκου - Ισόχωρη Διαδικασία)

Διατύπωση:

Για σταθερό όγκο, η πίεση ενός αερίου είναι *ευθέως ανάλογη* της απόλυτης θερμοκρασίας του.

Μαθηματική Έκφραση:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \text{ (σε σταθερό όγκο V)}$$

Πρακτική Εφαρμογή:

Μια αεροφιάλη (σταθερού όγκου) πληρώνεται στους 20°C με πίεση 30 bar. Αν η θερμοκρασία ανέβει στους 50°C:

$$30/(20+273) = P_2/(50+273)$$

$$30/293 = P_2/323$$

$$P_2 = 30 \times (323/293) = 33.07 \text{ bar}$$

Παράδειγμα:

Μια αεροφιάλη έχει πίεση 200 bar στους 20°C.

Τι πίεση θα έχει αν θερμανθεί στους 60°C;

$$T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = 60 + 273 = 333 \text{ K}$$

$$P_2 = P_1 \times (T_2 / T_1)$$

$$P_2 = 200 \times (333 / 293) = 227.3 \text{ bar}$$

Εφαρμογή στο πλοίο:

Οι αεροφιάλες πρέπει να προστατεύονται από υπερβολική θερμότητα. Μια φιάλη κοντά σε θερμή επιφάνεια μπορεί να αυξήσει επικίνδυνα την πίεση της → **Κίνδυνος έκρηξης!**

ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ: Αυτός είναι ο λόγος που οι αεροφιάλες έχουν **ανακουφιστικές βαλβίδες (safety valves)**. - η θερμοκρασιακή αύξηση σε κλειστό χώρο αυξάνει επικίνδυνα την πίεση!

1.2.4 Γενικός Νόμος Ιδανικών Αερίων

Όταν αλλάζουν **και τα τρία** (πίεση, όγκος, θερμοκρασία), χρησιμοποιούμε:

$$(P_1 \times V_1) / T_1 = (P_2 \times V_2) / T_2$$

Πρακτική εφαρμογή:

Αυτός ο νόμος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ποσότητας αέρα που χρειάζεται για την εκκίνηση της μηχανής υπό διάφορες συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος, υψόμετρο κτλ.).

Εναλλακτική Μορφή:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Όπου:

- n = αριθμός moles αερίου
- R = σταθερά ιδανικών αερίων ($8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)

1.2.5 Έννοιες Πίεσης

A. Απόλυτη Πίεση (P_{abs})

Η **πραγματική** πίεση που μετράται από το απόλυτο μηδέν (κενό).

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{ατμοσφαιρική}} + P_{\text{σχετική}}$$

B. Σχετική Πίεση (Manometric Pressure, P_{gauge})

Η πίεση που **μετράται πάνω** από την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτή δείχνουν τα **μανόμετρα**.

$$P_{\text{σχετική}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{ατμοσφαιρική}}$$

Παράδειγμα:

- Μανόμετρο δείχνει: 7 bar (σχετική πίεση)
- Ατμοσφαιρική πίεση: 1 bar
- Απόλυτη πίεση: $7 + 1 = 8 \text{ bar abs}$

Γ. Κενό (Vacuum)

Όταν η απόλυτη πίεση είναι **μικρότερη** από την ατμοσφαιρική.

Στα πλοία:

- Απόλυτο κενό: 0 bar abs
- Ατμοσφαιρική πίεση: ~1 bar
- Κενό 0.7 bar σημαίνει: Απόλυτη πίεση = $1 - 0.7 = 0.3 \text{ bar abs}$

Εφαρμογές Κενού στα Πλοία:

- Συμπυκνωτές ατμού
- Συστήματα αποστράγγισης λυμάτων
- Φίλτρα κενού

1.2.6 Υγρασία στον Αέρα

Σημείο Δρόσου (Dew Point)

Η θερμοκρασία στην οποία ο υδρατμός στον αέρα αρχίζει να **συμπυκνώνεται** σε υγρό (νερό).

Γιατί είναι σημαντικό:

Όταν ο πεπιεσμένος αέρας ψύχεται (π.χ. σε σωληνώσεις που περνούν από ψυχρά σημεία του πλοίου), η υγρασία συμπυκνώνεται και δημιουργεί:

1. **Διάβρωση** σε μεταλλικά εξαρτήματα (βαλβίδες, κυλίνδρους)
2. **Πάγο** σε κρύα κλίματα → απόφραξη σωληνώσεων
3. **Δυσλειτουργίες** σε ακριβή όργανα ελέγχου
4. **Μόλυνση** λιπαντικού (γαλάκτωμα)

Σχετική Υγρασία (Relative Humidity - RH)

Η ποσότητα υδρατμών στον αέρα ως **ποσοστό του μέγιστου** που μπορεί να περιέχει σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

$$RH = (\text{Πραγματική ποσότητα υδρατμών} / \text{Μέγιστη δυνατή ποσότητα}) \times 100\%$$

Παράδειγμα:

- Αέρας στους 30°C με RH 60%
- Μέγιστη περιεκτικότητα στους 30°C: ~30 g/m³
- Πραγματική περιεκτικότητα: $30 \times 0.60 = 18 \text{ g/m}^3$

Όταν συμπιέζουμε αέρα:

Η σχετική υγρασία **αυξάνεται** επικίνδυνα, γιατί:

- Ο όγκος μειώνεται (περισσότεροι υδρατμοί σε μικρότερο χώρο)
- Η θερμοκρασία αυξάνεται αρχικά, αλλά μετά ο αέρας ψύχεται
- Όταν RH φτάσει 100% → **συμπύκνωση**

Λύση:

- **Μετα-ψύκτες (Aftercoolers):** Ψύχουν τον αέρα αμέσως μετά τη συμπίεση → συμπύκνωση υγρασίας που απομακρύνεται
- **Ξηραντές αέρα:** Αφαιρούν υπόλοιπη υγρασία
- **Υδατοπαγίδες:** Συλλέγουν συμπυκνωμένο νερό

1.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

1.3.1 Συμπεριφορά Αέρα υπό Πίεση

A. Συμπιεστικότητα

Ο αέρας είναι **ιδιαίτερα συμπίεσιμος**, σε αντίθεση με τα υγρά.

Συνέπειες:

Πλεονέκτημα	Μειονέκτημα
✓ Απορρόφηση κρούσεων	✗ Μη ακριβής έλεγχος θέσης
✓ Αποθήκευση ενέργειας	✗ Ελαστική παραμόρφωση υπό φορτίο
✓ Ομαλές κινήσεις	✗ Μεταβλητή ταχύτητα ενεργοποιητών

Πρακτικό Παράδειγμα:

Κατά την εκκίνηση μηχανής:

- Ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο από τη βαλβίδα εκκίνησης
- Επειδή είναι συμπίεσιμος, αρχικά "μαλακώνει" το χτύπημα
- Στη συνέχεια επεκτεινόμενος σπρώχνει το έμβολο προς τα κάτω

B. Διαστολή και Συστολή με Θερμοκρασία

Κατά τη Συμπίεση:

Αδιαβατική Συμπίεση (γρήγορη, χωρίς ανταλλαγή θερμότητας):

$$T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{0.286} \text{ (για αέρα)}$$

Παράδειγμα:

Συμπίεση από 1 bar, 20°C σε 8 bar:

$$T_2 = (20+273) \times (8/1)^{0.286}$$

$$T_2 = 293 \times 1.685 = 493.7 \text{ K} = 220.7^\circ\text{C}$$

Γι' αυτό οι αεροσυμπιεστές:

- Έχουν **πτερύγια ψύξης** (αερόψυκτοι)
- Έχουν **κυκλώματα νερού ψύξης** (υδρόψυκτοι)
- Χρειάζονται **μετα-ψύκτες**

Γ. Επίδραση Υγρασίας

Κίνδυνοι από Υγρό Νερό σε Πνευματικά Συστήματα:

1. Διάβρωση:

- Οξείδωση εσωτερικών επιφανειών βαλβίδων
- Σκουριά σε κυλίνδρους
- Μείωση διάρκειας ζωής εξαρτημάτων

2. Πάγωμα (σε ψυχρά κλίματα):

- Πάγος μπλοκάρει σωληνώσεις
- Παγωμένες βαλβίδες δεν λειτουργούν
- Κρίσιμο πρόβλημα σε πολικές περιοχές

3. Μείωση Λίπανσης:

- Το νερό ξεπλένει το λάδι από κινούμενα μέρη
- Αυξημένη τριβή και φθορά
- Δημιουργία γαλακτώματος (λάδι + νερό)

4. Δυσλειτουργίες Οργάνων:

- Ψευδείς ενδείξεις μανομέτρων
- Πρόβλημα σε ευαίσθητα όργανα ελέγχου
- Βραχυκυκλώματα σε ηλεκτροπνευματικά στοιχεία

Απαιτήσεις Ποιότητας Αέρα:

Σύμφωνα με το πρότυπο **ISO 8573-1**, ο πεπιεσμένος αέρας κατηγοριοποιείται:

Παράμετρος	Κατηγορία 1 (Υψηλή Ποιότητα)	Κατηγορία 3 (Βιομηχανική)
Σωματίδια	< 0.1 μm	< 5 μm
Σημείο Δρόσου	-70°C	-20°C
Περιεκτικότητα Λαδιού	< 0.01 mg/m ³	< 1 mg/m ³

Για Ναυτικές Εφαρμογές:

- **Αέρας Εκκίνησης:** Κατηγορία 2-3 (μέτρια απαιτήσεις)
- **Αέρας Ελέγχου (Όργανα):** Κατηγορία 1-2 (υψηλές απαιτήσεις)
- **Γενική Χρήση (Εργαλεία):** Κατηγορία 3-4 (χαμηλές απαιτήσεις)

1.3.2 Πίνακας Σύγκρισης: Πνευματικά vs Υδραυλικά vs Ηλεκτρικά Συστήματα

Χαρακτηριστικό	Πνευματικά	Υδραυλικά	Ηλεκτρικά
Μέσο Μετάδοσης	Πεπιεσμένος αέρας	Υδραυλικό λάδι	Ηλεκτρικό ρεύμα
Τυπική Πίεση Λειτουργίας	6-10 bar	150-300 bar	-
Δύναμη Εξόδου	Μέτρια	Πολύ υψηλή	Μέτρια-Υψηλή
Ταχύτητα Απόκρισης	Γρήγορη	Μέτρια	Πολύ γρήγορη
Ακρίβεια Ελέγχου	Χαμηλή	Μέτρια-Υψηλή	Πολύ υψηλή
Κίνδυνος Πυρκαγιάς	Κανένας	Υψηλός (λάδι εύφλεκτο)	Μέτριος (βραχυκύκλωμα)
Διαρροές	Όχι επικίνδυνες, αλλά σπατάλη ενέργειας	Επικίνδυνες (μόλυνση, ολισθηρότητα)	Δεν υπάρχουν

Χαρακτηριστικό	Πνευματικά	Υδραυλικά	Ηλεκτρικά
Κόστος Εγκατάστασης	Χαμηλό	Μέτριο-Υψηλό	Μέτριο
Συντήρηση	Εύκολη	Απαιτητική	Εύκολη-Μέτρια
Ευαισθησία σε Θερμοκρασία	Μέτρια	Υψηλή (ιξώδες)	Χαμηλή
Αποθήκευση Ενέργειας	Εύκολη (φιάλες)	Δύσκολη (συσσωρευτές)	Μπαταρίες (περιορισμένη)
Θόρυβος	Υψηλός	Μέτριος	Χαμηλός

Κριτήρια Επιλογής για Πλοία:

✓ Πνευματικά → Όταν:

- Απαιτείται ασφάλεια (μηχανοστάσιο)
- Χρειάζεται αποθήκευση ενέργειας (εκκίνηση)
- Ταχύτητα σημαντικότερη από ακρίβεια

✓ Υδραυλικά → Όταν:

- Απαιτείται μεγάλη δύναμη σε μικρό χώρο (πηδάλιο)
- Ακριβής έλεγχος θέσης (γερανοί)
- Βαριά καθήκοντα (άγκυρες)

✓ Ηλεκτρικά → Όταν:

- Απαιτείται πολύ ακριβής έλεγχος (αυτοματισμοί)
- Μεγάλες αποστάσεις (σήματα)
- Εύκολη ενσωμάτωση με συστήματα PLC/SCADA

1.3.3 Ασφάλεια στα Πνευματικά Συστήματα

Κίνδυνοι

Κίνδυνος	Αιτία	Πρόληψη
Ραγδαία εκτόνωση	Ξαφνικό άνοιγμα βαλβίδας υψηλής πίεσης	Χρήση σιγαστήρων, βαθμιαία αποσυμπίεση
Εκτίναξη εξαρτημάτων	Χαλαρές συνδέσεις υπό πίεση	Σωστή στήριξη σωληνώσεων, ασφαλείς συνδέσεις
Τραυματισμός ματιών	Αέρας με σωματίδια	Ποτέ μην κατευθύνετε αέρα προς άτομα, χρήση ΜΑΠ
Έκρηξη φιαλών	Υπερπίεση από θερμοκρασία	Ανακουφιστικές βαλβίδες, σωστή συντήρηση
Εμφύσημα δέρματος	Αέρας υψηλής πίεσης σε τραύμα	Ποτέ χρήση πεπιεσμένου αέρα για καθαρισμό ρούχων/σώματος

Βασικοί Κανόνες Ασφαλείας

ΠΡΙΝ από κάθε εργασία:

1. Αποσυμπιέστε το σύστημα
2. Απομονώστε την τροφοδοσία (κλείστε βαλβίδες)
3. Ετικετάρτε: "ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΕΞΕΛΙΞΗ - ΜΗΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΕΤΕ"
4. Βεβαιωθείτε ότι δεν υπάρχει υπολειπόμενη πίεση

ΚΑΤΑ τη διάρκεια εργασίας:

- Χρήση γυαλιών προστασίας

- Χρήση **γαντιών** (για προστασία από αιχμηρά άκρα)
- **Σταθερή στάση** σώματος κατά το άνοιγμα βαλβίδων
- **Βαθμιαία** άνοιγμα βαλβίδων

ΜΕΤΑ την εργασία:

- **Σταδιακή πλήρωση** του συστήματος με αέρα
- Έλεγχος διαρροών με σαπουνόνερο (ΠΟΤΕ με φλόγα!)
- **Επαλήθευση** σωστής λειτουργίας

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ 1

Άσκηση 1.1 - Κατανόηση Πλεονεκτημάτων

Ερώτηση:

Ποια είναι τα τρία βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης πεπιεσμένου αέρα σε ένα πλοίο; Αναφέρετε ένα παράδειγμα εφαρμογής για κάθε πλεονέκτημα.

Απάντηση:

1. **ΑΣΦΑΛΕΙΑ (Μη αναφλεξιμότητα)**
 - *Παράδειγμα:* Χρήση πνευματικών εργαλείων στο μηχανοστάσιο κοντά σε καύσιμα - δεν υπάρχει κίνδυνος σπινθήρα που θα μπορούσε να προκαλέσει πυρκαγιά.
2. **ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**
 - *Παράδειγμα:* Αεροφιάλες εκκίνησης στα 30 bar - διατηρούν αποθηκευμένη ενέργεια έτοιμη για άμεση χρήση ακόμα κι αν σταματήσουν οι αεροσυμπιεστές (emergency start).
3. **ΑΠΛΟΤΗΤΑ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**
 - *Παράδειγμα:* Πνευματικοί ενεργοποιητές βαλβίδων - απλή κατασκευή, χαμηλό κόστος συντήρησης, ανθεκτικά σε σκληρό ναυτικό περιβάλλον.

Άσκηση 1.2 - Νόμος του Boyle

Πρόβλημα:

Ένας αεροσυμπιεστής συμπιέζει 5 m³ αέρα από ατμοσφαιρική πίεση (1 bar) σε τελική πίεση 8 bar. Υποθέτοντας σταθερή θερμοκρασία (ισοθερμική συμπίεση), ποιος θα είναι ο τελικός όγκος του αέρα;

Λύση:

Χρησιμοποιούμε τον Νόμο του Boyle:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

Δεδομένα:

- $P_1 = 1 \text{ bar}$ (ατμοσφαιρική πίεση)
- $V_1 = 5 \text{ m}^3$
- $P_2 = 8 \text{ bar}$
- $V_2 = ?$

Υπολογισμός:

$$1 \text{ bar} \times 5 \text{ m}^3 = 8 \text{ bar} \times V_2$$

$$V_2 = (1 \times 5) / 8$$

$$V_2 = 0.625 \text{ m}^3 = 625 \text{ λίτρα}$$

Απάντηση:

Ο τελικός όγκος του πεπιεσμένου αέρα θα είναι **0.625 m³ (625 λίτρα)**.

Ερμηνεία:

Ο αέρας συμπίεστηκε σε **1/8 του αρχικού του όγκου** (αφού η πίεση αυξήθηκε 8 φορές). Αυτό δείχνει τη μεγάλη συμπιεστότητα του αέρα.

Άσκηση 1.3 - Επίδραση Θερμοκρασίας σε Αεροφιάλη

Πρόβλημα:

Μια αεροφιάλη χωρητικότητας 50 λίτρων πληρώνεται με αέρα στους 20°C μέχρι την πίεση των 30 bar. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η θερμοκρασία στο μηχανοστάσιο ανεβαίνει στους 50°C. Ποια θα είναι η νέα πίεση στη φιάλη;

Λύση:

Χρησιμοποιούμε τον Νόμο του Gay-Lussac (σταθερός όγκος):

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

Δεδομένα:

- $P_1 = 30 \text{ bar}$
- $T_1 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$
- $T_2 = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$
- $V = \text{σταθερό (50 L)}$
- $P_2 = ?$

Υπολογισμός:

$$30 \text{ bar} / 293 \text{ K} = P_2 / 323 \text{ K}$$

$$P_2 = 30 \times (323/293)$$

$$P_2 = 30 \times 1.102$$

$$P_2 = 33.06 \text{ bar}$$

Απάντηση:

Η πίεση θα αυξηθεί σε **~33 bar**.

Σημασία για την Ασφάλεια:

- Αύξηση πίεσης κατά **3 bar** λόγω μόνο της θερμοκρασίας!
- Γι' αυτό οι αεροφιάλες έχουν **ανακουφιστικές βαλβίδες** ρυθμισμένες συνήθως στα 35-40 bar
- **ΠΟΤΕ** μην πληρώνετε υπερβολικά μια φιάλη - αφήστε περιθώριο για θερμοκρασιακές διακυμάνσεις

Άσκηση 1.4 - Υγρασία και Συμπύκνωση

Ερώτηση:

Ένας αεροσυμπιεστής αναρροφά 100 m³/h ατμοσφαιρικού αέρα στους 25°C με σχετική υγρασία 70%. Ο αέρας συμπιέζεται στα 7 bar και ψύχεται στους 30°C. Εκτιμήστε ποσοτικά αν θα υπάρξει συμπύκνωση υγρασίας.

Δεδομένα:

- Μέγιστη περιεκτικότητα υδρατμών στους 25°C: ~23 g/m³
- Μέγιστη περιεκτικότητα υδρατμών στους 30°C: ~30 g/m³

Λύση:

Βήμα 1: Υπολογισμός πραγματικής περιεκτικότητας υδρατμών στον αναρροφούμενο αέρα

$$\begin{aligned} \text{Πραγματική περιεκτικότητα} &= \text{Μέγιστη} \times \text{RH} \\ &= 23 \text{ g/m}^3 \times 0.70 \\ &= 16.1 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Βήμα 2: Υπολογισμός όγκου μετά τη συμπίεση (Boyle)

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \times (P_1/P_2) \\ &= 100 \text{ m}^3 \times (1/7) \\ &= 14.3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Βήμα 3: Συγκέντρωση υδρατμών στον πεπιεσμένο αέρα

Αρχική ποσότητα νερού = $100\text{ m}^3 \times 16.1\text{ g/m}^3 = 1610\text{ g}$

Νέα συγκέντρωση = $1610\text{ g} / 14.3\text{ m}^3 = 112.6\text{ g/m}^3$

Βήμα 4: Σύγκριση με μέγιστη περιεκτικότητα στους 30°C

Μέγιστη στους 30°C: 30 g/m^3

Πραγματική: 112.6 g/m^3

Υπερβολή: $112.6 - 30 = 82.6\text{ g/m}^3$

Απάντηση:

ΝΑΙ, θα υπάρξει σημαντική συμπύκνωση!

Ποσότητα συμπυκνωμένου νερού:

Νερό ανά ώρα = $82.6\text{ g/m}^3 \times 14.3\text{ m}^3 = 1181\text{ g/h} \approx 1.2\text{ λίτρα/ώρα}$

Συμπέρασμα:

Ένας αεροσυμπιεστής μπορεί να παράγει **πάνω από 1 λίτρο νερό την ώρα!** Γι' αυτό είναι **απαραίτητα**:

- Μετα-ψύκτες (aftercoolers)
- Υδατοπαγίδες
- Ξηραντές αέρα

ΜΑΘΗΜΑ 2ο: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

2.1 ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

2.1.1 Γενικά

Ο **αεροσυμπιεστής** είναι η "καρδιά" του πνευματικού συστήματος. Μετατρέπει μηχανική ενέργεια (από ηλεκτροκινητήρα ή ντιζελοκινητήρα) σε πνευματική ενέργεια (πεπιεσμένο αέρα).

Βασική Αρχή Λειτουργίας:

Αναρρόφηση → Συμπίεση → Εκτόνωση (Παροχή)

Κύρια Χαρακτηριστικά:

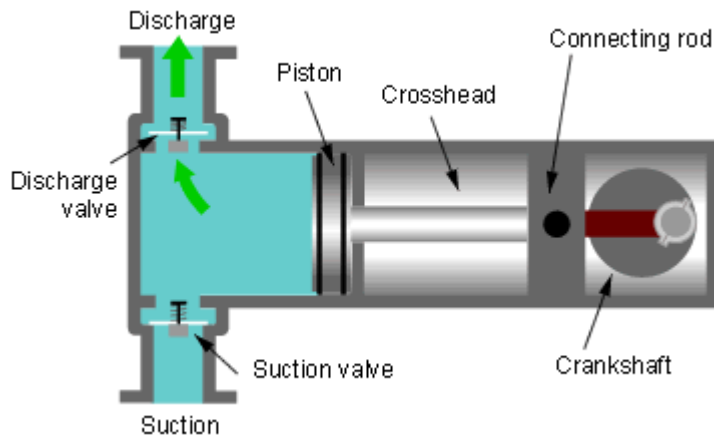
Χαρακτηριστικό	Τυπικές Τιμές για Πλοία
Πίεση Εξόδου	7-30 bar (εξαρτάται από εφαρμογή)
Παροχή	50-500 m³/h (ελεύθερος αέρας)
Ισχύς Κινητήρα	15-150 kW
Τύπος Ψύξης	Αερόψυκτοι ή Υδρόψυκτοι
Απόδοση	70-85% (ανάλογα τον τύπο)

2.1.2 Κατηγορίες Αεροσυμπιεστών

Α. ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΟΙ (ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ) ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

Αρχή Λειτουργίας:

Το έμβολο κινείται παλινδρομικά μέσα σε κύλινδρο, συμπιέζοντας τον αέρα.



ΦΑΣΗ 1 - ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗ:

- Έμβολο κινείται προς τα κάτω
- Βαλβίδα αναρρόφησης ανοίγει
- Αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο

ΦΑΣΗ 2 - ΣΥΜΠΙΕΣΗ:

- Έμβολο κινείται προς τα πάνω
- Βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει
- Αέρας συμπιέζεται

ΦΑΣΗ 3 - ΕΚΤΩΝΩΣΗ:

- Όταν η πίεση φτάσει το επιθυμητό επίπεδο
- Βαλβίδα εκτόνωσης ανοίγει
- Πεπιεσμένος αέρας εξέρχεται

Τύποι Παλινδρομικών:

i) Μονοβάθμιοι (Single Stage)

- **Χρήση:** Πίεση έως 8-10 bar
- **Χαρακτηριστικά:**
 - Απλή κατασκευή
 - Χαμηλό κόστος
 - Υψηλή θερμοκρασία εξόδου
- **Εφαρμογή στα Πλοία:** Γενική χρήση, εργαλεία

ii) Πολυβάθμιοι (Multi-Stage)

- **Χρήση:** Πίεση 20-30 bar και άνω
- **Χαρακτηριστικά:**
 - Συμπίεση σε στάδια (2 ή 3)
 - Ενδιάμεση ψύξη μεταξύ σταδίων
 - Μεγαλύτερη απόδοση
 - Χαμηλότερη τελική θερμοκρασία
- **Εφαρμογή στα Πλοία:**
 - Αέρας εκκίνησης κύριας μηχανής (30 bar)
 - Φόρτωση αεροφιαλών

Διάγραμμα Διβάθμιου Αεροσυμπιεστή:

Αναρρόφηση → [Κύλινδρος LP] → Ενδιάμεσος Ψύκτης
 ↓
 [Κύλινδρος HP] → Μετα-ψύκτης → Έξοδος 30 bar

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Υψηλές πιέσεις (έως 200+ bar αν χρειαστεί)

- ✓ Μεγάλη αξιοπιστία
- ✓ Εύκολη επισκευή (ανταλλακτικά διαθέσιμα)
- ✓ Κατάλληλοι για διακοπτόμενη λειτουργία

Μειονεκτήματα:

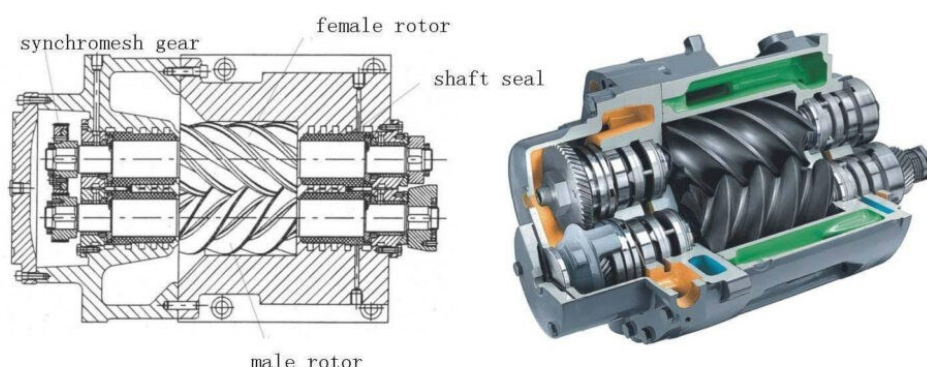
- ✗ Κραδασμοί (χρειάζονται στηρίγματα)
- ✗ Θόρυβος
- ✗ Συντήρηση βαλβίδων
- ✗ Μεγαλύτερο μέγεθος

Β. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

ι) Κοχλιωτοί (Screw Type) Αεροσυμπιεστές

Αρχή Λειτουργίας:

Δύο κοχλίες (rotors) περιστρέφονται σε αντίθετη κατεύθυνση, εγκλωβίζοντας και συμπιέζοντας τον αέρα.



Διαδικασία:

1. **Αναρρόφηση:** Αέρας εισέρχεται στο άκρο αναρρόφησης
2. **Εγκλωβισμός:** Περιστροφή κοχλιών → αέρας εγκλωβίζεται σε θαλάμους
3. **Συμπίεση:** Ο όγκος του θαλάμου μειώνεται → πίεση αυξάνεται
4. **Εκτόνωση:** Αέρας εξέρχεται από το άκρο εξόδου

Χαρακτηριστικά:

- **Πίεση:** 7-13 bar (single stage), έως 25 bar (two stage)
- **Παροχή:** Συνεχής (χωρίς παλμούς)
- **Θερμοκρασία:** Χαμηλότερη από εμβολοφόρους
- **Λίπανση:**
 - Oil-injected (με έγχυση λαδιού)
 - Oil-free (χωρίς λάδι - για καθαρό αέρα)

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Συνεχής ροή (χωρίς παλμούς)
- ✓ Μικρότεροι κραδασμοί
- ✓ Χαμηλότερος θόρυβος
- ✓ Συμπαγείς διαστάσεις
- ✓ Χαμηλή συντήρηση
- ✓ Κατάλληλοι για συνεχή λειτουργία

Μειονεκτήματα:

- ✗ Υψηλότερο αρχικό κόστος
- ✗ Απαιτείται φιλτράρισμα λαδιού (oil-injected)
- ✗ Πιο πολύπλοκη επισκευή

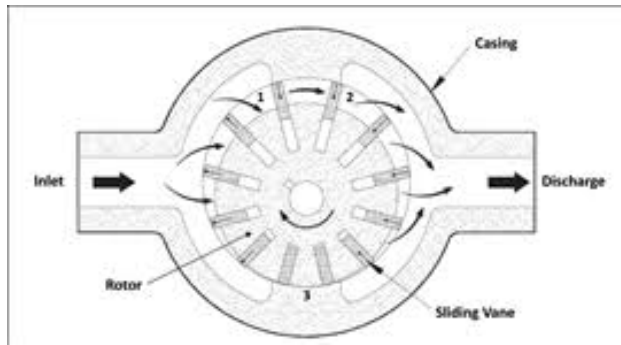
Εφαρμογή στα Πλοία:

- **Κύριος αεροσυμπιεστής** για γενική χρήση
- Συστήματα ελέγχου όπου απαιτείται συνεχής παροχή
- Εργαλεία πεπιεσμένου αέρα

ii) Πτερυγιοφόροι (Vane Type) Αεροσυμπιεστές

Αρχή Λειτουργίας:

Ένας ρότορας με πτερύγια περιστρέφεται εκκεντρικά μέσα σε ένα κέλυφος.



Διαδικασία:

1. Πτερύγια εκτείνονται με φυγόκεντρη δύναμη
2. Δημιουργούνται θάλαμοι μεταξύ πτερυγίων
3. Εκκεντρότητα → όγκος θαλάμων μειώνεται → συμπίεση
4. Αέρας εξέρχεται πεπιεσμένος

Χαρακτηριστικά:

- **Πίεση:** 6-10 bar
- **Παροχή:** 50-500 m³/h
- **Λίπανση:** Με έγχυση λαδιού

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Απλή κατασκευή
- ✓ Συμπαγείς
- ✓ Συνεχής ροή
- ✓ Χαμηλό κόστος

Μειονεκτήματα:

- ✗ Φθορά πτερυγίων
- ✗ Χαμηλότερη απόδοση
- ✗ Περιορισμένες πιέσεις

Εφαρμογή στα Πλοία:

- Βοηθητικά συστήματα
- Μικρότερα πλοία (yachts, αλιευτικά)

2.1.3 Σύγκριση Τύπων Αεροσυμπιεστών

Κριτήριο	Παλινδρομικός	Κοχλιωτός	Πτερυγιοφόρος
Μέγιστη Πίεση	200+ bar	25 bar	10 bar
Παροχή	Μέτρια	Υψηλή	Μέτρια
Θόρυβος	Υψηλός	Μέτριος	Μέτριος
Κραδασμοί	Υψηλοί	Χαμηλοί	Χαμηλοί
Συντήρηση	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό	Μέτριο
Ποιότητα Αέρα	Καλή	Μέτρια (oil-injected)	Μέτρια
Απόδοση	70-75%	80-85%	65-70%

Κριτήριο	Παλινδρομικός	Κοχλιωτός	Πτερυγιοφόρος
Διάρκεια Ζωής	40,000+ ώρες	60,000+ ώρες	30,000+ ώρες

2.1.4 Επιλογή Κατάλληλου Αεροσυμπιεστή

Κριτήρια Επιλογής:

1. Απαιτήσεις Πίεσης

- ✓ 6-8 bar (Γενική χρήση) → Κοχλιωτός ή Μονοβάθμιος
- ✓ 15-20 bar (Ελεγχος) → Διβάθμιος ή Κοχλιωτός two-stage
- ✓ 30 bar (Εκκίνηση) → Πολυβάθμιος

2. Απαιτήσεις Παροχής

Υπολογισμός συνολικής κατανάλωσης:

Παράδειγμα για Πλοίο:

Κατανάλωση:

- Εργαλεία: 20 m³/h (ταυτόχρονα)
- Σύστημα ελέγχου: 5 m³/h (συνεχώς)
- Εκκίνηση μηχανής: 100 m³/h (περιστασιακά)
- Διαρροές (10% του συνόλου): 12.5 m³/h

Συνολική ανάγκη: 137.5 m³/h

Επιλογή αεροσυμπιεστή: 150-180 m³/h (με περιθώριο)

3. Τρόπος Λειτουργίας

- **Συνεχής:** Κοχλιωτός (μεγαλύτερη διάρκεια ζωής)
- **Διακοπτόμενη:** Παλινδρομικός (καλύτερη οικονομία)

4. Ποιότητα Αέρα

- **Χωρίς λάδι (Oil-free):**
 - Συστήματα ελέγχου
 - Όργανα μέτρησης
 - Εφαρμογές τροφίμων
- **Με λάδι (Oil-injected):**
 - Γενική χρήση
 - Εργαλεία
 - Εκκίνηση μηχανών (με καλό φιλτράρισμα)

5. Διαθέσιμος Χώρος

Παλινδρομικός: Μεγαλύτερο footprint, χρειάζεται θεμέλια για κραδασμούς

Κοχλιωτός: Συμπαγής, μπορεί να τοποθετηθεί σε μικρότερο χώρο

Πτερυγιοφόρος: Πολύ συμπαγής

6. Κόστος Λειτουργίας

Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership):

Στοιχείο	Παλινδρομικός	Κοχλιωτός
Αρχικό Κόστος	100% (βάση)	150-180%
Ενεργειακό Κόστος/έτος	100%	85-90%
Συντήρηση/έτος	100%	50-60%
Διάρκεια Ζωής	15-20 έτη	20-25 έτη
Συνολικό κόστος (10 έτη)	100%	90-95%

Συμπέρασμα: Οι κοχλιωτοί είναι πιο οικονομικοί **μακροπρόθεσμα** παρά την υψηλότερη αρχική επένδυση.

2.1.5 Σύστημα Ελέγχου Αεροσυμπιεστών

A. Load/Unload Control (On/Off)

Λειτουργία:

Πίεση $< P_{\min}$ (π.χ. 6.5 bar) $\rightarrow$ Αεροσυμπιεστής ON (φορτίο)

Πίεση $> P_{\max}$ (π.χ. 7.5 bar) $\rightarrow$ Αεροσυμπιεστής OFF (χωρίς φορτίο)

Χαρακτηριστικά:

- Απλό σύστημα
- Κινητήρας λειτουργεί συνεχώς ή σταματά
- Κατάλληλο για μικρούς αεροσυμπιεστές
- Συχνές εκκινήσεις $\rightarrow$ φθορά κινητήρα

B. Modulation Control (Ρύθμιση Στροφών)

Λειτουργία:

- Μεταβλητές στροφές κινητήρα (VFD - Variable Frequency Drive)
- Παροχή προσαρμόζεται στην ανάγκη
- Συνεχής λειτουργία στο βέλτιστο σημείο

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Μέγιστη ενεργειακή απόδοση (έως 35% εξοικονόμηση)
- ✓ Σταθερή πίεση
- ✓ Μείωση φθοράς κινητήρα
- ✓ Soft start (ομαλή εκκίνηση)

Εφαρμογή:

- Μεγάλα πλοία με μεταβαλλόμενες ανάγκες
- Κοχλιωτοί αεροσυμπιεστές

Γ. Dual Control (Διπλός Έλεγχος)

Διάταξη:

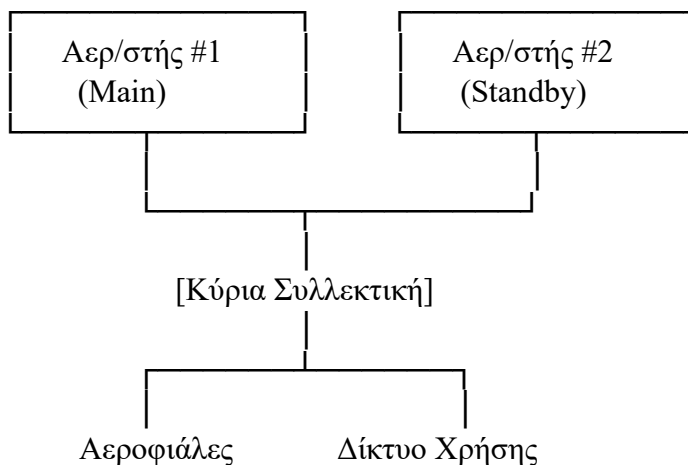
Αεροσυμπιεστής #1 (Duty) $\rightarrow$ Συνεχής λειτουργία

Αεροσυμπιεστής #2 (Standby) $\rightarrow$ Ενεργοποιείται όταν #1 δεν επαρκεί

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Εφεδρεία (redundancy)
- ✓ Κατανομή ωρών λειτουργίας
- ✓ Συντήρηση χωρίς διακοπή λειτουργίας

Τυπική Διάταξη Πλοίου:



2.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

2.2.1 Η Σημασία της Επεξεργασίας Αέρα

Ο αέρας που εξέρχεται από τον αεροσυμπιεστή περιέχει:

Ρύπος	Πηγή	Πρόβλημα
Υγρασία	Ατμοσφαιρική υγρασία συμπυκνωμένη	Διάβρωση, πάγος, βλάβες οργάνων
Σωματίδια	Σκόνη, σκουριά σωληνώσεων	Φθορά κινούμενων μερών
Ατμοί Λαδιού	Λίπανση αεροσυμπιεστή	Μόλυνση, δυσλειτουργίες
Θερμότητα	Συμπίεση	Μειωμένη απόδοση, κίνδυνος εγκαυμάτων

Στόχοι Επεξεργασίας:

1. **Ψύξη** → Μείωση θερμοκρασίας
2. **Ξήρανση** → Αφαίρεση υγρασίας
3. **Φιλτράρισμα** → Καθαρότητα από σωματίδια και λάδι
4. **Ρύθμιση Πίεσης** → Σταθερή πίεση χρήσης

Στάδια Επεξεργασίας Αέρα

Συμπιεστής → Aftercooler → Υδατοπαγίδα → Ξηραντής → Φίλτρα → Ρυθμιστές → ΧΡΗΣΗ

1. ΨΥΞΗ (Aftercoolers - Ψυγεία Μετά τη Συμπίεση)

Σκοπός:

Ψύξη του θερμού αέρα για:

1. **Αφαίρεση υγρασίας** – όταν ψυχθεί, ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε νερό
2. **Προστασία εξοπλισμού** – ο ζεστός αέρας καταστρέφει σφραγίδες/λάστιχα
3. **Αύξηση απόδοσης** – ψυχρός αέρας = πυκνότερος = περισσότερη ενέργεια

Τύποι:

α) Ψύξη με αέρα (Air-cooled):

- Ο αέρας περνά μέσα από πτερύγια (fins)
- Ανεμιστήρας φυσάει αέρα πάνω τους
- **Πλεονεκτήματα:** Απλό, οικονομικό
- **Μειονεκτήματα:** Λιγότερο αποδοτικό

β) Ψύξη με νερό (Water-cooled):

- Ο αέρας περνά μέσα από σωλήνες περιβαλλόμενους από νερό
- **Πλεονεκτήματα:** Πολύ αποδοτικό
- **Μειονεκτήματα:** Χρειάζεται σύστημα ψυκτικού νερού

Στα πλοία:

Συνήθως **water-cooled**, συνδεδεμένα με το κύκλωμα **seawater cooling** (ψύξη με θαλασσινό νερό).

Αποτέλεσμα:

Θερμοκρασία από 150°C → **30-40°C**

Πολλή υγρασία συμπυκνώνεται → Απομακρύνεται από **αποστράγγιση** (drain valve).

2. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ (Υδατοπαγίδες - Water Separators)

Σκοπός:

Απομάκρυνση του **υγρού νερού** που δημιουργήθηκε κατά την ψύξη.

Αρχή λειτουργίας:

α) Φυγόκεντρη διαχωριστής:

- Ο αέρας εισέρχεται **περιστροφικά**
- Οι σταγόνες νερού (βαρύτερες) ρίχνονται προς τα έξω
- Συλλέγονται στον πυθμένα
- Απομακρύνονται μέσω **drain**

β) Διαχωριστής με φίλτρο:

- Ο αέρας περνά μέσα από ειδικό φίλτρο
- Οι σταγόνες συγκρατούνται
- Καθαρός αέρας περνά

Σημαντικό:

Οι υδατοπαγίδες πρέπει να **αποστραγγίζονται** τακτικά:

- **Χειροκίνητα:** Άνοιγμα βαλβίδας κάθε βάρδια
- **Αυτόματα:** Ηλεκτρονική βαλβίδα αποστράγγισης

→ Αν δεν αποστραγγίζονται → Το νερό περνά στο σύστημα → Ζημιές!

3. ΞΗΡΑΝΣΗ (Air Dryers - Ξηραντές Αέρα)

Μετά την υδατοπαγίδα, ο αέρας έχει ακόμα **υδρατμό** (αόρατη υγρασία).

Οι ξηραντές αφαιρούν και αυτόν!

α) Ψυκτικοί Ξηραντές (Refrigerated Dryers)

Αρχή λειτουργίας:

Ψύχουν τον αέρα σε $+2^{\circ}\text{C}$ έως $+10^{\circ}\text{C}$ → Υδρατμός συμπυκνώνεται → Αφαιρείται.

Κατασκευή:

- Ψυκτικό κύκλωμα (όπως ψυγείο/κλιματιστικό)
- Εναλλάκτης θερμότητας
- Υδατοπαγίδα στην έξοδο

Αποτέλεσμα:

Σημείο δρόσου: $+3^{\circ}\text{C}$

→ Αν η θερμοκρασία δεν πέσει κάτω από $+3^{\circ}\text{C}$ → Δεν θα δημιουργηθεί νερό.

Πλεονεκτήματα:

- Απλός, αξιόπιστος
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας
- Δεν χρειάζεται αντικατάσταση υλικών

Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένη ξήρανση (μόνο έως $+3^{\circ}\text{C}$)
- Δεν κατάλληλος για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Εφαρμογές:

Αέρας συνεργείου (service air), γενική χρήση.

β) Απορροφητικοί Ξηραντές (Desiccant/Adsorption Dryers)

Αρχή λειτουργίας:

Ο αέρας περνά μέσα από υλικό ξήρανσης (desiccant) που "δεσμεύει" την υγρασία.

Υλικά ξήρανσης:

- **Σιλικαγκέλ** (silica gel) – πιο συνηθισμένο
- **Οξειδίο του αργιλίου** (activated alumina)
- **Μοριακοί κόσκινοι** (molecular sieves)

Λειτουργία:

Οι ξηραντές έχουν **δύο δεξαμενές** (Α και Β):

1. **Δεξαμενή Α:** Σε λειτουργία – Αέρας περνά, υγρασία απορροφάται
2. **Δεξαμενή Β:** Σε αναγέννηση – Καυτός αέρας ή θερμότητα απελευθερώνει την υγρασία

Μετά από 2-4 ώρες → **Αντιστροφή ρόλων** (Α → αναγέννηση, Β → λειτουργία).

Αποτέλεσμα:

Σημείο δρόσου: -40°C έως -70°C

→ Εξαιρετικά ξηρός αέρας!

Πλεονεκτήματα:

- Πολύ χαμηλό σημείο δρόσου
- Κατάλληλος για κρίσιμες εφαρμογές

Μειονεκτήματα:

- Ακριβός
- Απαιτεί αντικατάσταση υλικού (κάθε 3-5 χρόνια)

- Καταναλώνει ενέργεια (για αναγέννηση)

Εφαρμογές:

Αέρας εκκίνησης, αέρας οργάνων ελέγχου, κρίσιμα συστήματα.

4. ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ (Filtration)

Τελευταία γραμμή άμυνας – Αφαίρεση **σωματιδίων**, **λαδιού** και τυχόν **υπολοίπων**.

Στάδια φιλτραρίσματος:

α) Χονδρικό φίλτρο (Coarse Filter):

- Αφαιρεί σωματίδια **>40 μm**
- Σκόνη, μεγάλα κομμάτια σκουριάς

β) Λεπτό φίλτρο (Fine Filter):

- Αφαιρεί σωματίδια **5-10 μm**
- Λεπτή σκόνη

γ) Φίλτρο λαδιού (Oil Removal Filter / Coalescing Filter):

- Αφαιρεί **ομίχλη λαδιού**
- Χρησιμοποιεί ειδικό υλικό που "συγκολλάει" τα σταγονίδια λαδιού
- Τα μεγάλα σταγονίδια πέφτουν και αποστραγγίζονται

δ) Ενεργός άνθρακας (Activated Carbon Filter):

- Αφαιρεί **οσμές** και **υπολείμματα λαδιού**
- Για πολύ καθαρό αέρα (π.χ. ιατρικός αέρας)

2.2.2 Εξοπλισμός Επεξεργασίας Αέρα

A. ΜΕΤΑ-ΨΥΚΤΕΣ (AFTERCOOLERS)

Τοποθεσία: Αμέσως μετά τον αεροσυμπιεστή

Αρχή Λειτουργίας:

Ο καυτός πεπιεσμένος αέρας (80-120°C) διέρχεται μέσα από εναλλάκτη θερμότητας.

i) Αερόψυκτοι Μετα-ψύκτες

Καυτός Αέρας (120°C)



Πτερύγια ← Ανεμιστήρας
Ψύξης



Ψυχρός Αέρας (30-40°C)



Υδατοπαγίδα

Χαρακτηριστικά:

- Απλοί, χαμηλού κόστους
- Κατάλληλοι για μικρούς αεροσυμπιεστές
- Εξαρτώνται από θερμοκρασία περιβάλλοντος

ii) Υδρόψυκτοι Μετα-ψύκτες

Καυτός Αέρας (120°C)



Εναλλάκτης ← Νερό Ψύξης IN
Κελύφους- Σωλήνων → Νερό OUT



Ψυχρός Αέρας (25-30°C)

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Χαμηλότερη τελική θερμοκρασία

✓ Περισσότερη συμπύκνωση υγρασίας

✓ Ανεξάρτητοι από περιβάλλον

Εφαρμογή στα Πλοία:

- Μεγάλοι αεροσυμπιεστές (>50 kW)
- Χρήση νερού θάλασσας ή γλυκού νερού
- Συνδεδεμένοι με το κεντρικό σύστημα ψύξης

Ποσότητα Συμπυκνωμένου Νερού:

Ένας aftercooler μπορεί να αφαιρέσει **70-80% της υγρασίας**.

Παράδειγμα:

Αεροσυμπιεστής 100 m³/h

Υγρασία περιβάλλοντος: 60% στους 25°C

Παραγωγή νερού: ~1-1.5 λίτρα/ώρα

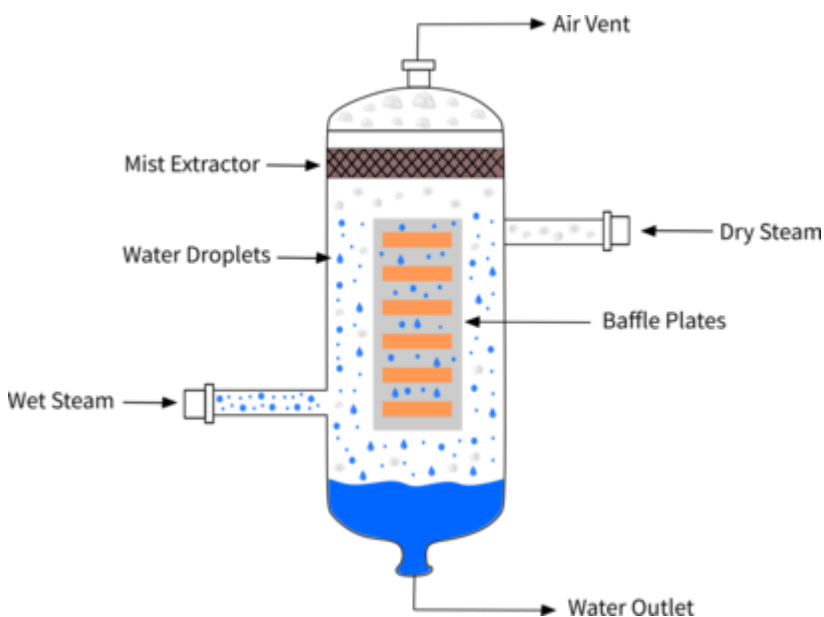
Με aftercooler → 0.8 λίτρα αφαιρούνται

Υπόλοιπο 0.2-0.7 λίτρα → Πρέπει να αφαιρεθούν με ξηραντή

B. ΥΔΑΤΟΠΑΓΙΔΕΣ (MOISTURE SEPARATORS)

Τοποθεσία:

- Μετά τον aftercooler
- Σε χαμηλά σημεία σωληνώσεων
- Πριν από κρίσιμα εξαρτήματα



Τύποι:

i) Κυκλωνικές Υδατοπαγίδες

Λειτουργία:

1. Αέρας εισέρχεται εφαπτομενικά
2. Δημιουργείται κυκλωνική κίνηση
3. Φυγόκεντρη δύναμη ρίχνει σταγόνες στα τοιχώματα
4. Νερό συλλέγεται στον πυθμένα
5. Καθαρός αέρας εξέρχεται από το κέντρο

ii) Βαρύτητας Υδατοπαγίδες

Αποστράγγιση Νερού:

Χειροκίνητη:

- Βαλβίδα εκκένωσης στον πυθμένα
- Πρέπει να ανοίγει **καθημερινά**
- Κίνδυνος: Ξεχνιέται → υπερχειλίση

Αυτόματη:

[Float Drain] - Πλωτήρας:

- Στάθμη νερού ανεβαίνει
- Πλωτήρας ανοίγει βαλβίδα
- Νερό εκκενώνεται αυτόματα

[Electronic Drain] - Ηλεκτρονική:

- Timer ή αισθητήρας στάθμης
- Ηλεκτροβαλβίδα ανοίγει περιοδικά
- Πιο αξιόπιστη

ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ:

⚠ Ποτέ μην αφήνετε το νερό να συσσωρεύεται! Θα παρασυρθεί στο σύστημα.

Γ. ΞΗΡΑΝΤΕΣ ΑΕΡΑ (AIR DRYERS)

Αφαιρούν την **υπόλοιπη υγρασία** που δεν κατάφερε ο aftercooler.

Στόχος: Σημείο δρόσου < 0°C (ιδανικά -20°C έως -40°C)

i) Ψυκτικοί Ξηραντές (Refrigeration Dryers)

Αρχή Λειτουργίας:

Ψύχουν τον αέρα στους **2-4°C** → υγρασία συμπυκνώνεται → αφαιρείται

Ψυκτικό Κύκλωμα (όπως κλιματιστικό):

1. Συμπίεστης ψυκτικού υγρού
2. Συμπυκνωτής (απόρριψη θερμότητας)
3. Διαστολική βαλβίδα
4. Εξατμιστής (ψύχει τον αέρα)

Χαρακτηριστικά:

- **Σημείο δρόσου:** -15°C έως -20°C
- **Κατανάλωση ενέργειας:** Μέτρια (5-10% της ισχύος αεροσυμπιεστή)
- **Συντήρηση:** Χαμηλή

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- ✓ Δεν χρειάζεται αναπλήρωση υλικών
- ✓ Συνεχής λειτουργία
- ✓ Συμπαγείς διαστάσεις

Μειονεκτήματα:

- ✗ Περιορισμένο σημείο δρόσου (-20°C maximum)
- ✗ Δεν κατάλληλοι για πολικές περιοχές
- ✗ Εξαρτώνται από ψυκτικό κύκλωμα

Εφαρμογή στα Πλοία:

- Αέρας γενικής χρήσης
- Συστήματα ελέγχου (σε εύκρατα κλίματα)
- Εργαλεία

ii) Απορροφητικοί Ξηραντές (Desiccant/Adsorption Dryers)

Αρχή Λειτουργίας:

Ο αέρας διέρχεται μέσα από υλικό που **απορροφά** την υγρασία (desiccant).

Απορροφητικά Υλικά:

- **Σιλικάγελ (Silica Gel):** Πιο συνηθισμένο
- **Ενεργός Αλουμίνα (Activated Alumina)**
- **Μοριακοί Κόσκινοι (Molecular Sieves):** Για εξαιρετικά χαμηλό σημείο δρόσου

Κύκλος Λειτουργίας:

ΦΑΣΗ 1 (4-10 ώρες):

- Πύργος A → Ξήρανση αέρα (ενεργός)
- Πύργος B → Αναγέννηση (θέρμανση)

ΦΑΣΗ 2 (4-10 ώρες):

- Πύργος B → Ξήρανση αέρα (ενεργός)
- Πύργος A → Αναγέννηση

Μέθοδοι Αναγέννησης:

α) Heatless (Χωρίς Θέρμανση):

- 15-20% του ξηρού αέρα επιστρέφει
- Διέρχεται από τον πύργο αναγέννησης
- Απορροφά την υγρασία από το desiccant
- Εξέρχεται στην ατμόσφαιρα
 - **Πλεονέκτημα:** Απλό, χωρίς ενέργεια θέρμανσης
 - **Μειονέκτημα:** Σπατάλη 15-20% αέρα

β) Heated (Με Θέρμανση):

- Θερμαντήρας (ηλεκτρικός ή ατμού)
- Καντός αέρας (~120-150°C) στον πύργο
- Ταχύτερη αναγέννηση
- Μικρότερη σπατάλη αέρα (3-5%)

γ) Blower Purge:

- Ανεμιστήρας παρέχει αέρα αναγέννησης
- Δεν χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας
- Εξοικονόμηση 15-20% παραγωγής

Χαρακτηριστικά:

- **Σημείο δρόσου:** -40°C έως -70°C
- **Κατανάλωση ενέργειας:** Υψηλή (θέρμανση ή σπατάλη αέρα)
- **Συντήρηση:** Μέτρια (αντικατάσταση desiccant κάθε 3-5 χρόνια)

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Εξαιρετικά χαμηλό σημείο δρόσου
- ✓ Κατάλληλοι για ακραίες συνθήκες
- ✓ Αξιόπιστοι

Μειονεκτήματα:

- ✗ Υψηλό λειτουργικό κόστος
- ✗ Περισσότερη συντήρηση
- ✗ Μεγαλύτερες διαστάσεις

Εφαρμογή στα Πλοία:

- Αέρας οργάνων ελέγχου (κρίσιμα συστήματα)
- Πλοία που ταξιδεύουν σε πολικές περιοχές

- Αέρας εκκίνησης σε εξαιρετικά ψυχρά κλίματα

Σύγκριση Ξηραντών

Κριτήριο	Ψυκτικός	Απορροφητικός
Σημείο Δρόσου	-15°C έως -20°C	-40°C έως -70°C
Αρχικό Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό
Λειτουργικό Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό
Κατανάλωση Ενέργειας	5-10%	15-25%
Συντήρηση	Ελάχιστη	Μέτρια
Διάρκεια Ζωής	10-15 χρόνια	5-10 χρόνια
Καταλληλότητα	Εύκρατα κλίματα	Όλα τα κλίματα

Δ. ΦΙΛΤΡΑ ΑΕΡΑ

Αφαιρούν **σωματίδια** και **ατμούς λαδιού** από τον αέρα.

Τύποι Φίλτρων:

i) Φίλτρα Σωματιδίων (Particulate Filters)

Βαθμοί Φιλτραρίσματος:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Χονδρικό > 40 μm
Τυπικό (Standard) 5-40 μm
Λεπτό (Fine) 1-5 μm
Υπερλεπτό 0.01-1 μm
(Coalescing)

Μηχανισμός Coalescing (Συνένωση):

1. Μικροσκοπικά σταγονίδια λαδιού συγκρούονται με ίνες φίλτρου
2. Συνενώνονται σε μεγαλύτερες σταγόνες
3. Οι σταγόνες πέφτουν με βαρύτητα
4. Συλλέγονται στον πυθμένα

ii) Ενεργού Άνθρακα Φίλτρα (Activated Carbon)

Σκοπός: Αφαίρεση **ατμών** και **οσμών** λαδιού

Coalescing Filter → Αφαιρεί υγρό λάδι (99%)



Activated Carbon → Αφαιρεί ατμούς λαδιού (99.9%)



Αέρας χωρίς λάδι (0.003 mg/m³)

Χρήση:

- Εφαρμογές που απαιτούν απόλυτα καθαρό αέρα
- Όργανα ελέγχου υψηλής ακρίβειας
- Συστήματα αναπνοής (σπάνιο σε πλοία)

Συντήρηση:

- Κορεσμός άνθρακα μετά από 6-12 μήνες
- **Αντικατάσταση** (δεν αναγεννάται)
- Ένδειξη: Αύξηση περιεκτικότητας λαδιού

Σειριακή Διάταξη Φίλτρων

Τυπική Διάταξη Πλοίου:

Αεροσυμπιεστής
↓
Aftercooler
↓
Υδατοπαγίδα → Νερό
↓
Προ-φίλτρο → Χονδρικά σωματίδια (40 μm)
↓
Ξηραντής Αέρα
↓
Φίλτρο Σωματιδίων → Σωματίδια (1 μm)
↓
Coalescing Filter → Λάδι
↓
Ενεργού Άνθρακα → Ατμοί (εάν απαιτείται)
↓
Ρυθμιστής Πίεσης + Λιπαντήρας (FRL)
↓
ΚΑΘΑΡΟΣ, ΞΗΡΟΣ ΑΕΡΑΣ → Στο σύστημα

E. ΜΟΝΑΔΕΣ FRL (Filter-Regulator-Lubricator)

Τοποθεσία: Στο σημείο χρήσης (κοντά στο εξάρτημα που τροφοδοτείται)

Συστατικά:

1. ΦΙΛΤΡΟ (Filter)

- Τελικό φιλτράρισμα (5-40 μm)
- Υδατοπαγίδα
- Μανόμετρο
- Αυτόματη ή χειροκίνητη αποστράγγιση

2. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (Regulator)

Λειτουργία:

- Μειώνει πίεση δικτύου (7 bar)
→ Πίεση εργασίας (π.χ. 6 bar)
- Διατηρεί σταθερή πίεση εξόδου

ΣΥΝΕΧΕΙΑ - ΜΑΘΗΜΑ 2ο

2. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (Regulator)

Λειτουργία:

- Μειώνει πίεση δικτύου (7 bar)
→ Πίεση εργασίας (π.χ. 6 bar)
- Διατηρεί σταθερή πίεση εξόδου
- Προστατεύει εξοπλισμό από υπερπίεση



Λειτουργία:

1. Ελατήριο πιέζει διάφραγμα → Βαλβίδα ανοίγει
2. Αέρας ρέει → Πίεση εξόδου αυξάνεται
3. Πίεση εξόδου σπρώχνει διάφραγμα → Βαλβίδα κλείνει
4. **Ισορροπία:** Βαλβίδα μερικώς ανοιχτή → Σταθερή πίεση

Ρύθμιση:

Περιστροφή κοχλία ΔΕΞΙΑ → Ελατήριο σφίγγει → Πίεση ↑

Περιστροφή κοχλία ΑΡΙΣΤΕΡΑ → Ελατήριο χαλαρώνει → Πίεση ↓

3. ΛΙΠΑΝΤΗΡΑΣ (Lubricator)

Σκοπός: Προσθήκη **λεπτού ομιχλώματος λαδιού** στον αέρα για τη λίπανση κινούμενων μερών.



Αρχή Λειτουργίας (Venturi):

Χαμηλή πίεση Venturi → Αναρροφά λάδι → Μικροσκοπικές σταγόνες

Ρύθμιση Στάγδην:

Τυπική ρύθμιση: 1 σταγόνα ανά 1000 λίτρα αέρα

Παρατηρητήριο (Sight Dome):

- Διαφανές θολωτό
- Μετράτε σταγόνες/λεπτό

- Ρύθμιση με βελόνα (needle valve)

Τύπος Λαδιού:

- Ορυκτέλαιο χαμηλού ιξώδους (ISO VG 32-68)
- Πνευματικό λάδι (pneumatic oil)
- Χαμηλό σημείο πήξης (-20°C έως -40°C)

ΠΡΟΣΟΧΗ:

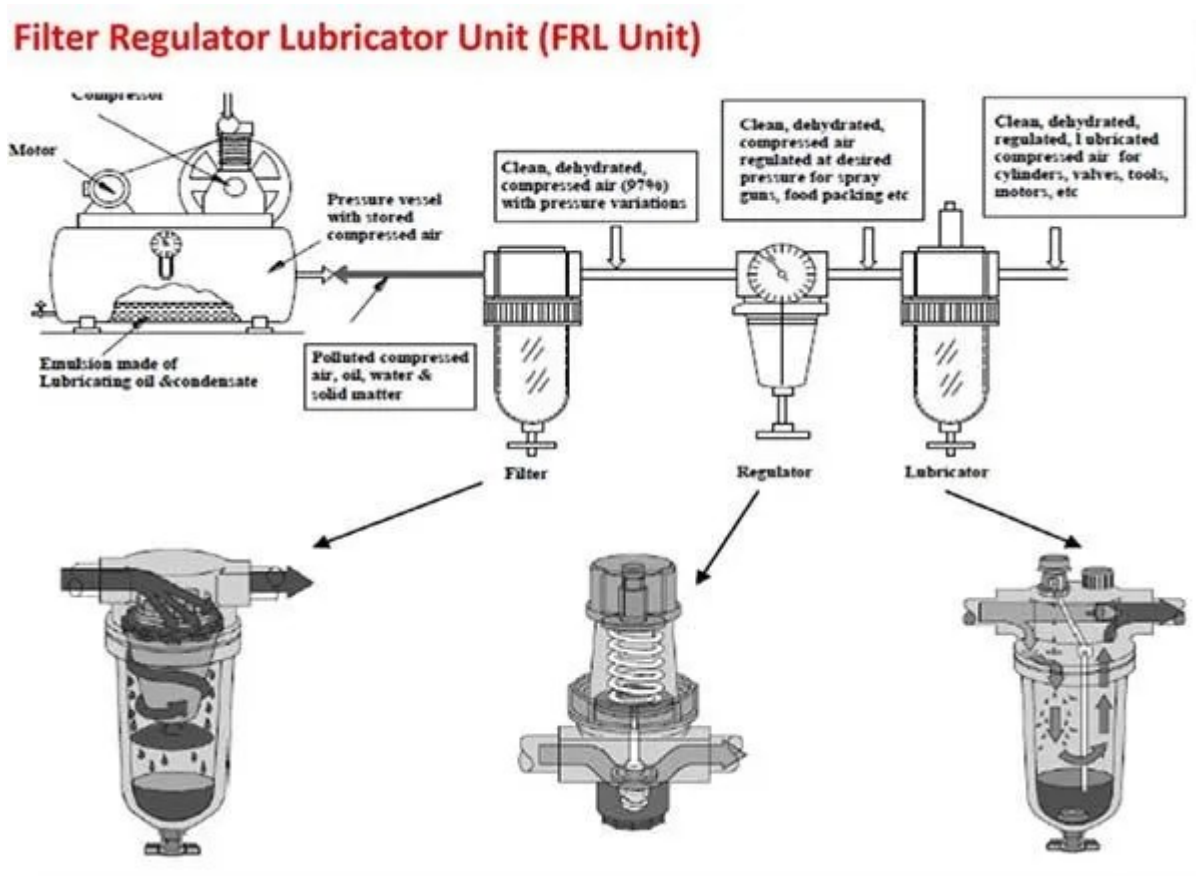
⚠ ΜΗΝ χρησιμοποιείτε λιπαντήρα αν:

- Υπάρχει κεντρικό σύστημα λίπανσης αεροσυμπιεστή (oil-injected)
- Ο αέρας πρέπει να είναι απόλυτα καθαρός (όργανα)
- Χρησιμοποιούνται self-lubricating εξαρτήματα

✓ Χρησιμοποιείτε λιπαντήρα για:

- Πνευματικούς κυλίνδρους (χωρίς εσωτερική λίπανση)
- Πνευματικά εργαλεία
- Πνευματικούς κινητήρες

Τυπική Διάταξη FRL:



2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ - ΠΡΟΤΥΠΙΑ ISO 8573-1

2.3.1 Κατηγοριοποίηση Ποιότητας

Το πρότυπο **ISO 8573-1** ορίζει κατηγορίες ποιότητας αέρα βάσει τριών παραμέτρων:

1. ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (Particles)

Κατηγορία	Μέγιστος Αριθμός Σωματιδίων ανά m ³
0	Καθορίζεται από χρήστη
1	≤ 20,000 (0.1-0.5 μm)
2	≤ 400,000 (0.1-0.5 μm)
3	Δεν καθορίζεται (0.1-0.5 μm), ≤ 90,000 (0.5-1.0 μm)
4	≤ 10,000 (1.0-5.0 μm)

Κατηγορία	Μέγιστος Αριθμός Σωματιδίων ανά m ³
5	≤ 100,000 (1.0-5.0 μm)

2. ΥΓΡΑΣΙΑ (Water/Pressure Dew Point)

Κατηγορία	Σημείο Δρόσου (°C)
0	Καθορίζεται από χρήστη
1	≤ -70°C
2	≤ -40°C
3	≤ -20°C
4	≤ +3°C
5	≤ +7°C
6	≤ +10°C

3. ΛΑΔΙ (Oil - Aerosol + Vapor)

Κατηγορία	Συγκέντρωση Λαδιού (mg/m ³)
0	Καθορίζεται από χρήστη
1	≤ 0.01
2	≤ 0.1
3	≤ 1
4	≤ 5

2.3.2 Τυπικές Απαιτήσεις για Ναυτικές Εφαρμογές

Εφαρμογή	Κατηγορία ISO	Εξοπλισμός Επεξεργασίας
Αέρας Εκκίνησης Μηχανής	4:4:3	Aftercooler, Μηχανικό φίλτρο, Υδατοπαγίδα
Όργανα Ελέγχου	2:2:1	Aftercooler, Ψυκτικός ξηραντής, Coalescing + Carbon filter
Πνευματικά Εργαλεία	4:4:3	Aftercooler, Βασικό φίλτρο, FRL
Γενική Χρήση	5:5:4	Aftercooler, Υδατοπαγίδα
Κρίσιμα Συστήματα (Πολικές Περιοχές)	1:1:1	Aftercooler, Απορροφητικός ξηραντής, Υπερλεπτά φίλτρα, Carbon filter

Παράδειγμα Ανάγνωσης:

- Κατηγορία 2:2:1 σημαίνει:
 - 2 για σωματίδια (≤ 400,000 σωματίδια 0.1-0.5 μm)
 - 2 για υγρασία (σημείο δρόσου ≤ -40°C)
 - 1 για λάδι (≤ 0.01 mg/m³)

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ 2

Άσκηση 2.1 - Μελέτη Περίπτωσης: Διάταξη Επεξεργασίας Αέρα

Ερώτηση:

Σε ένα πλοίο, ο αέρας εκκίνησης της κύριας μηχανής απαιτεί υψηλή καθαρότητα και ξηρότητα. Σχεδιάστε ένα απλό διάγραμμα της διάταξης επεξεργασίας του αέρα από την έξοδο του αεροσυμπιεστή μέχρι την αεροφιάλη εκκίνησης, ονομάζοντας τα βασικά εξαρτήματα.

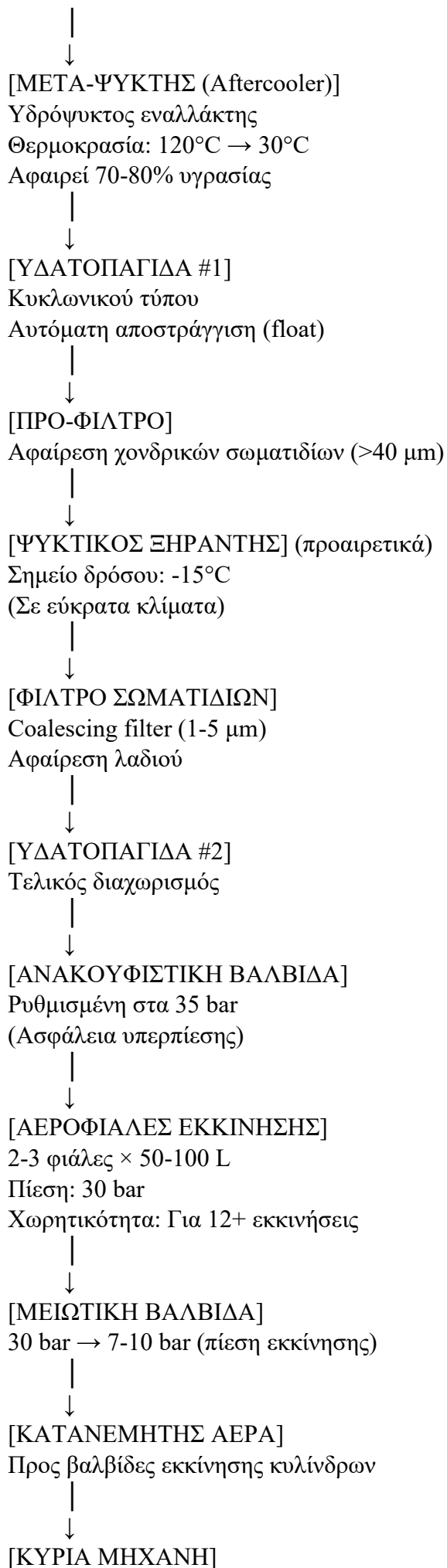
Απάντηση:

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

[ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ]

(Πολυβάθμιος, 0→30 bar)

Θερμοκρασία εξόδου: ~120°C



Σημαντικά Σημεία:

1. **Δύο υδατοπαγίδες:** Μία μετά τον aftercooler, μία τελική
2. **Ανακουφιστική βαλβίδα:** Προστασία φιαλών από θερμοκρασιακή υπερπίεση
3. **Χωρητικότητα:** Αρκετή για πολλαπλές εκκινήσεις χωρίς επαναπλήρωση
4. **Πολυβάθμιος αεροσυμπιεστής:** Απαραίτητος για πίεση 30 bar
5. **Μειωτική βαλβίδα:** Η εκκίνηση γίνεται σε χαμηλότερη πίεση από την αποθήκευσης

Άσκηση 2.2 - Σημασία Αφαίρεσης Υγρασίας

Ερώτηση:

Γιατί είναι κρίσιμη η αφαίρεση της υγρασίας από τον πεπιεσμένο αέρα που χρησιμοποιείται σε συστήματα ελέγχου; Αναφέρετε τουλάχιστον δύο πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από την υγρασία.

Απάντηση:

Κρισιμότητα: Τα συστήματα ελέγχου (π.χ. πνευματικοί ενεργοποιητές βαλβίδων, όργανα μέτρησης) απαιτούν **ιδιαίτερα καθαρό και ξηρό αέρα** για ακριβή και αξιόπιστη λειτουργία.

Πιθανά Προβλήματα:

1. ΔΙΑΒΡΩΣΗ (Corrosion)

- **Μηχανισμός:** Υγρασία + Οξυγόνο → Οξείδωση μεταλλικών επιφανειών
- **Επιπτώσεις:**
 - Σκουριά σε εσωτερικά μέρη βαλβίδων
 - Φθορά διαφραγμάτων και στεγανών (O-rings)
 - Μπλοκάρισμα κινούμενων μερών (στελέχη βαλβίδων)
 - Αστοχία ενεργοποιητών σε κρίσιμες στιγμές
- **Παράδειγμα:** Βαλβίδα ελέγχου καυσίμου κολλάει λόγω σκουριάς → Δεν μπορεί να κλείσει σε έκτακτη ανάγκη

2. ΠΑΓΩΜΑ (Freezing)

- **Μηχανισμός:** Σε ψυχρά περιβάλλοντα ($< 0^{\circ}\text{C}$), το νερό παγώνει
- **Επιπτώσεις:**
 - Απόφραξη στενών διόδων βαλβίδων
 - Μπλοκάρισμα κινούμενων μερών
 - Κρύσταλλοι πάγου καταστρέφουν στεγανά
 - **Πλήρης αδυναμία λειτουργίας** συστήματος
- **Παράδειγμα:** Πλοίο σε Αρκτικά νερά → Πνευματικός ενεργοποιητής πηδαλίου παγώνει → **Απώλεια ελέγχου πορείας**

3. ΨΕΥΔΕΙΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

- **Μηχανισμός:** Σταγονίδια νερού επηρεάζουν πνευματικά όργανα μέτρησης
- **Επιπτώσεις:**
 - Λανθασμένες μετρήσεις πίεσης/ροής
 - Ασταθείς ενδείξεις
 - Λάθος αποφάσεις ελέγχου από αυτοματισμούς
- **Παράδειγμα:** Μετρητής ροής καυσίμου δίνει λάθος ένδειξη → Υπερκατανάλωση

4. ΜΕΙΩΣΗ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

- **Μηχανισμός:** Νερό ξεπλένει το λιπαντικό από κινούμενα μέρη
- **Επιπτώσεις:**
 - Αυξημένη τριβή
 - Πρόωρη φθορά
 - Δημιουργία γαλακτώματος (emulsion) λαδιού-νερού
- **Παράδειγμα:** Πνευματικός κύλινδρος χωρίς σωστή λίπανση → Τσακίζει τα στεγανά

5. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

- **Μηχανισμός:** Σε θερμό, υγρό περιβάλλον αναπτύσσονται μικροοργανισμοί
- **Επιπτώσεις:**

- Απόφραξη φίλτρων και μικροδιόδων
- Βλέννες στο εσωτερικό σωληνώσεων
- **Παράδειγμα:** Θερμό μηχανοστάσιο + υγρασία → Ανάπτυξη μυκήτων σε σωλήνες

Άσκηση 2.3 - Υπολογισμός Απαιτούμενης Παροχής Αεροσυμπιεστή

Πρόβλημα:

Ένα πλοίο έχει τις ακόλουθες καταναλώσεις πεπιεσμένου αέρα:

- Πνευματικά εργαλεία: 25 m³/h (χρήση 4 ώρες/ημέρα)
- Σύστημα ελέγχου: 8 m³/h (συνεχώς)
- Καθαρισμός σωληνώσεων: 15 m³/h (χρήση 1 ώρα/ημέρα)
- Διαρροές εκτιμώνται στο 12% της συνολικής κατανάλωσης

Υπολογίστε:

α) Τη μέση ωριαία κατανάλωση

β) Την απαιτούμενη παροχή αεροσυμπιεστή (με συντελεστή ασφαλείας 1.25)

Λύση:

α) Μέση Ωριαία Κατανάλωση:

Βήμα 1: Υπολογισμός κατανάλωσης ανά 24ωρο

Εργαλεία: 25 m³/h × 4 h = 100 m³/ημέρα

Έλεγχος: 8 m³/h × 24 h = 192 m³/ημέρα

Καθαρισμός: 15 m³/h × 1 h = 15 m³/ημέρα

Σύνολο: 307 m³/ημέρα

Βήμα 2: Προσθήκη διαρροών (12%)

Διαρροές: 307 × 0.12 = 36.84 m³/ημέρα

Συνολική κατανάλωση: 307 + 36.84 = 343.84 m³/ημέρα

Βήμα 3: Μέση ωριαία κατανάλωση

Μέση ωριαία = 343.84 / 24 = 14.33 m³/h

β) Απαιτούμενη Παροχή Αεροσυμπιεστή:

Βήμα 1: Υπολογισμός μέγιστης ταυτόχρονης κατανάλωσης

Worst case: Όλα ταυτόχρονα

Εργαλεία: 25 m³/h

Έλεγχος: 8 m³/h

Καθαρισμός: 15 m³/h

Διαρροές: (25+8+15) × 0.12 = 5.76 m³/h

Σύνολο: 53.76 m³/h

Βήμα 2: Εφαρμογή συντελεστή ασφαλείας

Απαιτούμενη παροχή = 53.76 × 1.25 = 67.2 m³/h

Απάντηση:

- **α) Μέση ωριαία κατανάλωση: 14.33 m³/h**
- **β) Απαιτούμενη παροχή αεροσυμπιεστή: ~70 m³/h** (στρογγυλοποίηση στο εμπορικά διαθέσιμο μέγεθος)

Επιλογή Εξοπλισμού:

ΠΡΟΤΑΣΗ: Διάταξη Duty/Standby

Αεροσυμπιεστής #1: 70 m³/h @ 7 bar (Duty)
Αεροσυμπιεστής #2: 70 m³/h @ 7 bar (Standby)

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ: Μονή μονάδα μεγαλύτερης παροχής
Αεροσυμπιεστής: 100-120 m³/h @ 7 bar

Επιπλέον Σκέψεις:

- Για **εκκίνηση μηχανής** χρειάζεται ξεχωριστός υψηλής πίεσης (30 bar)
- **Αεροφιάλες** αποθηκεύουν αέρα για αιχμές κατανάλωσης
- **VFD (Variable Frequency Drive)** μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια

Άσκηση 2.4 - Επιλογή Τύπου Αεροσυμπιεστή

Σενάριο:

Ένα containership χρειάζεται νέο αεροσυμπιεστή με τις εξής προδιαγραφές:

- Παροχή: 150 m³/h
- Πίεση: 7 bar
- Λειτουργία: Συνεχής (24/7)
- Χώρος εγκατάστασης: Περιορισμένος
- Απαιτήσεις ποιότητας: ISO 4:4:2

Ποιον τύπο αεροσυμπιεστή θα προτείνετε και γιατί;

Απάντηση:

ΠΡΟΤΑΣΗ: Κοχλιωτός (Screw) Αεροσυμπιεστής Oil-Injected

Αιτιολόγηση:

1. Συνεχής Λειτουργία (24/7)

☒ Κοχλιωτός: Σχεδιασμένος για συνεχή λειτουργία

- Διάρκεια ζωής: 60,000+ ώρες
- Χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας
- Λιγότερη φθορά

☒ Παλινδρομικός: Περισσότερη φθορά σε συνεχή χρήση

- Συχνές αλλαγές βαλβίδων
- Περισσότερη συντήρηση

2. Περιορισμένος Χώρος

☒ Κοχλιωτός: Συμπαγής κατασκευή

- Μικρότερο footprint για ίδια παροχή
- Ενσωματωμένοι aftercooler, φίλτρα, κ.λπ.
- Ολοκληρωμένη μονάδα (plug & play)

☒ Παλινδρομικός: Μεγαλύτερος όγκος

- Χρειάζεται θεμέλια για κραδασμούς
- Ξεχωριστοί coolers, separators

3. Απαιτήσεις Ποιότητας ISO 4:4:2

Ανάλυση:

- Σωματίδια [4]: ≤ 10,000 (1-5 μm) → Βασικό φιλτράρισμα
- Υγρασία [4]: Σημείο δρόσου +3°C → Aftercooler + Ψυκτικός ξηραντής
- Λάδι [2]: ≤ 0.1 mg/m³ → Coalescing filter

- ✓ Κοχλιωτός Oil-Injected με σωστή επεξεργασία καλύπτει την απαίτηση
 - Ενσωματωμένος oil separator (99% αφαίρεση)
 - Επιπλέον coalescing filter → <0.1 mg/m³

- ⚠ Oil-Free κοχλιωτός ΔΕΝ χρειάζεται (υπερδιάσταση για ISO 4:4:2)
 - Πολύ ακριβότερος
 - Δικαιολογείται μόνο για ISO x:x:1

4. Πίεση 7 bar

- ✓ Κοχλιωτός Single-Stage: Ιδανικός για 7-10 bar
 - Βέλτιστη απόδοση σε αυτή την περιοχή
 - Χαμηλότερο κόστος από two-stage

✗ Παλινδρομικός μονοβάθμιος: Λειτουργεί, αλλά υψηλότερη θερμοκρασία

5. Οικονομικά

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ:

Κοχλιωτός 150 m³/h: 100% (βάση)

Παλινδρομικός: 65-70%

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (ετήσια):

Ενέργεια:

- Κοχλιωτός: ~85% απόδοση
 - Παλινδρομικός: ~70% απόδοση
- Κοχλιωτός εξοικονομεί 15-20% ενέργεια

Συντήρηση:

- Κοχλιωτός: 2,000-3,000€/έτος
- Παλινδρομικός: 4,000-6,000€/έτος

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ 10 ΕΤΩΝ:

Κοχλιωτός: 100% (παρά το υψηλότερο αρχικό)

Παλινδρομικός: 110-115%

ΤΕΛΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ:

ΚΟΧΛΙΩΤΟΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ 150 m³/h @ 7 bar

Oil-Injected, Single-Stage

ΠΑΚΕΤΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ:

- ✓ Ενσωματωμένος aftercooler
- ✓ Oil separator
- ✓ Ψυκτικός ξηραντής
- ✓ Coalescing filter
- ✓ Υδατοπαγίδες αυτόματης αποστράγγισης
- ✓ VFD (Variable Frequency Drive) - προαιρετικά

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

- Χαμηλή συντήρηση
- Υψηλή αξιοπιστία

- Ενεργειακή απόδοση
- Συμπαγής - εξοικονόμηση χώρου
- Χαμηλός θόρυβος

2.4 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.4.1 Προγραμματισμένη Συντήρηση Αεροσυμπιεστών

A. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οπτικός Έλεγχος:

- ☐ Έλεγχος στάθμης λαδιού (oil-injected)
- ☐ Έλεγχος θερμοκρασίας λειτουργίας
- ☐ Έλεγχος πίεσης εξόδου (μανόμετρο)
- ☐ Ακουστικός έλεγχος (ασυνήθιστοι θόρυβοι)
- ☐ Έλεγχος διαρροών αέρα
- ☐ Αποστράγγιση υδατοπαγίδων (χειροκίνητες)
- ☐ Έλεγχος ενδείξεων/συναγερμών

Καταγραφή:

ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

Ημερομηνία: _____

Ωρες Λειτουργίας: _____

Πίεση Εξόδου: _____ bar

Θερμοκρασία: _____ °C

Παρατηρήσεις: _____

Υπογραφή: _____

B. ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

- ☐ Καθαρισμός φίλτρου αναρρόφησης αέρα
 - ☐ Έλεγχος τάσης ιμάντων (αν υπάρχουν)
 - ☐ Έλεγχος στάθμης λιπαντήρων (FRL units)
 - ☐ Έλεγχος λειτουργίας αυτόματων αποστραγγίσεων
 - ☐ Έλεγχος διαρροών σε συνδέσεις
-

Γ. ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

- ☐ Αντικατάσταση/καθαρισμός φίλτρου αέρα
 - ☐ Έλεγχος πτώσης πίεσης φίλτρων (Δp)
 - ☐ Δειγματοληψία λαδιού (ανάλυση)
 - ☐ Έλεγχος βαλβίδων ασφαλείας (ανακουφιστικών)
 - ☐ Έλεγχος ψυκτικού συστήματος (καθαρότητα εναλλάκτη)
 - ☐ Σύσφιξη ηλεκτρικών συνδέσεων
-

Δ. ΕΤΗΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ / 2000 ΩΡΕΣ

Κοχλιωτός Αεροσυμπιεστής:

- ☐ Αλλαγή λαδιού αεροσυμπιεστή
- ☐ Αλλαγή φίλτρου λαδιού
- ☐ Αλλαγή oil separator element

- ☐ Αλλαγή φίλτρου αέρα
- ☐ Έλεγχος ρουλεμάν
- ☐ Έλεγχος coupling
- ☐ Δοκιμή βαλβίδων ασφαλείας
- ☐ Μέτρηση μονώσεων κινητήρα
- ☐ Καθαρισμός εναλλακτών θερμότητας

Παλινδρομικός Αεροσυμπιεστής:

- ☐ Αλλαγή λαδιού
- ☐ Αλλαγή φίλτρου λαδιού
- ☐ Έλεγχος/ρύθμιση βαλβίδων αναρρόφησης/εκτόνωσης
- ☐ Έλεγχος ελατηρίων βαλβίδων
- ☐ Έλεγχος εμβόλων και ελαστικών δακτυλίων (piston rings)
- ☐ Έλεγχος διάκενου (clearance) στροφαλοφόρου άξονα
- ☐ Έλεγχος κυλίνδρων για φθορές
- ☐ Έλεγχος κεφαλών κυλίνδρων

E. MAJOR OVERHAUL / 8000-10000 ΩΡΕΣ

Κοχλιωτός:

- ☐ Αντικατάσταση ρουλεμάν
- ☐ Επιθεώρηση κοχλιών (rotors) για φθορά
- ☐ Αντικατάσταση στεγανών (seals)
- ☐ Ρύθμιση διάκενων (clearances)
- ☐ Έλεγχος/επισκευή κινητήρα

Παλινδρομικός:

- ☐ Αντικατάσταση εμβόλων
- ☐ Αντικατάσταση ελαστικών δακτυλίων
- ☐ Επανεπεξεργασία κυλίνδρων (honing)
- ☐ Αντικατάσταση βαλβίδων
- ☐ Έλεγχος στροφαλοφόρου
- ☐ Αντικατάσταση ρουλεμάν

2.4.2 Συντήρηση Εξοπλισμού Επεξεργασίας

AFTERCOOLERS

Πρόβλημα: Άλατα θάλασσας (υδρόψυκτοι) ή σκόνη (αερόψυκτοι)

Συντήρηση:

ΜΗΝΙΑΙΑ:

- ☐ Καθαρισμός εξωτερικών πτερυγίων (αερόψυκτος)
- ☐ Έλεγχος θερμοκρασίας εξόδου
- ☐ Έλεγχος διαρροών νερού (υδρόψυκτος)

ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΑ:

- ☐ Χημικός καθαρισμός εναλλάκτη (υδρόψυκτος)
- ☐ Backflushing με πεπιεσμένο νερό
- ☐ Έλεγχος αντλίας θαλασσινού νερού

ΕΤΗΣΙΑ:

- ☐ Άνοιγμα και μηχανικός καθαρισμός

- ☐ Έλεγχος σωληνώσεων για διάβρωση
 - ☐ Δοκιμή πίεσης (pressure test)
-

ΞΗΡΑΝΤΕΣ ΑΕΡΑ

Ψυκτικοί Ξηραντές:

ΜΗΝΙΑΙΑ:

- ☐ Έλεγχος σημείου δρόσου (dew point monitor)
- ☐ Καθαρισμός συμπυκνωτή ψυκτικού κυκλώματος
- ☐ Έλεγχος πίεσης ψυκτικού
- ☐ Αποστράγγιση συμπυκνωμάτων

ΕΤΗΣΙΑ:

- ☐ Έλεγχος διαρροών ψυκτικού (leak test)
- ☐ Καθαρισμός εναλλακτών
- ☐ Έλεγχος λειτουργίας θερμοστάτη
- ☐ Δοκιμή ασφαλειών υψηλής/χαμηλής πίεσης

Απορροφητικοί Ξηραντές:

ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ:

- ☐ Έλεγχος εναλλαγής πύργων (changeover)
- ☐ Παρακολούθηση πίεσης αναγέννησης

ΜΗΝΙΑΙΑ:

- ☐ Έλεγχος σημείου δρόσου
- ☐ Έλεγχος κατανάλωσης αέρα αναγέννησης
- ☐ Έλεγχος θερμοκρασίας αναγέννησης (heated type)

ΕΤΗΣΙΑ:

- ☐ Οπτική επιθεώρηση desiccant
- ☐ Δειγματοληψία για ανάλυση
- ☐ Έλεγχος βαλβίδων εναλλαγής

ΚΑΘΕ 3-5 ΕΤΗ:

☐ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ DESICCANT

Ενδείξεις φθοράς:

- Αλλαγή χρώματος (σε σκούρο)
 - Σκόνη/κατάρρευση κόκκων
 - Αύξηση σημείου δρόσου
 - Δεν επιτυγχάνεται σωστή αναγέννηση
-

ΦΙΛΤΡΑ

Παρακολούθηση:

Πτώση Πίεσης (Δp):

ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΟ ΦΙΛΤΡΟ: 0.05-0.1 bar

ΚΑΘΑΡΟ ΦΙΛΤΡΟ: 0.1-0.2 bar

ΒΡΟΜΙΚΟ: 0.3-0.5 bar

ΜΠΛΟΚΑΡΙΣΜΕΝΟ: >0.5 bar

→ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ όταν $\Delta p > 0.5 \text{ bar}$

Συχνότητα Αντικατάστασης:

ΠΡΟ-ΦΙΛΤΡΟ (Particulate):

- Περιβάλλον καθαρό: 6-12 μήνες
- Περιβάλλον βρώμικο (σκόνη, καπνός): 3-6 μήνες
- Ένδειξη: $\Delta p > 0.5 \text{ bar}$ ή οπτική επιθεώρηση

COALESCING FILTER (Λάδι):

- Κανονικές συνθήκες: 12 μήνες
- Oil-injected compressor: 6-9 μήνες
- Ένδειξη: $\Delta p > 0.5 \text{ bar}$ ή αύξηση λαδιού στον αέρα

ACTIVATED CARBON:

- 6-12 μήνες (ανάλογα με φόρτωση λαδιού)
- Ένδειξη: Οσμή λαδιού, μετρήσεις περιεκτικότητας

ΠΡΟΣΟΧΗ:

Μη χρησιμοποιείτε πεπιεσμένο αέρα για καθαρισμό!
Αντικαθίστε τα φίλτρα - δεν καθαρίζονται!

ΥΔΑΤΟΠΑΓΙΔΕΣ

Συντήρηση:

ΗΜΕΡΗΣΙΑ (Χειροκίνητες):

- ☐ Άνοιγμα βαλβίδας εκκένωσης
- ☐ Αποστράγγιση μέχρι να βγει μόνο αέρας
- ☐ Κλείσιμο βαλβίδας

ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΑ (Αυτόματες):

- ☐ Έλεγχος λειτουργίας αυτόματης αποστράγγισης
- ☐ Test χειροκίνητα (bypass)
- ☐ Καθαρισμός πλωτήρα/αισθητήρα

ΜΗΝΙΑΙΑ:

- ☐ Καθαρισμός θαλάμου συλλογής
- ☐ Έλεγχος για ιζήματα/σκουριές
- ☐ Έλεγχος στεγανότητας

ΕΤΗΣΙΑ:

- ☐ Αποσυναρμολόγηση και καθαρισμός
- ☐ Αντικατάσταση φθαρμένων O-rings
- ☐ Έλεγχος κυκλωνικού στοιχείου (αν υπάρχει)

2.4.3 Αντιμετώπιση Βλαβών (Troubleshooting)

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1: ΧΑΜΗΛΗ ΠΙΕΣΗ ΕΞΟΔΟΥ

Αιτία	Έλεγχος	Λύση
Διαρροές στο σύστημα	Ακουστικός έλεγχος, σαπουνόνερο	Επισκευή διαρροών, αντικατάσταση ελαστικών
Υπερβολική κατανάλωση	Μέτρηση πραγματικής ροής	Προσθήκη αεροσυμπιεστή, μείωση χρήσης

Αιτία	Έλεγχος	Λύση
Φθαρμένες βαλβίδες (παλινδρομικός)	Έλεγχος θερμοκρασίας κυλίνδρων, ακουστικά	Αντικατάσταση βαλβίδων
Φθορά κοχλίων (κοχλιωτός)	Μείωση παροχής, αύξηση θερμοκρασίας	Major overhaul - επισκευή rotors
Ολίσθηση ιμάντα	Οπτικός έλεγχος, μέτρηση τάσης	Σύσφιξη ή αντικατάσταση ιμάντα
Λανθασμένη ρύθμιση ρυθμιστή πίεσης	Έλεγχος ρύθμισης	Επαναρύθμιση

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2: ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ

Αιτία	Έλεγχος	Λύση
Βρώμικος εναλλάκτης/ψυγείο	Θερμοκρασία εξόδου >80-90°C	Καθαρισμός πτερυγίων/σωλήνων
Χαμηλή στάθμη λαδιού	Έλεγχος επιπέδου	Προσθήκη λαδιού, έλεγχος διαρροών
Βρώμικο φίλτρο αναρρόφησης	Δρ φίλτρου, μειωμένη παροχή αέρα	Καθαρισμός/αντικατάσταση
Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος	Μέτρηση θερμοκρασίας μηχανοστασίου	Βελτίωση εξαερισμού
Υπερφόρτωση	Έλεγχος πίεσης, ωρών λειτουργίας	Ρύθμιση πίεσης, προσθήκη capacity
Βλάβη θερμοστάτη	Test λειτουργίας cooling fan	Αντικατάσταση θερμοστάτη

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3: ΥΨΗΛΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΛΑΔΙΟΥ (Oil-Injected)

Αιτία	Έλεγχος	Λύση
Φθαρμένο oil separator element	Λάδι στον αέρα, γρήγορη πτώση στάθμης	Αντικατάσταση separator
Υπερπλήρωση λαδιού	Έλεγχος επιπέδου (υπέρ του MAX)	Αφαίρεση περίσσειας
Μπλοκαρισμένο oil return line	Έλεγχος σωλήνας επιστροφής	Καθαρισμός απόφραξης
Φθαρμένα στεγανά άξονα	Διαρροή λαδιού εξωτερικά	Αντικατάσταση seals
Υπερβολική πίεση λαδιού	Έλεγχος πίεσης κυκλώματος λίπανσης	Ρύθμιση/επισκευή αντλίας

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4: ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

Αιτία	Έλεγχος	Λύση
Βλάβη aftercooler	Υψηλή θερμοκρασία εξόδου	Καθαρισμός/επισκευή
Ανεπαρκής ξηραντής	Μέτρηση dew point	Ρύθμιση, αντικατάσταση desiccant
Υπερφορτωμένος ξηραντής	Συνεχής υγρασία παρά λειτουργία	Προσθήκη capacity ξηραντή
Βλάβη ψυκτικού κυκλώματος (ψυκτικός ξηραντής)	Έλεγχος πίεσης ψυκτικού	Επισκευή διαρροών, επαναπλήρωση
Μη λειτουργούσες υδατοπαγίδες	Νερό σε φίλτρα/σωληνώσεις	Επισκευή/αντικατάσταση drains
Ψυχρό περιβάλλον	Συμπύκνωση σε εξωτερικές σωληνώσεις	Μόνωση σωλήνων, θέρμανση

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 5: ΘΟΡΥΒΟΣ/ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ

Αιτία	Έλεγχος	Λύση
Χαλαρά θεμέλια/βάσεις	Οπτικός έλεγχος, δόνηση	Σύσφιξη κοχλιών θεμελίωσης
Φθαρμένα ρουλεμάν	Ακουστικά, δόνηση άξονα	Αντικατάσταση ρουλεμάν
Μη ευθυγραμμισμένο coupling	Έλεγχος ευθυγράμμισης	Re-alignment κινητήρα-αεροσυμπιεστή
Χαλαρές βαλβίδες (παλινδρομικός)	Μεταλλικός θόρυβος	Σύσφιξη/αντικατάσταση
Ανεπαρκής λίπανση	Μεταλλικοί ήχοι, θερμοκρασία	Προσθήκη λαδιού, έλεγχος αντλίας
Ξένο σώμα	Ασυνήθιστος θόρυβος ξαφνικά	Απομόνωση, άνοιγμα, αφαίρεση

2.4.4 Ασφάλεια κατά τη Συντήρηση

ΠΡΙΝ από ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ εργασία:

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ

1. ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ

- Ειδοποίηση Μηχανοδηγού Βάρδιας
- Καταχώρηση σε Engine Log Book

2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ

- Διακόπτης κινητήρα: OFF
- Ασφαλιστικό διακόπτη: ΑΝΟΙΧΤΟ
- Lock-Out/Tag-Out
- Πινακίδα: "ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΕΞΕΛΙΞΗ"

3. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ

- Κλείσιμο βαλβίδας αναρρόφησης
- Κλείσιμο βαλβίδας εξόδου

4. ΑΠΟΣΥΜΠΙΕΣΗ

- Άνοιγμα drain valve
- Περίμενε μέχρι πίεση = 0 bar
- Επιβεβαίωση με μανόμετρο

5. ΨΥΞΗ

- Αφήστε να κρυώσει (< 40°C)
- Προσοχή σε εγκαύματα!

6. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

- Γυαλιά προστασίας
- Γάντια εργασίας
- Ρούχα χωρίς χνούδι
- Ασφαλή υποδήματα

ΚΑΤΑ τη διάρκεια εργασίας:

- ✓ Χρήση σωστών εργαλείων
- ✓ Καθαριότητα εξαρτημάτων πριν τη συναρμολόγηση
- ✓ Αντικατάσταση ΟΛΩΝ των στεγανών (O-rings, gaskets)
- ✓ Σύσφιξη κοχλιών με καθορισμένη ροπή (torque wrench)

✓ Μη αφήνετε εργαλεία μέσα στον εξοπλισμό!

META την εργασία:

- ☐ Οπτική επιθεώρηση (τίποτα ξεχασμένο;)
 - ☐ Κλείσιμο καλυμμάτων/καπακιών
 - ☐ Σταδιακή πλήρωση με αέρα
 - ☐ Έλεγχος διαρροών (σαπουνόνερο)
 - ☐ Test run χωρίς φορτίο (5-10 λεπτά)
 - ☐ Έλεγχος θερμοκρασίας, πίεσης, θορύβων
 - ☐ Έλεγχος με φορτίο
 - ☐ Καταχώρηση στο Maintenance Log
 - ☐ Αφαίρεση Lock-Out/Tag-Out
 - ☐ Ενημέρωση Μηχανοδηγού
-

2.5 ΑΕΡΟΦΙΑΛΕΣ (AIR RECEIVERS)

2.5.1 Σκοπός και Λειτουργία

Οι **αεροφιάλες** είναι δεξαμενές υπό πίεση που αποθηκεύουν πεπιεσμένο αέρα.

Βασικοί Σκοποί:

1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Εφεδρική παροχή αέρα
- Κάλυψη αιχμών κατανάλωσης
- Emergency supply (εκκίνηση σε blackout)

2. ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ

- Εξομάλυνση παλμών από παλινδρομικούς αεροσυμπιεστές
- Σταθεροποίηση πίεσης δικτύου
- Buffer μεταξύ παραγωγής-κατανάλωσης

3. ΨΥΞΗ ΑΕΡΑ

- Επιπλέον χρόνος για συμπύκνωση υγρασίας
- Θερμοκρασία μειώνεται με ηρεμία αέρα

4. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

- Σταγόνες νερού/λαδιού καθιζάνουν στον πυθμένα
 - Λειτουργία ως μεγάλη υδατοπαγίδα
-

2.5.2 Τύποι Αεροφιαλών σε Πλοία

A. ΑΕΡΟΦΙΑΛΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ (Starting Air Receivers)

Χαρακτηριστικά:

Πίεση: 25-30 bar

Χωρητικότητα:

- Κύρια μηχανή: 0.5-2 m³ ανά κύλινδρο
- Βοηθητικές: 50-200 λίτρες

Αριθμός: 2-3 φιάλες (redundancy)

Υλικό: Χάλυβας St 37 ή ισοδύναμο

Πάχος: 10-20 mm

Απαίτηση Χωρητικότητας:

Κανονισμός: Αρκετή για 12 συνεχόμενες εκκινήσεις
χωρίς επαναπλήρωση

Παράδειγμα:

Κύρια μηχανή 6 κυλίνδρων, 2-χρονη

Ανάγκη ανά εκκίνηση: ~60 λίτρα ελεύθερου αέρα

$12 \text{ εκκινήσεις} \times 60 \text{ L} = 720 \text{ L}$ ελεύθερος αέρας

Σε 30 bar:

$V = (720 \text{ L} \times 1 \text{ bar}) / 30 \text{ bar} = 24 \text{ L}$ πεπιεσμένος

Πρακτικά: $2 \times 50 \text{ L}$ φιάλες = 100 L (με περιθώριο)

B. ΑΕΡΟΦΙΑΛΕΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (Service Air Receivers)

Χαρακτηριστικά:

Πίεση: 7-10 bar

Χωρητικότητα: 500-2000 λίτρες (ανάλογα μέγεθος πλοίου)

Αριθμός: 1-2

Σκοπός:

- Buffer για αεροσυμπιεστές
- Παροχή σε εργαλεία, όργανα
- Εξομάλυνση κατανάλωσης

Υπολογισμός Χωρητικότητας:

Κανόνας: $V = (Q \times t) / \Delta p$

Όπου:

V = Χωρητικότητα (λίτρα)

Q = Παροχή αεροσυμπιεστή (L/min)

t = Επιθυμητός χρόνος μεταξύ start/stop (λεπτά)

Δp = Διαφορά πίεσης load/unload (bar)

Παράδειγμα:

$Q = 150 \text{ m}^3/\text{h} = 2500 \text{ L}/\text{min}$

$t = 2 \text{ λεπτά}$ (για μείωση start/stop)

$\Delta p = 7.5 - 6.5 = 1 \text{ bar}$

$V = (2500 \times 2) / 1 = 5000 \text{ L} = 5 \text{ m}^3$

Πρακτική επιλογή: $2 \times 3 \text{ m}^3 = 6 \text{ m}^3$ συνολικά

Γ. ΑΕΡΟΦΙΑΛΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (Control Air Receivers)

Χαρακτηριστικά:

Πίεση: 7 bar

Χωρητικότητα: 100-500 λίτρες

Ποιότητα αέρα: Υψηλή (ISO 2:2:1)

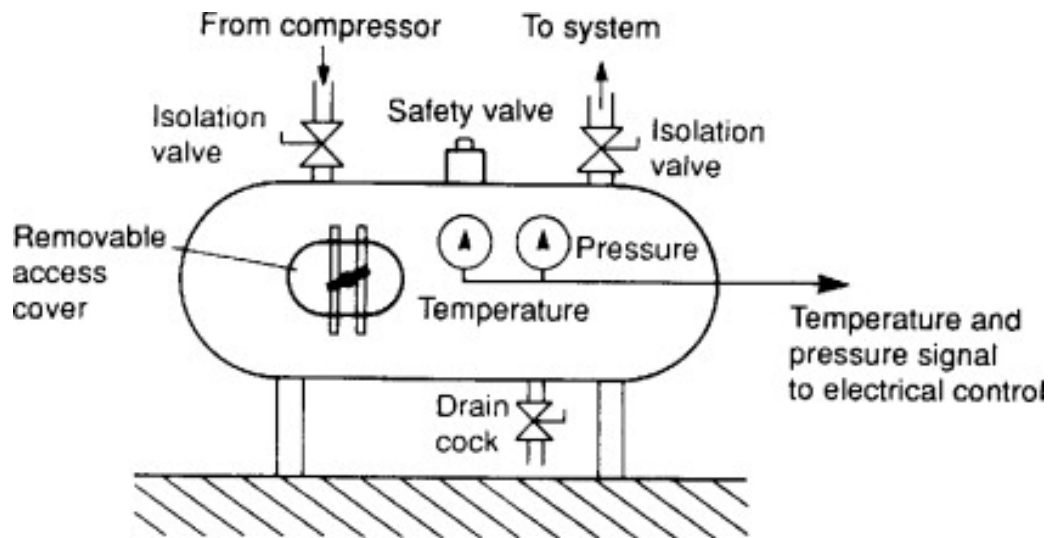
Ειδικά χαρακτηριστικά:

- Εσωτερικά επιχρισμένες (anti-corrosion)

- Συνδεδεμένες με ξηραντή

2.5.3 Κατασκευαστικά Στοιχεία

Τυπική Αεροφιάλη:



ΕΞΟΔΟΙ:

- [Εξοδος προς δίκτυο] - Από πάνω μέρος
- [Εξοδος emergency] - Ξεχωριστή σύνδεση

Κύρια Εξαρτήματα:

1. Κέλυφος (Shell)

Υλικό: Χάλυβας κατά πρότυπα (ASME, PED, Lloyd's)

Μορφή: Κυλινδρική με ημισφαιρικά ή ellipsoidal άκρα

Σύνδεση: Συγκολλημένη ραφή (100% RTG εξέταση)

Πάχος: Βάσει τύπου:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times \eta - 1.2 \times P)$$

Όπου:

t = Πάχος (mm)

P = Πίεση σχεδιασμού (bar)

D = Διάμετρος (mm)

S = Αντοχή υλικού (N/mm²)

η = Απόδοση συγκόλλησης (0.85-1.0)

2. Ανακουφιστική Βαλβίδα (Safety Valve)

Ρύθμιση: 10% πάνω από πίεση εργασίας

Παράδειγμα:

- Φιάλη 30 bar → Ανακουφιστική 33 bar
- Φιάλη 7 bar → Ανακουφιστική 7.7-8 bar

Χαρακτηριστικά:

- Spring-loaded
- Πιστοποιημένη (Type Approved)
- Σφραγισμένη μετά τη ρύθμιση
- ΜΗΝ αλλάξετε ρύθμιση χωρίς έγκριση!

3. Μανόμετρο

Εύρος: 0-40 bar (για φιάλη 30 bar)

0-12 bar (για φιάλη 7 bar)

Κλάση ακρίβειας: 1.6 ή καλύτερη

Με βαλβίδα απομόνωσης

4. Βαλβίδα Αποστράγγισης (Drain)

Τοποθεσία: Χαμηλότερο σημείο

Τύποι:

- Χειροκίνητη: Καθημερινή αποστράγγιση
- Αυτόματη (float/electronic): Συνεχής

5. Manhole / Inspection Opening

Μεγάλες φιάλες (>500 L):

- Άνοιγμα επιθεώρησης (400-500 mm)
- Φλάντζα με κοχλίες
- Στεγανό με gasket

Σκοπός:

- Εσωτερική επιθεώρηση
- Καθαρισμός αποθέσεων
- Επισκευές

2.5.4 Κανονισμοί και Επιθεωρήσεις

Νομοθετικό Πλαίσιο

Διεθνείς Κανονισμοί:

- SOLAS (IMO) - Safety of Life at Sea
- Classification Societies (Lloyd's, ABS, DNV, etc.)
- Pressure Equipment Directive (PED) - EU
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code - USA

Απαιτήσεις Κατασκευής:

- ☐ Σχεδιασμός από εγκεκριμένο μηχανικό
- ☐ Υλικά πιστοποιημένα
- ☐ Κατασκευή σε εγκεκριμένο εργοστάσιο
- ☐ Δοκιμή πίεσης (Hydrostatic Test)
→ $1.5 \times$ πίεση εργασίας για 30 λεπτά
- ☐ NDT εξετάσεις (Radiography, Ultrasonic)
- ☐ Πιστοποιητικό κατασκευής
- ☐ Μόνιμη πινακίδα (nameplate)

Πινακίδα Αεροφιάλης:

AIR RECEIVER

Maker: ABC Shipyard Ltd.

Serial No: AR-2024-1234

Year: 2024

Capacity: 1000 L

Design Pressure: 10 bar

Working Pressure: 7 bar

Test Pressure: 15 bar
Material: St 37.2
Min. Thickness: 8 mm
Approval: Lloyd's Register

Προγραμματισμένες Επιθεωρήσεις ΕΤΗΣΙΑ (Annual Survey):

Εξωτερική Επιθεώρηση:

- ☐ Οπτικός έλεγχος για διαβρώσεις
- ☐ Έλεγχος συγκολλήσεων
- ☐ Έλεγχος στηριγμάτων/βάσεων
- ☐ Δοκιμή ανακουφιστικής βαλβίδας
- ☐ Έλεγχος μανομέτρου (calibration)
- ☐ Έλεγχος βαλβίδων/συνδέσεων
- ☐ Καταγραφή σε logbook

ΔΙΕΤΗΣ (Intermediate Survey - 2.5 χρόνια):

- ☐ Όλα τα παραπάνω +
- ☐ Υδραυλική δοκιμή (Hydraulic Test)
→ $1.5 \times$ πίεση εργασίας
- ☐ Εσωτερική επιθεώρηση (αν εφικτό)

ΠΕΝΤΑΕΤΗΣ (Special Survey - 5 χρόνια):

- ☐ Όλα τα παραπάνω +
- ☐ ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ Εσωτερική Επιθεώρηση
- ☐ Άνοιγμα manhole
- ☐ Πλήρης καθαρισμός εσωτερικού
- ☐ Έλεγχος για:
 - Διάβρωση/Pitting
 - Ρωγμές (crack detection)
 - Απόθεση αλάτων/σκουριάς
- ☐ Μέτρηση πάχους (Ultrasonic Thickness)
- ☐ NDT (Magnetic Particle, Dye Penetrant)
- ☐ Υδραυλική δοκιμή
- ☐ Επαναπιστοποίηση

ΔΕΚΑΕΤΗΣ:

- ☐ Εκτεταμένη NDT
- ☐ Stress analysis (αν απαιτηθεί)
- ☐ Αξιολόγηση εναπομένουσας διάρκειας ζωής
- ☐ Απόφαση για:
 - Συνέχιση λειτουργίας
 - Περιορισμός πίεσης εργασίας
 - Αντικατάσταση

2.5.5 Συντήρηση Αεροφιαλών ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

- ☐ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ (Κρισιμότητα!)

Διαδικασία:

1. Ανοίξτε αργά τη βαλβίδα drain
2. Αφήστε να εξέλθει νερό/λάδι μέχρι να βγει καθαρός αέρας
3. Κλείστε βαλβίδα

Συχνότητα:

- Φιάλες εκκίνησης: 1×/ημέρα (τουλάχιστον)
- Φιάλες service: 2×/ημέρα (πρωί/απόγευμα)
- Σε υγρά κλίματα: Πιο συχνά

Ποσότητα νερού:

- Κανονικά: 50-200 ml/ημέρα
- ⚠ Πολύ νερό → Πρόβλημα aftercooler/ξηραντή
- ⚠ Λάδι → Πρόβλημα oil separator

□ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Μανόμετρο εντός ορίων
- Φιάλες εκκίνησης: 28-30 bar
- Service air: 6.5-7.5 bar

□ ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

- Διαρροές (ακουστικά/σαπουνόνερο)
- Διαβρώσεις εξωτερικά
- Βλάβες μόνωσης (αν υπάρχει)

ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

□ ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ

Χειροκίνητη δοκιμή (Test Lever):

1. Πλήρης πίεση στη φιάλη
2. Σηκώστε το μοχλό δοκιμής
3. Πρέπει να ακουστεί έντονη εκτόνωση αέρα
4. Αφήστε μοχλό → Βαλβίδα κλείνει αμέσως

⚠ Αν ΔΕΝ ανοίγει ή ΔΕΝ κλείνει σωστά:
→ Αντικατάσταση/επισκευή ΑΜΕΣΑ

□ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ

- Σύγκριση με δεύτερο μανόμετρο
- Έλεγχος για υγρασία στο εσωτερικό
- Ομαλή κίνηση δείκτη

□ ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

- Βαλβίδες απομόνωσης: Λειτουργούν ομαλά
- Χωρίς διαρροές από στυπιοθλίπτες
- Λίπανση στελεχών (αν απαιτείται)

□ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

- Διάβρωση/σκουριά

- Βαφή σε καλή κατάσταση
- Στηρίγματα/βάσεις σφιχτά

ΕΤΗΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

☐ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ (αν εφικτό)

Προετοιμασία:

1. Απομόνωση φιάλης (βαλβίδες κλειστές)
2. Lock-Out/Tag-Out
3. Πλήρης αποσυμπίεση
4. Άνοιγμα manhole/drain
5. Εξαερισμός (30+ λεπτά)
6. Gas test (O₂, LEL, H₂S)
7. Permit to Enter Enclosed Space

Επιθεώρηση:

- ☐ Καθαρισμός με πεπιεσμένο αέρα/νερό
- ☐ Οπτικός έλεγχος εσωτερικών τοιχωμάτων
- ☐ Έλεγχος για pitting/διάβρωση
- ☐ Μέτρηση πάχους (ultrasonic) σε 5-10 σημεία
- ☐ Φωτογραφική τεκμηρίωση

Ευρήματα:

- Ιζήματα: Κανονικό (νερό, λάδι, σκουριά)
- Pitting < 10% πάχους: Παρακολούθηση
- Pitting > 20% πάχους: ⚠ Σοβαρό
- Ρωγμές: ✖ Επικίνδυνο - Επισκευή/Αντικατάσταση

☐ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

Διαδικασία:

1. Κλείσιμο όλων των ανοιγμάτων
2. Πλήρωση με γλυκό νερό (χλωριούχο νερό όχι!)
3. Εξάτμιση αέρα από vent
4. Σταδιακή αύξηση πίεσης:
→ 50% → 100% → 150% πίεσης εργασίας
5. Διατήρηση 150% για 30 λεπτά
6. Οπτικός έλεγχος:
 - Διαρροές από συγκολλήσεις
 - Παραμόρφωση κελύφους
 - Διαρροές από συνδέσεις
7. Σταδιακή αποσυμπίεση
8. Πλήρης άδειασμα/ξήρανση
9. Καταγραφή αποτελεσμάτων

Κριτήρια Αποδοχής:

- ✓ Καμία διαρροή
- ✓ Καμία παραμόρφωση
- ✓ Πίεση σταθερή για 30 λεπτά

□ ΡΥΘΜΙΣΗ/ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΤΙΚΗΣ

Σε test bench (εξειδικευμένο εργαστήριο):

- Σταδιακή αύξηση πίεσης
- Καταγραφή πίεσης ανοίγματος
- Έλεγχος πλήρους ανοίγματος
- Έλεγχος πλήρους κλεισίματος
- Επανάληψη 3 φορές
- Ρύθμιση στη σωστή πίεση
- Σφράγιση

□ ΒΑΦΗ/ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

- Αφαίρεση παλιάς βαφής (αν φθαρμένη)
- Αντισκωριακό primer
- Τελική βαφή (χρώμα ανάλογα σύστημα)
- Νέες επιγραφές/πινακίδες

2.5.6 Ασφάλεια Αεροφιαλών ΚΙΝΔΥΝΟΙ

⚠ ΥΠΕΡΠΙΕΣΗ → ΕΚΡΗΞΗ

Αιτίες:

- Βλάβη ανακουφιστικής βαλβίδας
- Θερμοκρασιακή αύξηση (Gay-Lussac)
- Λάθος ρύθμιση αεροσυμπιεστή
- Κλείσιμο εξόδου με φιάλη υπό πίεση

⚠ ΔΙΑΒΡΩΣΗ → ΑΣΤΟΧΙΑ

Αιτίες:

- Συσσώρευση νερού (μη αποστράγγιση)
- Χρήση θαλασσινού νερού σε δοκιμές
- Εξωτερική διάβρωση (θαλασσινό περιβάλλον)

⚠ ΚΟΠΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ → ΡΗΞΗ

Αιτίες:

- Επαναλαμβανόμενες φορτίσεις/εκφορτίσεις
- Γήρανση υλικού
- Κακή κατασκευή (ελαττώματα συγκόλλησης)

ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

✓ ΠΟΤΕ ΜΗΝ:

- ✗ Υπερβείτε την πίεση εργασίας
- ✗ Αλλάξετε ρύθμιση ανακουφιστικής
- ✗ Μπλοκάρετε την ανακουφιστική
- ✗ Χρησιμοποιήσετε φιάλη με ρωγμές
- ✗ Συγκολλήσετε πάνω σε φιάλη υπό πίεση
- ✗ Κτυπήσετε φιάλη (impact damage)
- ✗ Παραλείψετε αποστραγγίσεις

✓ ΠΑΝΤΑ:

- ✓ Ημερήσια αποστράγγιση
- ✓ Τακτική επιθεώρηση
- ✓ Καταγραφή σε logbook
- ✓ Σεβασμός χρονοδιαγράμματος επιθεωρήσεων
- ✓ Χρήση πιστοποιημένων ανταλλακτικών
- ✓ Εκπαιδευμένο προσωπικό

ΣΗΜΑΝΣΗ & ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ (BS/ISO):

ΑΕΡΟΦΙΑΛΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ:

● Μπλε (RAL 5015) + Επιγραφή "STARTING AIR 30 BAR"

SERVICE AIR:

● Μαύρο (RAL 9005) + Επιγραφή "SERVICE AIR 7 BAR"

CONTROL AIR:

● Κίτρινο (RAL 1003) + "CONTROL AIR - FILTERED & DRIED"

EMERGENCY AIR:

● Κόκκινο (RAL 3000) + "EMERGENCY AIR"

Επιγραφές:

- Μεγάλα, ευανάγνωστα γράμματα
- Αντίθεση χρώματος
- Ανεξίτηλη βαφή
- Στα Αγγλικά + τοπική γλώσσα

ΤΕΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ 2

ΣΥΝΟΨΗ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ 2

Βασικά Σημεία που πρέπει να θυμάστε:

1. ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

- ✓ Παλινδρομικοί: Υψηλή πίεση, περισσότερη συντήρηση
- ✓ Κοχλιωτοί: Συνεχής λειτουργία, χαμηλή συντήρηση
- ✓ Πολυβάθμιοι για πίεση >10 bar

2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (Σειρά)

Αεροσυμπιεστής → Aftercooler → Υδατοπαγίδα →
→ Ξηραντής → Φίλτρα → FRL → Χρήση

3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (ISO 8573-1)

- Σωματίδια: Φιλτράρισμα
- Υγρασία: Aftercooler + Ξηραντής
- Λάδι: Oil separator + Coalescing filter

4. ΑΕΡΟΦΙΑΛΕΣ

- Αποθήκευση ενέργειας
- Εξομάλυνση πίεσης
- Διαχωρισμός υγρασίας
- ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ αποστράγγιση!

5. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

- Ημερήσια: Αποστράγγιση, οπτικός έλεγχος
 - Μηνιαία: Φίλτρα, βαλβίδες
 - Ετήσια: Εσωτερική επιθεώρηση, υδραυλική δοκιμή
-

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΥΤΟΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ποιος τύπος αεροσυμπιεστή είναι καταλληλότερος για συνεχή λειτουργία και γιατί;
2. Εξηγήστε γιατί χρειάζεται aftercooler αμέσως μετά τον αεροσυμπιεστή.
3. Ποια η διαφορά μεταξύ ψυκτικού και απορροφητικού ξηραντή; Πότε χρησιμοποιείται ο καθένας;
4. Τι σημαίνει ISO 2:2:1 για την ποιότητα αέρα;
5. Γιατί η ημερήσια αποστράγγιση των αεροφιαλών είναι τόσο σημαντική;
6. Τι πίεση πρέπει να έχει η ανακουφιστική βαλβίδα μιας αεροφιάλης 30 bar;
7. Περιγράψτε τη σωστή διαδικασία υδραυλικής δοκιμής αεροφιάλης.
8. Ποια τα συστατικά μιας μονάδας FRL και τι κάνει το καθένα;