

Θ Ε Μ Α Τ Α**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΙΟΥΝΙΟΥ 2015**

1. Η εγκατάσταση ατμοστροβίλου πλοίου, ισχύος **17.000 kW**, τροφοδοτείται με ατμό υπέρθερμο πίεσεως **60 bar** και θερμοκρασίας **550 °C**.
Υπάρχουν δυο απομαστεύσεις για προθέρμανση συμπυκνώματος σε πιέσεις **12 bar** και **5 bar**. Μετά την πρώτη απομάστευση, ο ατμός αναθερμαίνεται στους **480 °C**. Η πίεση στον συμπυκνωτή είναι **0.06 bar**. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου είναι $\eta_t = 0.90$ και των αντλιών $\eta_p = 0.88$. Ζητείται να βρεθεί:
 - α. Ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης
 - β. Η ατμοπαραγωγή, οι παροχές των δύο απομαστεύσεων και η παροχή αναθέρμανσης
 - γ. Οι ισχείς στροβίλου, αντλιών και λέβητα
 - δ. Η κατανάλωση καυσίμου σε **tn/24h** ($q_f = 40.500 \text{ kJ/kg}$) και το ημερήσιο κόστος, αν η τιμή του καυσίμου είναι **350 \$/tn**. (Βαθμ. 4)

2. Αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος **150 MW**. Στην είσοδο του συμπιεστή ο αέρας έχει πίεση **100 kN/m²** και θερμοκρασία **25 °C**. Η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κύκλου είναι **1200 °C** και **2700 kN/m²** αντίστοιχα. Ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί καύσιμο Φυσικό Αέριο με θερμαντική ικανότητα **48.600 kJ/kg**. Ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι **88%** και του στροβίλου **90%**. Ζητείται να προσδιορισθούν:
 - α) Ο βαθμός αποδόσεως του αεριοστροβίλου
 - β) Η παροχή του αέρα σε **kg/s**.
 - γ) Η ισχύς του συμπιεστή, του στροβίλου και η θερμική ισχύς
 - ε) Η κατανάλωση καυσίμου σε **tn/24h** και το κόστος, εάν η τιμή του καυσίμου είναι **450 \$/tn**. (Βαθμ. 3)

3. Το εξωτερικό τοίχωμα ενός χώρου ενδιαίτησεως σε ένα πλοίο έχει μήκος **4 m**, ύψος **2,30 m** και αποτελείται από χαλύβδινο έλασμα ($\lambda=59 \text{ W/mK}$) πάχους **8 mm**, στο οποίο εσωτερικά εφάπτεται μονωτικό στρώμα αφρού πολουρεθάνης ($\lambda=0,04 \text{ W/mK}$) πάχους **40mm**. Επάνω στο στρώμα της πολουρεθάνης στην εσωτερική πλευρά του χώρου εφάπτεται συνθετικό υλικό ($\lambda=0,5 \text{ W/mK}$) πάχους **6 mm**. Η εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον το οποίο έχει θερμοκρασία **-10°C**, ενώ η μέση θερμοκρασία του χώρου ενδιαίτησεως είναι **24°C**. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην εξωτερική επιφάνεια του ελάσματος είναι **28 W/m²K** ενώ στην εσωτερική επιφάνειά του είναι **15 W/m²K**. Ζητούνται:
 - (i) Η απώλεια θερμότητας σε **W**.
 - (ii) Η θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του τοιχώματος
 - (iii) Η απώλεια θερμότητας εάν 3πλασιασθεί το πάχος τη μόνωσης. (Βαθμ. 2)

4. Σε ένα ψυγείο νερού ή λιπαντικού κύριας μηχανής πλοίου, με θαλασσινό νερό, αναφέρατε αναλυτικά και αιτιολογήσατε, με τι τρόπους γίνεται η μεταφορά θερμότητας από το ψυχόμενο μέσο στο ψύχον. Τι είδους υλικά θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του εν λόγω ψυγείου; (Βαθμ. 1)

Διάρκεια εξέτασης 3 εκπαιδευτικές ώρες (02.15΄)

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

ΛΥΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ

Άσκηση 1

Από το διάγραμμα **Mollier** βρίσκουμε :

$$h_2 = 3540 \text{ kJ/kg}, \quad h_3 = 3040 \text{ kJ/kg}, \quad h_4 = 3435 \text{ kJ/kg}, \quad h_5 = 3160 \text{ kJ/kg}, \quad h_6 = 2350 \text{ kJ/kg}$$

Υπολογιστικά βρίσκουμε τα $h_{3'}$, $h_{5'}$, $h_{6'}$ ως εξής:

$$\eta_t = (h_2 - h_{3'}) / (h_2 - h_3) \rightarrow h_{3'} = 3090 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{5'}) / (h_4 - h_5) \rightarrow h_{5'} = 3187 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{6'}) / (h_4 - h_6) \rightarrow h_{6'} = 2458 \text{ kJ/kg}$$

Από Πιν. Γ2 παραρτήματος βρίσκουμε:

$$h_7 = 151,5 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_7 = 0,0010064 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_9 = 640,1 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_9 = 0,0010928 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_{11} = 798,4 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_{11} = 0,0011386 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Υπολογιστικά βρίσκουμε:

$$h_8 = h_7 + v_7 \cdot (p_8 - p_7) \rightarrow h_8 = 152,0 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{10} = h_9 + v_9 \cdot (p_{10} - p_9) \rightarrow h_{10} = 640,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_{11} + v_{11} \cdot (p_1 - p_{11}) \rightarrow h_1 = 803,9 \text{ kJ/kg}$$

Απομαστεύσεις:

$$m_1 = (h_{11} - h_{10}) / (h_3 - h_{10}) \rightarrow m_1 = 0,064 \text{ \& } 1 - m_1 = 0,936$$

$$m_2 = (1 - m_1) \cdot (h_9 - h_8) / (h_5 - h_8) \rightarrow m_2 = 0,151 \text{ \& } 1 - m_1 - m_2 = 0,785$$

Έργο Στροβίλου:

$$W_t = (h_2 - h_{3'}) + (1 - m_1) \cdot (h_4 - h_{5'}) + (1 - m_1 - m_2) \cdot (h_5 - h_{6'}) \rightarrow W_t = 1254,4 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Αντλιών:

$$W_{p1} = (h_8 - h_7) \cdot (1 - m_1 - m_2) / \eta_p \rightarrow W_{p1} = 0,446 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p2} = (h_{10} - h_9) \cdot (1 - m_1) / \eta_p \rightarrow W_{p2} = 0,851 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p3} = (h_1 - h_{11}) / \eta_p \rightarrow W_{p3} = 6,25 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} + W_{p3} \rightarrow W_p = 7,547 \text{ kJ/kg}$$

Καθαρό Έργο:

$$W = W_t - W_p \rightarrow W = 1246,85 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Λέβητα:

$$Q = (h_2 - h_1) + (1 - m_1) \cdot (h_4 - h_3) \rightarrow Q = 3059,0 \text{ kJ/kg}$$

Βαθμός Απόδοσης Εγκατάστασης:

$$\eta = W/Q = 1246,85/3059,0 = 0,4076 \rightarrow \eta = 40,8 \%$$

Ατμοπαραγωγή:

$$\dot{m} = \dot{Q} / W = 17.000 / 1246,85 = 13,63 \text{ kg/s} \rightarrow \dot{m} = 13,63 \text{ kg/s}$$

Παροχές Απομαστεύσεων:

$$\dot{m}_1 = \dot{m} \cdot m_1 = 13,63 \cdot 0,064 = 0,8723 \text{ kg/s} \rightarrow \dot{m}_1 = 0,872 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m} \cdot m_2 = 13,63 \cdot 0,151 = 2,0581 \text{ kg/s} \rightarrow \dot{m}_2 = 2,058 \text{ kg/s}$$

Παροχή Αναθέρμανσης:

$$\dot{m} - \dot{m}_1 = 13,63 - 0,872 = 12,76 \text{ kg/s}$$

Ισχύς Στροβίλου:

$$\dot{Q}_t = W_t \cdot \dot{m} = 1254,4 \cdot 13,63 = 17.097,5 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_t = 17.098 \text{ kW}$$

Ισχείς Αντλιών:

$$\dot{Q}_{p1} = \dot{m} \cdot W_{p1} = 13,63 \cdot 0,446 = 6,08 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_{p1} = 6,1 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p2} = \dot{m} \cdot W_{p2} = 13,63 \cdot 0,851 = 11,60 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_{p2} = 11,6 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p3} = \dot{m} \cdot W_{p3} = 13,63 \cdot 6,250 = 85,19 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_{p3} = 85,2 \text{ kW}$$

$$\text{Συνολική Ισχύς Αντλιών: } \dot{Q}_p = \dot{Q}_{p1} + \dot{Q}_{p2} + \dot{Q}_{p3} \rightarrow \dot{Q}_p = 102,9 \text{ kW}$$

$$\text{Ισχύς Λέβητα: } \dot{Q}_{\dot{m}} = \dot{m} \cdot Q = 13,63 \cdot 3059,0 = 41.694,2 \text{ kW} \rightarrow \dot{Q}_{\dot{m}} = 41.694 \text{ kW}$$

Κατανάλωση Καυσίμου:

$$\dot{m}_f = \dot{Q}_{\dot{m}} / q_f = 41.694 / 40.500 = 1,02948 \text{ kg/s} = 3.706,13 \text{ kg/hr} = 88.947,12 \text{ kg/24h} \rightarrow \dot{m}_f = 89,0 \text{ tn/24h}$$

Κόστος Καυσίμου: $89,0 \text{ tn}/24\text{h} * 350 \text{ \$/tn} = \$ 31.150 \rightarrow$

\$ 31.150 ημερησίως

Άσκηση 2

Δίνονται :

$$\dot{Q} = 150 \text{ MW} = 150.000 \text{ kW} = 150.000 \text{ (kJ/s)}$$

$$p_1 = p_4 = 100 \text{ kN/m}^2, p_2 = p_3 = 2700 \text{ kN/m}^2$$

$$T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{298 \text{ K}}, T_3 = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{1473 \text{ K}}$$

$$\eta_t = 90\% \text{ και } \eta_c = 88\%$$

Ο λόγος πιέσεων βρίσκεται από τη σχέση $r_p = p_2 / p_1 = 27$

$$r_p = 27$$

Υπολογίζουμε τη θερμοκρασία T_2 από τη σχέση $T_2 = T_1 \cdot r_p^{(k-1)/k} \rightarrow$

$$T_2 = \mathbf{775,0 \text{ K}}$$

Υπολογίζουμε τη θερμοκρασία T_4 από τη σχέση $T_4 = T_3 \cdot (1/r_p)^{(k-1)/k} \rightarrow$

$$T_4 = \mathbf{566,4 \text{ K}}$$

Από τη σχέση $\eta_c = (T_2 - T_1) / (T_2' - T_1) \rightarrow$

$$T_2' = \mathbf{840,0 \text{ K}}$$

Από τη σχέση $\eta_t = (T_3 - T_4) / (T_3 - T_4') \rightarrow$

$$T_4' = \mathbf{657,0 \text{ K}}$$

Το έργο που απορροφά ο συμπιεστής είναι $w_c = c_p \cdot (T_2' - T_1)$

$$w_c = \mathbf{544,5 \text{ kJ/kg}}$$

Το έργο που παράγει ο στρόβιλος είναι $w_t = c_p \cdot (T_3 - T_4')$

$$w_t = \mathbf{819,8 \text{ kJ/kg}}$$

Το ωφέλιμο έργο είναι $w = w_t - w_c$

$$w = \mathbf{275,3 \text{ kJ/kg}}$$

Η προσδιδόμενη θερμότητα είναι $q = c_p \cdot (T_3 - T_2')$

$$q = \mathbf{636,0 \text{ kJ/kg}}$$

Η παροχή αέρα είναι $\dot{Q} = \dot{Q} / w$

$$\dot{Q} = \mathbf{544,9 \text{ kg/s}}$$

Ο βαθμός απόδοσης της μονάδας είναι $\eta_\theta = w / q$

$$\eta_\theta = \mathbf{43,3 \%}$$

Η ισχύς του στροβίλου είναι $\dot{Q}_t = \dot{Q} \cdot w_t$

$$\dot{Q}_t = \mathbf{446,7 \text{ MW}}$$

Η ισχύς του συμπιεστή είναι $\dot{Q}_c = \dot{Q} \cdot w_c$

$$\dot{Q}_c = \mathbf{296,7 \text{ MW}}$$

Η προσφερόμενη θερμική ισχύς είναι $Q_{\dot{Q}} = \dot{Q} \cdot q = 346.556,4 \text{ kW}$

$$Q_{\dot{Q}} =$$

346,6 MW

Τέλος η κατανάλωση του καυσίμου είναι $\dot{Q}_f = Q_{\dot{Q}} / q_f = 346.556,4 / 48.600 = 7,13 \text{ kg/s} = 25.668 \text{ kg/h}$

$$\dot{Q}_f = 25.668 \text{ kg/h} \text{ ή } \dot{Q}_f = 616.032 \text{ kg}/24\text{h} \text{ ή}$$

$$\dot{Q}_f = \mathbf{616 \text{ tn}/24\text{h}}$$

Οπότε κόστος :

$$\mathbf{277.200 \text{ \$/24h}}$$

Άσκηση 3

Δίνονται :

$$A = 4\text{m} \times 2,3\text{m} = 9,2 \text{ m}^2$$

$$\lambda_1 = 59 \text{ W/mK}, \quad L_1 = 0,008 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0,04 \text{ W/mK}, \quad L_2 = 0,040 \text{ m}$$

$$\lambda_3 = 0,5 \text{ W/mK}, \quad L_3 = 0,006 \text{ m}$$

$$t_c = -10 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_h = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

1. $Q_{\square} = K_o * A * (t_h - t_c)$ όπου $1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i)$

$$1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i) = 1/15 + 1/28 + (0,008/59 + 0,040/0,04 + 0,006/0,5)$$

$$1/K_o = 0,067 + 0,036 + 0,00014 + 1,000 + 0,012 = 1,11514$$

$$K_o = 0,897 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\square} = 0,897 * 9,2 * 34 = 280,58 \text{ W}$$

$$Q_{\square} = 280,6 \text{ W}$$

2. $Q_{\square} = \alpha_h * A * (t_h - t_{wh}) = 15 * 9,2 * (24 - t_{wh})$

$$280,6 = 138 * (24 - t_{wh}) \rightarrow 24 - t_{wh} = 2,03$$

$$t_{wh} = 21,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. $Q_{\square} = K_o * A * (t_h - t_c)$ όπου $1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i)$

$$1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i) = 1/15 + 1/28 + (0,008/59 + 0,012/0,04 + 0,006/0,5)$$

$$1/K_o = 0,067 + 0,036 + 0,00014 + 3,000 + 0,012 = 3,115$$

$$K_o = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\square} = 0,32 * 9,2 * 34 = 100,096 \text{ W}$$

$$Q_{\square} = 100,1 \text{ W}$$

