

Θ Ε Μ Α Τ Α
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2013

1. Η εγκατάσταση ατμοστροβίλου πλοίου, ισχύος **25.000 kW**, τροφοδοτείται με ατμό υπέρθερμο πίεσεως **60 bar** και θερμοκρασίας **600 °C**.
Υπάρχουν δυο απομαστεύσεις για προθέρμανση συμπυκνώματος σε πιέσεις **20 bar** και **6 bar**.
Μετά την πρώτη απομάστευση, ο ατμός αναθερμαίνεται στους **500 °C**.
Η πίεση στο συμπυκνωτή είναι **0.04 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 ισχύεις στροβίλου, αντλιών και λέβητα
 - δ. Η κατανάλωση καυσίμου σε **tn/24h** ($q_f = 40.000 \text{ kJ/kg}$) και το ημερήσιο κόστος, άν η τιμή του καυσίμου είναι **680 \$/tn**. (Βαθμ. 4)
2. Αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος **300 MW**.
Στην είσοδο του συμπιεστή ο αέρας έχει πίεση **100 kN/m²** και θερμοκρασία **25 °C**.
Η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κύκλου είναι **1400 °C** και **2000 kN/m²** αντίστοιχα.
Ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί καύσιμο Φυσικό Αέριο με θερμοαντική 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 **500 \$/tn**. (Βαθμ. 3)
3. Το εξωτερικό τοίχωμα ενός χώρου ενδιαιτήσεως σε ένα πλοίο έχει μήκος **8 m**, ύψος **3 m** και αποτελείται από χαλύβδινο έλασμα ($\lambda = 59 \text{ W/mK}$) πάχους **15 mm**, στο οποίο εσωτερικά εφάπτεται μονωτικό στρώμα πολουρεθάνης ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$) πάχους **50mm**.
Η εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος έχει θερμοκρασία **-2°C**, ενώ η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας είναι **23°C**. Ζητείται η απώλεια θερμότητας σε **W**. (Βαθμ. 2)
4. Με πόσους και ποιούς τρόπους μεταδίδεται η θερμότητα; Εξηγήσετε κάθε έναν από αυτούς. (Βαθμ. 1)

Διάρκεια εξέτασης 3 εκπαιδευτικές ώρες (02.15΄) - ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

ΛΥΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ

Άσκηση 1

Από το διάγραμμα **Mollier** βρίσκουμε :

$$h_2 = 3655 \text{ kJ/kg}, \quad h_3 = 3275 \text{ kJ/kg}, \quad h_4 = 3465 \text{ kJ/kg}, \quad h_5 = 3095 \text{ kJ/kg}, \quad h_6 = 2240 \text{ kJ/kg}$$

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

$$\eta_t = (h_2 - h_{3'}) / (h_2 - h_3) \rightarrow h_{3'} = 3313 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{5'}) / (h_4 - h_5) \rightarrow h_{5'} = 3132 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{6'}) / (h_4 - h_6) \rightarrow h_{6'} = 2362 \text{ kJ/kg}$$

Από Πιν. Γ2 παραρτήματος βρίσκουμε:

$$h_7 = 121,4 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_7 = 0,0010040 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_9 = 670,4 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_9 = 0,0011009 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_{11} = 908,6 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_{11} = 0,0011766 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Υπολογιστικά βρίσκουμε:

$$h_8 = h_7 + v_7 * (p_8 - p_7) \rightarrow h_8 = 122,0 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{10} = h_9 + v_9 * (p_{10} - p_9) \rightarrow h_{10} = 672,0 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_{11} + v_{11} * (p_1 - p_{11}) \rightarrow h_1 = 913,3 \text{ kJ/kg}$$

Απομαστεύσεις:

$$m_1 = (h_{11} - h_{10}) / (h_3 - h_{10}) \rightarrow m_1 = 0,09 \text{ \& } 1 - m_1 = 0,91$$

$$m_2 = (1 - m_1) * (h_9 - h_8) / (h_{5'} - h_8) \rightarrow m_2 = 0,166 \text{ \& } 1 - m_1 - m_2 = 0,744$$

Έργο Στροβίλου:

$$W_t = (h_2 - h_{3'}) + (1 - m_1) * (h_4 - h_{5'}) + (1 - m_1 - m_2) * (h_5 - h_{6'}) \rightarrow W_t = 1218 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Αντλιών:

$$W_{p1} = (h_8 - h_7) * (1 - m_1 - m_2) / \eta_p \rightarrow W_{p1} = 0,51 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p2} = (h_{10} - h_9) * (1 - m_1) / \eta_p \rightarrow W_{p2} = 1,65 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p3} = (h_1 - h_{11}) / \eta_p \rightarrow W_{p3} = 5,34 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} + W_{p3} \rightarrow W_p = 7,50 \text{ kJ/kg}$$

Καθαρό Έργο:

$$W = W_t - W_p \quad \rightarrow \quad W = 1210,5 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Λέβητα:

$$Q = (h_2 - h_1) + (1 - m_1) * (h_4 - h_3) \quad \rightarrow \quad Q = 2880 \text{ kJ/kg}$$

Βαθμός Απόδοσης Εγκατάστασης:

$$\eta = W/Q = 1210,5/2880 = 0,4203 \quad \rightarrow \quad \eta = 42 \%$$

Ατμοπαραγωγή:

$$\dot{m} = \dot{Q} / W = 25.000 / 1210,5 = 20,65 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m} = 20,65 \text{ kg/s}$$

Παροχές Απομαστεύσεων:

$$\dot{m}_1 = \dot{m} * m_1 = 20,65 * 0,090 = 1,8585 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_1 = 1,86 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m} * m_2 = 20,65 * 0,166 = 3,4279 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_2 = 3,43 \text{ kg/s}$$

Παροχή Αναθέρμανσης:

$$\dot{m} - \dot{m}_1 = 20,65 - 1,86 = 18,79 \text{ kg/s}$$

Ισχύς Στροβίλου:

$$\dot{Q}_t = W_t * \dot{m} = 1218 * 20,65 = 25.151,7 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_t = 25.152 \text{ kW}$$

Ισχύεις Αντλιών:

$$\dot{Q}_{p1} = \dot{m} * W_{p1} = 20,65 * 0,51 = 10,53 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p1} = 11 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p2} = \dot{m} * W_{p2} = 20,65 * 1,65 = 34,07 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p2} = 34 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p3} = \dot{m} * W_{p3} = 20,65 * 5,34 = 110,27 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p3} = 110 \text{ kW}$$

$$\text{Συνολική Ισχύς Αντλιών: } \dot{Q}_p = \dot{Q}_{p1} + \dot{Q}_{p2} + \dot{Q}_{p3} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_p = 155 \text{ kW}$$

$$\text{Ισχύς Λέβητα: } \dot{Q}_\square = \dot{m} * Q = 20,65 * 2880 = 59.472 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_\square = 59.472 \text{ kW}$$

Κατανάλωση Καυσίμου:

$$\dot{m}_f = \dot{Q}_\square / q_f = 59.472 / 40.000 = 1,4868 \text{ kg/s} = 5.352,48 \text{ kg/hr} = 128.460 \text{ kg/24h} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_f = 128,5 \text{ tn/24h}$$

$$\text{Κόστος Καυσίμου: } 128,5 \text{ tn/24h} * 680 \text{ \$/tn} = \$ 87.380 \quad \rightarrow \quad \$ 87.380$$

Άσκηση 2

Δίνονται :

$$\dot{Q} = 300 \text{ MW} = 300.000 \text{ kW} = 300.000 \text{ (kJ/s)}$$

$$p_1 = p_4 = 100 \text{ kN/m}^2, p_2 = p_3 = 2000 \text{ kN/m}^2$$

$$T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{298 \text{ K}}, T_3 = 1400 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{1673 \text{ K}}$$

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

Ο λόγος πιέσεων βρίσκεται από τη σχέση $r_p = p_2 / p_1 = 20$

$$r_p = \mathbf{20}$$

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

$$T_2 = \mathbf{710,4 \text{ K}}$$

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

$$T_4 = \mathbf{701,8 \text{ K}}$$

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

$$T_2' = \mathbf{766,6 \text{ K}}$$

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

$$T_4' = \mathbf{798,9 \text{ K}}$$

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

$$w_c = \mathbf{470,8 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$w_t = \mathbf{878,2 \text{ kJ/kg}}$$

Το ωφέλιμο έργο είναι $w = w_t - w_c$

$$w = \mathbf{407,4 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$q = \mathbf{910,7 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$\dot{Q} = \mathbf{736,4 \text{ kg/s}}$$

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

$$\eta_\theta = \mathbf{44,7 \%}$$

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

$$\dot{Q}_t = \mathbf{646,7 \text{ MW}}$$

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

$$\dot{Q}_c = \mathbf{346,7 \text{ MW}}$$

Η προσφερόμενη θερμική ισχύς είναι $Q\dot{Q} = \dot{Q} \cdot q = 670.639,5 \text{ kW}$

$$Q\dot{Q} = \mathbf{670,6}$$

MW

Τέλος η κατανάλωση του καυσίμου είναι $\dot{Q}_f = Q\dot{Q}/q_f = 670.639,5/48.600 = 13,8 \text{ kg/s} = 49.680 \text{ kg/h}$

$$\dot{Q}_f = 49.680 \text{ kg/h} \text{ ή } \dot{Q}_f = 1.192.320 \text{ kg/24h} \text{ ή}$$

$$\dot{Q}_f = \mathbf{1192,32 \text{ tn/24h}}$$

Οπότε κόστος :

$$\mathbf{596.160 \text{ \$/24h}}$$

Άσκηση 3

Δίνονται :

$$A = 8\text{m} \times 3\text{m} = 24 \text{ m}^2$$

$$\lambda_1 = 59 \text{ W/mK}, \quad L_1 = 0,015 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0,04 \text{ W/mK}, \quad L_2 = 0,050 \text{ m}$$

$$t_{wc} = -2 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_{wh} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ισχύει:

$$Q_{\square} = A * (t_{wh} - t_{wc}) / (L_1/\lambda_1 + L_2/\lambda_2)$$

$$Q_{\square} = 24 * (23 - (-2)) / (0,015/59 + 0,050/0,04)$$

$$Q_{\square} = 24 * 25 / (0,000254 + 1,25)$$

$$Q_{\square} = 600 / 1,250254$$

$$Q_{\square} = 479,9025 \text{ W}$$

$$Q_{\square} = 479,9025 \text{ W}$$

$$\mathbf{Q_{\square} = 480 \text{ W}}$$