

**Θ Ε Μ Α Τ Α****ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2014**

1. Η εγκατάσταση ατμοστρόβιλου πλοίου, ισχύος **15.000 kW**, τροφοδοτείται με ατμό υπέρθερμο πίεσεως **50 bar** και θερμοκρασίας **550 °C**.  
Υπάρχουν δυο απομαστεύσεις για προθέρμανση συμπυκνώματος σε πιέσεις **15 bar** και **5 bar**. Μετά την πρώτη απομάστευση, ο ατμός αναθερμαίνεται στους **500 °C**.  
Η πίεση στο συμπυκνωτή είναι **0.04 bar**.  
Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου 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 στρόβιλου, αντλιών και λέβητα
  - δ. Η κατανάλωση καυσίμου σε **tn/24h** ( $q_f = 40.500 \text{ kJ/kg}$ ) και το ημερήσιο κόστος, άν η τιμή του καυσίμου είναι **600 \$/tn**. (Βαθμ. 4)
  
2. Αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος **150 MW**. Στην είσοδο του συμπιεστή ο αέρας έχει πίεση **100 kN/m<sup>2</sup>** και θερμοκρασία **25 °C**. Η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κύκλου είναι **1200 °C** και **2500 kN/m<sup>2</sup>** αντίστοιχα. Ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί καύσιμο Φυσικό Αέριο με θερμοαντική ικανότητα **48.600 kJ/kg**.  
Ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι **88%** και του στρόβιλου **90%**.  
Ζητείται να προσδιορισθούν:
  - α) Ο βαθμός αποδόσεως του αεριοστρόβιλου
  - β) Η παροχή του αέρα σε **kg/s**.
  - γ) Η ισχύς του συμπιεστή, του στρόβιλου και η θερμική ισχύς
  - ε) Η κατανάλωση καυσίμου σε **tn/24h** και το κόστος, εάν η τιμή του καυσίμου είναι **550 \$/tn**. (Βαθμ. 3)
  
3. Το εξωτερικό τοίχωμα ενός χώρου ενδιαιτήσεως σε ένα πλοίο έχει μήκος **6 m**, ύψος **2,50 m** και αποτελείται από χαλύβδινο έλασμα ( $\lambda=59 \text{ W/mK}$ ) πάχους **10 mm**, στο οποίο εσωτερικά εφάπτεται μονωτικό στρώμα αφρού πολουρεθάνης ( $\lambda=0,04 \text{ W/mK}$ ) πάχους **50mm**. Επάνω στο στρώμα της πολουρεθάνης στην εσωτερική πλευρά του χώρου εφάπτεται συνθετικό υλικό ( $\lambda=0,5 \text{ W/mK}$ ) πάχους **5 mm**.  
Η εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον το οποίο έχει θερμοκρασία **-10°C**, ενώ η μέση θερμοκρασία του χώρου ενδιαιτήσεως είναι **23°C**.  
Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην εξωτερική επιφάνεια του ελάσματος είναι **30 W/m<sup>2</sup>K** ενώ στην εσωτερική επιφάνειά του είναι **20 W/m<sup>2</sup>K**.  
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. Με πόσους και ποιούς τρόπους μεταδίδεται η θερμότητα; Εξηγήσετε κάθε έναν από αυτούς. (Βαθμ. 1)

## ΛΥΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ

### Άσκηση 1

Από το διάγραμμα **Mollier** βρίσκουμε :

$$h_2 = 3550 \text{ kJ/kg}, \quad h_3 = 3160 \text{ kJ/kg}, \quad h_4 = 3475 \text{ kJ/kg}, \quad h_5 = 3135 \text{ kJ/kg}, \quad h_6 = 2285 \text{ kJ/kg}$$

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

$$\eta_t = (h_2 - h_{3'}) / (h_2 - h_3) \rightarrow h_{3'} = 3199 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{5'}) / (h_4 - h_5) \rightarrow h_{5'} = 3169 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{6'}) / (h_4 - h_6) \rightarrow h_{6'} = 2404 \text{ kJ/kg}$$

Από Πιν. Γ2 παραρτήματος βρίσκουμε:

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

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

$$h_{11} = 844,6 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_{11} = 0,0011538 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Υπολογιστικά βρίσκουμε:

$$h_8 = h_7 + v_7 * (p_8 - p_7) \rightarrow h_8 = 121,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{10} = h_9 + v_9 * (p_{10} - p_9) \rightarrow h_{10} = 641,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_{11} + v_{11} * (p_1 - p_{11}) \rightarrow h_1 = 848,6 \text{ kJ/kg}$$

Απομαστεύσεις:

$$m_1 = (h_{11} - h_{10}) / (h_{3'} - h_{10}) \rightarrow m_1 = 0,08 \text{ \& } 1 - m_1 = 0,92$$

$$m_2 = (1 - m_1) * (h_9 - h_8) / (h_{5'} - h_8) \rightarrow m_2 = 0,156 \text{ \& } 1 - m_1 - m_2 = 0,764$$

Έργο Στροβίλου:

$$W_t = (h_2 - h_{3'}) + (1 - m_1) * (h_4 - h_{5'}) + (1 - m_1 - m_2) * (h_5 - h_{6'}) \rightarrow W_t = 1217 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Αντλιών:

$$W_{p1} = (h_8 - h_7) * (1 - m_1 - m_2) / \eta_p \rightarrow W_{p1} = 0,434 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p2} = (h_{10} - h_9) * (1 - m_1) / \eta_p \rightarrow W_{p2} = 1,15 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p3} = (h_1 - h_{11}) / \eta_p \quad \rightarrow \quad W_{p3} = 4,55 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} + W_{p3} \quad \rightarrow \quad W_p = 6,13 \text{ kJ/kg}$$

Καθαρό Έργο:

$$W = W_t - W_p \quad \rightarrow \quad W = 1211 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Λέβητα:

$$Q = (h_2 - h_1) + (1 - m_1) * (h_4 - h_3) \quad \rightarrow \quad Q = 2954,1 \text{ kJ/kg}$$

Βαθμός Απόδοσης Εγκατάστασης:

$$\eta = W/Q = 1211/2954,1 = 0,4099 \quad \rightarrow \quad \eta = 41 \%$$

Ατμοπαραγωγή:

$$\dot{m} = \dot{Q} / W = 15.000 / 1211 = 12,40 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m} = 12,40 \text{ kg/s}$$

Παροχές Απομαστεύσεων:

$$\dot{m}_1 = \dot{m} * m_1 = 12,40 * 0,080 = 0,9920 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_1 = 0,992 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m} * m_2 = 12,40 * 0,156 = 1,9340 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_2 = 1,934 \text{ kg/s}$$

Παροχή Αναθέρμανσης:

$$\dot{m} - \dot{m}_1 = 12,40 - 0,992 = 11,40 \text{ kg/s}$$

Ισχύς Στροβίλου:

$$\dot{Q}_t = W_t * \dot{m} = 1217 * 12,40 = 15.090,8 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_t = 15.091 \text{ kW}$$

Ισχύεις Αντλιών:

$$\dot{Q}_{p1} = \dot{m} * W_{p1} = 12,40 * 0,434 = 5,38 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p1} = 5,4 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p2} = \dot{m} * W_{p2} = 12,40 * 1,150 = 14,26 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p2} = 14,3 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p3} = \dot{m} * W_{p3} = 12,40 * 4,550 = 56,42 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p3} = 56,4 \text{ kW}$$

$$\text{Συνολική Ισχύς Αντλιών: } \dot{Q}_p = \dot{Q}_{p1} + \dot{Q}_{p2} + \dot{Q}_{p3} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_p = 76 \text{ kW}$$

$$\text{Ισχύς Λέβητα: } Q\dot{m} = \dot{m} * Q = 12,40 * 2954,1 = 36.630,0 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad Q\dot{m} = 36.631 \text{ kW}$$

Κατανάλωση Καυσίμου:

$$\dot{m}_f = Q\dot{m} / q_f = 36.631 / 40.500 = 0,9045 \text{ kg/s} = 3.256,2 \text{ kg/hr} = 78.148,8 \text{ kg/24h} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_f = 78,2 \text{ tn/24h}$$

$$\text{Κόστος Καυσίμου: } 78,2 \text{ tn/24h} * 600 \text{ \$/tn} = \$ 46.920 \quad \rightarrow \quad \$ 46.920$$

## Άσκηση 2

Δίνονται :

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

$$p_1 = p_4 = 100 \text{ kN/m}^2, p_2 = p_3 = 2500 \text{ kN/m}^2$$

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

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

Ο λόγος πιέσεων βρίσκεται από τη σχέση  $r_p = p_2 / p_1 = 25$

$$r_p = 25$$

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

$$T_2 = \mathbf{757,9 \text{ K}}$$

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

$$T_4 = \mathbf{579,2 \text{ K}}$$

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

$$T_2' = \mathbf{820,6 \text{ K}}$$

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

$$T_4' = \mathbf{668,6 \text{ K}}$$

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

$$w_c = \mathbf{525,0 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$w_t = \mathbf{808,2 \text{ kJ/kg}}$$

Το ωφέλιμο έργο είναι  $w = w_t - w_c$

$$w = \mathbf{283,2 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$q = \mathbf{655,5 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$\dot{Q} = \mathbf{529,7 \text{ kg/s}}$$

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

$$\eta_\theta = \mathbf{43,2 \%}$$

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

$$\dot{Q}_t = \mathbf{428,1 \text{ MW}}$$

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

$$\dot{Q}_c = \mathbf{278,1 \text{ MW}}$$

Η προσφερόμενη θερμική ισχύς είναι  $Q_{\dot{Q}} = \dot{Q} \cdot q = 347.218,4 \text{ kW}$

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

**347,2 MW**

Τέλος η κατανάλωση του καυσίμου είναι  $\dot{Q}_f = Q_{\dot{Q}} / q_f = 347.218,4 / 48.600 = 7,14 \text{ kg/s} = 25.704 \text{ kg/h}$

$$\dot{Q}_f = 25.704 \text{ kg/h} \text{ ή } \dot{Q}_f = 616.896 \text{ kg/24h} \text{ ή}$$

$$\dot{Q}_f = \mathbf{617 \text{ tn/24h}}$$

Οπότε κόστος :

$$\mathbf{339.350 \text{ \$/24h}}$$

## Άσκηση 3

Δίνονται :

$$A = 6\text{m} \times 2,5\text{m} = 15,0 \text{ m}^2$$

$$\lambda_1 = 59 \text{ W/mK}, \quad L_1 = 0,010 \text{ m}$$

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

$$\lambda_3 = 0,5 \text{ W/mK}, \quad L_3 = 0,005 \text{ m}$$

$$t_c = -10 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_h = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i) = 1/20 + 1/30 + (0,010/59 + 0,050/0,04 + 0,005/0,5)$$

$$1/K_o = 0,05 + 0,0333 + 0,00017 + 1,25 + 0,01 = 1,3435$$

$$K_o = 0,744 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\square} = 15,0 * 33 * 0,744 = 368,28 \text{ W}$$

$$Q_{\square} = 368,3 \text{ W}$$

2.  $Q_{\square} = \alpha_h * A * (t_h - t_{wh}) = 20 * 15,0 * (23 - t_{wh})$

$$368,28 = 300 * (23 - t_{wh}) \rightarrow 23 - t_{wh} = 1,23$$

$$t_{wh} = 21,77 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i) = 1/20 + 1/30 + (0,010/59 + 0,150/0,04 + 0,005/0,5)$$

$$1/K_o = 0,05 + 0,0333 + 0,00017 + 3,75 + 0,01 = 3,8435$$

$$K_o = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\square} = 15,0 * 33 * 0,26 = 128,7 \text{ W}$$

$$Q_{\square} = 128,7 \text{ W}$$