

Θ Ε Μ Α Τ Α
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΙΟΥΝΙΟΥ 2014

1. Η εγκατάσταση αμμοστρόβιλου πλοίου, ισχύος **25.000 kW**, τροφοδοτείται με υπέρθερμο ατμό πίεσεως **50 bar** και θερμοκρασίας **600 °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 αμμοπαραγωγή, οι παροχές των δύο απομαστεύσεων και η παροχή αναθέρμανσης
 - γ. Οι ισχείς στρόβιλου και αντλιών
 - δ. Η κατανάλωση καυσίμου (\square_f) σε **tn/24h** και το κόστος ανά 24ωρο, αν $q_f = 41.000 \text{ kJ/kg}$ και τιμή καυσίμου **600 \$/tn**. (Βαθμ. 4)

2. Δύο αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για την πρόωση κρουαζιεροπλοίου και έχουν ισχύ **25 MW** ο καθένας. Στην είσοδο του συμπιεστή ο αέρας έχει πίεση **100 kN/m²** και θερμοκρασία **50 °C**. Η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κύκλου είναι **1300 °C** και **3500 kN/m²** αντίστοιχα. Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν καύσιμο Gasoil, με θερμαντική ικανότητα **43.000 kJ/kg**.
Ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι **88%** και του στρόβιλου **92%**.
Ζητείται να προσδιορισθούν:
 - α) Ο βαθμός αποδόσεως εκάστου αεριοστρόβιλου
 - β) Η συνολική παροχή του αέρα σε **kg/s**.
 - γ) Η ισχύς του συμπιεστή, του στρόβιλου και η θερμική ισχύς κάθε στρόβιλου
 - δ) Η συνολική κατανάλωση (\square_f) καυσίμου σε **tn/24h** και το ημερήσιο κόστος, αν η τιμή του καυσίμου είναι **930 \$/tn**. (Βαθμ. 3)

3. Μέσα σε ένα χαλύβδινο σωλήνα ($\lambda = 40 \text{ W/mK}$) εσωτερικής διαμέτρου **16 cm** και μήκους **20m**, περνά υπέρθερμος ατμός θερμοκρασίας **600°C**. Το πάχος του σωλήνα είναι **4mm** και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό του είναι $\alpha_h = 400 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Ο σωλήνας καλύπτεται από υαλοβάμβακα ($\lambda = 0,046 \text{ W/mK}$) πάχους **6 cm** και στη συνέχεια από προστατευτικό πλαστικό μονωτικό ($\lambda = 0,14 \text{ W/mK}$) πάχους **6 mm**, στην εξωτερική επιφάνεια του οποίου ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι $\alpha_c = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Ζητείται:
 - α) Το ποσό θερμότητας ανά μονάδα χρόνου, που μεταφέρεται από τον ατμό στον εξωτερικό χώρο που περιβάλλει το σωλήνα και έχει θερμοκρασία **40 °C**.
 - β) Η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια (t_{wc}) του πλαστικού μονωτικού. (Βαθμ. 3)

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

ΛΥΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ

Άσκηση 1

Άσκηση 1

Από το διάγραμμα **Mollier** βρίσκουμε :

$$h_2 = 3665 \text{ kJ/kg}, \quad h_3 = 3250 \text{ kJ/kg}, \quad h_4 = 3475 \text{ kJ/kg}, \quad h_5 = 3130 \text{ kJ/kg}, \quad h_6 = 2280 \text{ kJ/kg}$$

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

$$\eta_t = (h_2 - h_{3'}) / (h_2 - h_3) = (3665 - h_{3'}) / (3665 - 3250) = 0,90 \rightarrow 3665 - h_{3'} = 415 * 0,90 \rightarrow h_{3'} = 3291 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{5'}) / (h_4 - h_5) = (3475 - h_{5'}) / (3475 - 3130) = 0,90 \rightarrow 3475 - h_{5'} = 345 * 0,90 \rightarrow h_{5'} = 3164 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{6'}) / (h_4 - h_6) = (3475 - h_{6'}) / (3475 - 2280) = 0,90 \rightarrow 3475 - h_{6'} = 1195 * 0,90 \rightarrow h_{6'} = 2400 \text{ kJ/kg}$$

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:

$$h_8 = h_7 + v_7 * (p_8 - p_7) \rightarrow h_8 = 121,4 + 0,0010040 * (5 - 0,04) * 100 = 121,4 + 0,5 \rightarrow h_8 = 121,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{10} = h_9 + v_9 * (p_{10} - p_9) \rightarrow h_{10} = 640,1 + 0,0010928 * (15 - 5) * 100 = 640,1 + 1,1 \rightarrow h_{10} = 641,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_{11} + v_{11} * (p_1 - p_{11}) \rightarrow h_1 = 844,6 + 0,0011538 * (50 - 15) * 100 = 844,6 + 4,0 \rightarrow h_1 = 848,6 \text{ kJ/kg}$$

Απομαστεύσεις:

$$m_1 = (h_{11} - h_{10}) / (h_3 - h_{10}) = (844,6 - 641,2) / (3291 - 641,2) = 203,4 / 2649,8 \rightarrow m_1 = 0,077 \text{ \& } 1 - m_1 = 0,923$$

$$m_2 = (1 - m_1) * (h_9 - h_8) / (h_5 - h_8) = 0,923 * (640,1 - 121,9) / (3164 - 121,9) = 478,3 / 3042,1 = 0,157 \rightarrow$$
$$\rightarrow m_2 = 0,157 \text{ \& } 1 - m_1 - m_2 = 0,766$$

Έργο Στροβίλου:

$$W_t = (h_2 - h_{3'}) + (1 - m_1) * (h_4 - h_{5'}) + (1 - m_1 - m_2) * (h_5 - h_{6'}) = 3665 - 3291 + 0,923 * (3475 - 3164) +$$
$$+ 0,766 * (3164 - 2400) = 374 + 287 + 585 = 1246 \text{ kJ/kg} \rightarrow W_t = 1246 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Αντλιών:

$$W_{p1} = (h_8 - h_7) * (1 - m_1 - m_2) / \eta_p = (121,9 - 121,4) * 0,766 / 0,88 = 0,435 \text{ kJ/kg} \rightarrow W_{p1} = 0,435 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p2} = (h_{10} - h_9) * (1 - m_1) / \eta_p = (641,2 - 640,1) * 0,923 / 0,88 = 1,154 \text{ kJ/kg} \rightarrow W_{p2} = 1,154 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p3} = (h_1 - h_{11}) / \eta_p = (848,6 - 844,6) / 0,88 = 4,545 \text{ kJ/kg} \rightarrow W_{p3} = 4,545 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} + W_{p3} = 0,435 + 1,154 + 4,545 = 6,134 \text{ kJ/kg} \rightarrow W_p = 6,0 \text{ kJ/kg}$$

Καθαρό Έργο:

$$W = W_t - W_p = 1246 - 6 = 1240 \text{ kJ/kg} \quad \rightarrow \quad W = 1240 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Λέβητα:

$$Q = (h_2 - h_1) + (1 - m_1) \cdot (h_4 - h_3) = (3665 - 848,6) + 0,923 \cdot (3475 - 3291) = 2816,4 + 169,8 = 2986,2 \text{ kJ/kg}$$
$$Q = 2986 \text{ kJ/kg}$$

Βαθμός Απόδοσης Εγκατάστασης:

$$\eta = W/Q = 1240/2986 = 0,415 \quad \rightarrow \quad \eta = 41,5 \%$$

Ατμοπαραγωγή:

$$\dot{m} = \dot{Q} / W = 25.000 / 1240 = 20,16 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m} = 20,16 \text{ kg/s}$$

Παροχές Απομαστεύσεων:

$$\dot{m}_1 = \dot{m} \cdot m_1 = 20,16 \cdot 0,077 = 1,55 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_1 = 1,55 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m} \cdot m_2 = 20,16 \cdot 0,157 = 3,17 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_2 = 3,17 \text{ kg/s}$$

Παροχή Αναθέρμανσης:

$$\dot{m} - \dot{m}_1 = 20,16 - 1,55 = 18,61 \text{ kg/s}$$

Ισχύς Στροβίλου:

$$\dot{Q}_t = W_t \cdot \dot{m} = 1246 \cdot 20,16 = 25.119,36 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_t = 25.119 \text{ kW}$$

Ισχύεις Αντλιών:

$$\dot{Q}_{p1} = \dot{m} \cdot W_{p1} = 20,16 \cdot 0,435 = 8,77 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p1} = 8,77 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p2} = \dot{m} \cdot W_{p2} = 20,16 \cdot 1,154 = 23,26 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p2} = 29,42 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{p3} = \dot{m} \cdot W_{p3} = 20,16 \cdot 4,545 = 91,63 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{p3} = 91,63 \text{ kW}$$

$$\text{Συνολική Ισχύς Αντλιών: } \dot{Q}_p = \dot{Q}_{p1} + \dot{Q}_{p2} + \dot{Q}_{p3} = 129,82 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_p = 130 \text{ kW}$$

$$\text{Ισχύς Λέβητα: } Q = \dot{m} \cdot Q = 20,16 \cdot 2986 = 60.198 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad Q = 60.198 \text{ kW}$$

Κατανάλωση Καυσίμου:

$$\dot{m}_f = Q / q_f = 60.198 / 41.000 = 1,468 \text{ kg/s} = 5.285 \text{ kg/hr} = 126.840 \text{ kg/24h} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_f = 127 \text{ tn/24hr}$$

$$\text{Κόστος Καυσίμου: } 127 \text{ tn/24hr} \cdot 600 \text{ \$/tn} = \$ 76.200 \quad \rightarrow \quad \$ 76.200$$

Άσκηση 2

Δίνονται :

$$\dot{Q} = 2 \times 25 \text{ MW} = 50.000 \text{ kW} = 50.000 \text{ (kJ/s)}$$

$$p_1 = p_4 = 100 \text{ kN/m}^2, p_2 = p_3 = 3500 \text{ kN/m}^2$$

$$T_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{323 \text{ K}}, T_3 = 1300 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{1573 \text{ K}}$$

$$\eta_t = 92\% \text{ και } \eta_c = 88\%$$

Ο λόγος πιέσεων βρίσκεται από τη σχέση $r_p = p_2 / p_1 = 35$

$$r_p = 35$$

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

$$T_2 = \mathbf{906 \text{ K}}$$

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

$$T_4 = \mathbf{561 \text{ K}}$$

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

$$T_2' = \mathbf{986 \text{ K}}$$

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

$$T_4' = \mathbf{642 \text{ K}}$$

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

$$W_c = \mathbf{666,1 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$W_t = \mathbf{935,4 \text{ kJ/kg}}$$

Το ωφέλιμο έργο είναι $w = w_t - w_c$

$$W = \mathbf{269,3 \text{ kJ/kg}}$$

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

$$Q = \mathbf{589,8 \text{ kJ/kg}}$$

Η συνολική παροχή αέρα είναι $\dot{Q} = \dot{Q} / w = 50.000/269,8 = 185,32 \text{ kg/s}$

$$\dot{Q} = \mathbf{185,3 \text{ kg/s}}$$

Η παροχή αέρα κάθε στροβίλου είναι $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q} / 2$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \mathbf{92,66 \text{ kg/s}}$$

Ο βαθμός απόδοσης της κάθε μονάδας είναι $\eta_\theta = W / Q$

$$\eta_\theta = \mathbf{45,7 \%}$$

Η ισχύς του κάθε στροβίλου είναι $\dot{Q}_t = \dot{Q}_1 \cdot W_t$

$$\dot{Q}_t = \mathbf{86,7 \text{ MW}}$$

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

$$\dot{Q}_c = \mathbf{61,7 \text{ MW}}$$

Η θερμική ισχύς σε κάθε μονάδα είναι $Q\dot{Q} = \dot{Q}_1 \cdot Q = 62.281,6 \text{ kW}$

$$Q\dot{Q} = \mathbf{54,7}$$

MW

Τέλος η κατανάλωση του καυσίμου κάθε μονάδας είναι $\dot{Q}_f = Q\dot{Q}/q_f = 54.651/43.000 = 1,271 \text{ kg/s} =$

$$= 4.575,6 \text{ kg/h} = 109.814,4 \text{ kg/24h} = \mathbf{110 \text{ tn/24h}}$$

Συνολική κατανάλωση καυσίμου $2 \times 110 \text{ tn/24h}$

$$\dot{Q}_f = \mathbf{220 \text{ tn/24h}}$$

Κόστος καυσίμου ημερησίως : 220 x 930 = **204.600 \$**

Άσκηση 3

Είναι: $r_1=8,0 \text{ cm}=80 \text{ mm}$, $r_2 = 80+4 =84 \text{ mm}$, $r_3 = 84+60 =144 \text{ mm}$, $r_4 = 144+6 =150 \text{ mm}$

$\lambda_1 = 40 \text{ W/mK}$, $\lambda_2 = 0,046 \text{ W/mK}$, $\lambda_3 = 0,14 \text{ W/mK}$, $L = 20 \text{ m}$

$\alpha_h = 400 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_c = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$, $t_h = 600 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_c = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

Από υπολογισμό: $A_i = 2\pi r_1 L = 2 * 3,14 * 0,080\text{m} * 20\text{m} \rightarrow A_i = 10,048 \text{ m}^2$

Ισχύει: $Q = K_o * A_i * (t_h - t_c)$, όπου

$K_o = 1 / [1/\alpha_h + A_i * \ln(r_2/r_1) / 2\pi \lambda_1 L + A_i * \ln(r_3/r_2) / 2\pi \lambda_2 L + A_i * \ln(r_4/r_3) / 2\pi \lambda_3 L + (A_i/A_o) * (1/\alpha_c)]$

$K_o = 1 / [1/\alpha_h + 2\pi r_1 L * \ln(r_2/r_1) / 2\pi \lambda_1 L + 2\pi r_1 L * \ln(r_3/r_2) / 2\pi \lambda_2 L + 2\pi r_1 L * \ln(r_4/r_3) / 2\pi \lambda_3 L + (2\pi r_1 L / 2\pi r_4 L) * (1/\alpha_c)]$

$K_o = 1 / [1/\alpha_h + r_1 * \ln(r_2/r_1) / \lambda_1 + r_1 * \ln(r_3/r_2) / \lambda_2 + r_1 * \ln(r_4/r_3) / \lambda_3 + (r_1/r_4) * (1/\alpha_c)]$

$K_o = 1 / [1/400 + 0,080 * \ln(84/80) / 40 + 0,080 * \ln(144/84) / 0,046 + 0,080 * \ln(150/144) / 0,14 + (80/150) * (1/20)]$

$K_o = 1 / [0,0025 + 0,080 * \ln(1,05) / 40 + 0,080 * \ln(1,7143) / 0,046 + 0,080 * \ln(1,042) / 0,14 + 0,533 * 0,05]$

$K_o = 1 / [0,0025 + 0,080 * 0,0488 / 40 + 0,080 * 0,539 / 0,046 + 0,080 * 0,0411 / 0,14 + 0,533 * 0,05]$

$K_o = 1 / (0,0025 + 0,0000976 + 0,9374 + 0,02349 + 0,02665)$

$K_o = 1 / 0,9901376 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow K_o = 1,00996 \text{ W/m}^2\text{K}$

Άρα $Q = 1,00996 \text{ W/m}^2\text{K} * 10,048 \text{ m}^2 * (600 - 40)\text{K} = 5.682,924 \text{ W} \rightarrow Q = 5,7 \text{ kW}$

Ισχύει: $Q = \alpha_c * A_o * (t_{wc} - t_c)$ όπου $A_o = 2\pi r_4 L = 2 * 3,14 * 0,150\text{m} * 20\text{m} \rightarrow A_o = 18,84 \text{ m}^2$

Οπότε: $5.682,924 = 20 * 18,84 * (t_{wc} - 40) \rightarrow t_{wc} - 40 = 15,08 = 15,1 \rightarrow t_{wc} = 55,1 \text{ }^\circ\text{C}$