

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

1. Η εγκατάσταση αμμοστρόβιλου πλοίου, ισχύος **16.000 kw**, τροφοδοτείται με ατμό υπέρθερμο πίεσεως **60 bar** και θερμοκρασίας **500 °C**.
Υπάρχει μια απομάστευση για προθέρμανση συμπυκνώματος σε πίεση **10 bar**.
Μετά την απομάστευση, ο ατμός αναθερμαίνεται στους **450 °C**.
Η πίεση στο συμπυκνωτή είναι **0.05 bar**.
Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου είναι $\eta_t = 0.90$ και των αντλιών $\eta_p = 0.85$.
Ζητείται να βρεθεί:
 - α. Ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης
 - β. Η αμμοπαραγωγή, οι παροχές της απομάστευσης και η παροχή αναθέρμανσης
 - γ. Οι ισχείς στρόβιλου, αντλιών, λέβητα.
 - δ. Η κατανάλωση καυσίμου HFO (\dot{m}_f) σε **tn/24h** ($q_f = 41.000 \text{ kJ/kg}$) και το κόστος, εάν η τιμή του καυσίμου είναι **350 \$/tn**. (Βαθμ. 4)

2. Αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται για την πρόωση πλοίου και έχει ισχύ **20 MW**.
Στην είσοδο του συμπιεστή ο αέρας έχει πίεση **100 kN/m²** και θερμοκρασία **30 °C**.
Η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κύκλου είναι **1300 °C** και **2500 kN/m²** αντίστοιχα.
Ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί καύσιμο MGO με θερμοαντική ικανότητα **43.000 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 **500 \$/tn**. (Βαθμ. 3)

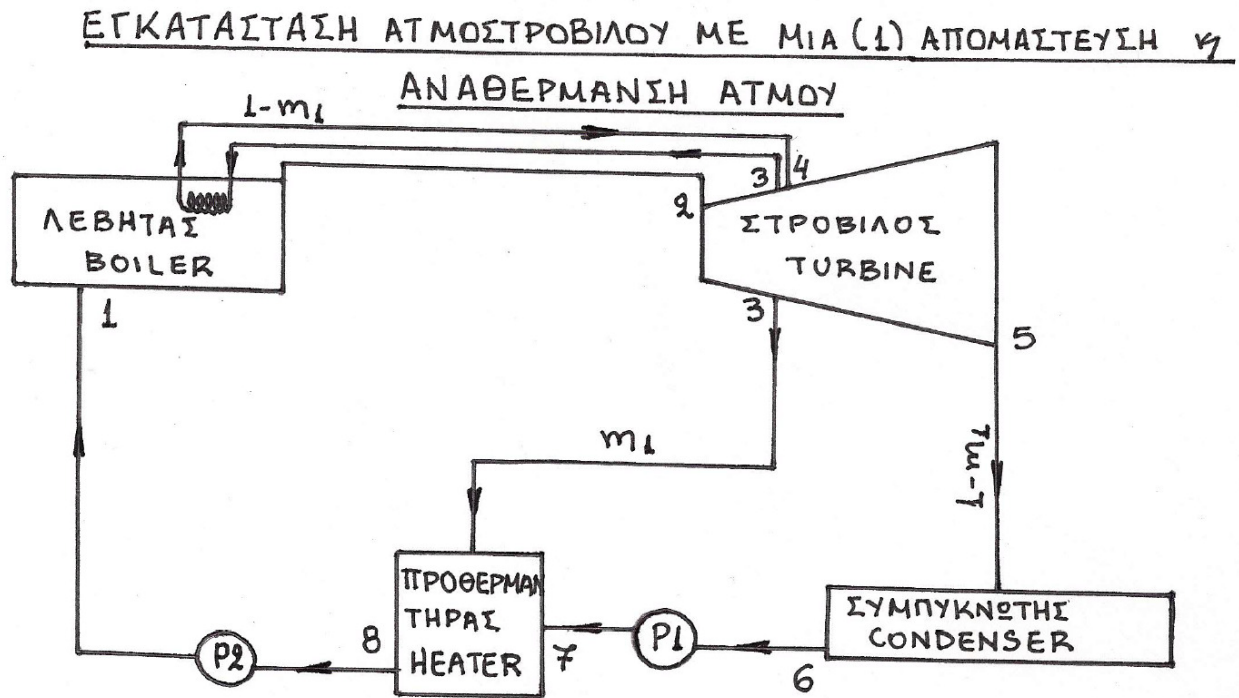
3. Το τοίχωμα του χώρου καύσεως ενός λέβητα έχει συνολική επιφάνεια **15 m²** και αποτελείται από στρώμα με μονωτικά πυρότουβλα ($\lambda=0,30 \text{ W/mK}$), πάχους **15 cm**, στο οποίο εξωτερικά εφάπτεται μονωτικό στρώμα υαλοβάμβακα ($\lambda=0,046 \text{ W/mK}$) πάχους **100 mm**, το οποίο καλύπτεται από χαλύβδινο έλασμα ($\lambda=55 \text{ W/mK}$), πάχους **12 mm** .
Η εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον το οποίο έχει θερμοκρασία **25 °C**, ενώ η θερμοκρασία στην εστία του λέβητα είναι **1600 °C**.
Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην εξωτερική επιφάνεια του χάλυβα είναι **20 W/m²K** ενώ στην εσωτερική επιφάνειά του τοιχώματος του λέβητα είναι **30 W/m²K**.
Ζητούνται:
 - (i) Η απώλεια θερμότητας σε **W**.
 - (ii) Πόση θα είναι η απώλεια θερμότητας αν το πάχος του υαλοβάμβακα διπλασιασθεί; (Βαθμ. 2)

4. Τί σημαίνει ο όρος «συνδιασμένος κύκλος», πως λειτουργεί μια μονάδα ισχύος συνδιασμένου κύκλου και τι πλεονεκτήματα προσφέρει; Πού εφαρμόζεται; (Βαθμ. 1)

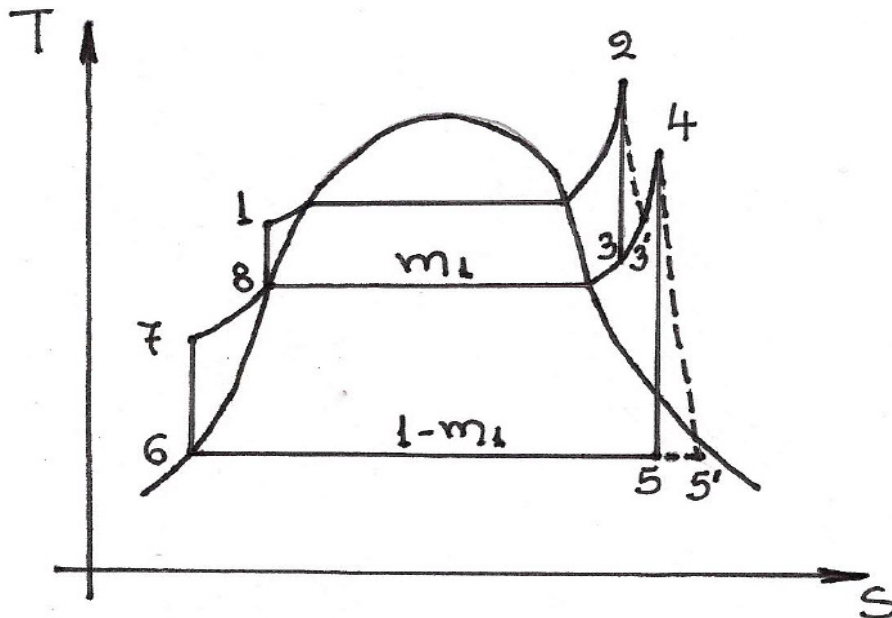
Διάρκεια εξέτασης 3 εκπαιδευτικές ώρες (**02.15'**)

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

Άσκηση 1



Σχ. 1 Διάγραμμα εγκατάστασης (αυτό δεν ζητώ να το σχεδιάσουν στο γραπτό, άλλωστε το έχουν στις σημειώσεις τους).



Σχ. 2 Θερμοδυναμικό διάγραμμα (αυτό ζητώ να το σχεδιάσουν στην κόλλα κατά την επίλυση του θέματος, πρόχειρα με το χέρι).

Από το διάγραμμα **Mollier** βρίσκουμε :

$$h_2 = 3423 \text{ kJ/kg}, \quad h_3 = 2920 \text{ kJ/kg}, \quad h_4 = 3370 \text{ kJ/kg}, \quad h_5 = 2325 \text{ kJ/kg},$$

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

$$\eta_t = (h_2 - h_{3'}) / (h_2 - h_3) \rightarrow h_{3'} = 2970 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_t = (h_4 - h_{5'}) / (h_4 - h_5) \rightarrow h_{5'} = 2430 \text{ kJ/kg}$$

Από Πιν. Γ2 παραρτήματος βρίσκουμε:

$$h_6 = 137,8 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_6 = 0,0010052 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_8 = 762,6 \text{ kJ/kg} \quad \text{και} \quad v_8 = 0,0011274 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Υπολογιστικά βρίσκουμε:

$$h_7 = h_6 + v_6 \cdot (p_7 - p_6) \rightarrow h_7 = 138,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_8 + v_8 \cdot (p_1 - p_8) \rightarrow h_1 = 768,2 \text{ kJ/kg}$$

Απομάστευση:

$$m_1 = (h_8 - h_7) / (h_3' - h_7) \rightarrow m_1 = 0,22 \quad \& \quad 1 - m_1 = 0,78$$

Έργο Στροβίλου:

$$W_t = (h_2 - h_{3'}) + (1 - m_1) \cdot (h_4 - h_{5'}) \rightarrow W_t = 1186,2 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Αντλιών:

$$W_{p1} = (h_7 - h_6) \cdot (1 - m_1) / \eta_p \rightarrow W_{p1} = 0,918 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{p2} = (h_1 - h_8) / \eta_p \rightarrow W_{p2} = 6,588 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} \rightarrow W_p = 7,5 \text{ kJ/kg}$$

Καθαρό Έργο:

$$W = W_t - W_p \rightarrow W = 1178,7 \text{ kJ/kg}$$

Έργο Λέβητα:

$$Q = (h_2 - h_1) + (1 - m_1) \cdot (h_4 - h_{3'}) \rightarrow Q = 2967 \text{ kJ/kg}$$

Βαθμός Απόδοσης Εγκατάστασης:

$$\eta = W/Q = 1178,7/2967 = 0,3973 \rightarrow$$

$$\eta = 39,7 \%$$

Ατμοπαραγωγή:

$$\dot{m} = \dot{W} / W = 16.000 / 1178,7 = 13,5743 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m} = 13,57 \text{ kg/s}$$

Παροχή Απομάστευσης:

$$\dot{m}_1 = \dot{m} * m_1 = 13,57 * 0,22 = 2,9854 \text{ kg/s} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_1 = 2,99 \text{ kg/s}$$

Παροχή Αναθέρμανσης:

$$\dot{m} - \dot{m}_1 = 13,57 - 2,99 = 10,58 \text{ kg/s}$$

Ισχύς Στροβίλου:

$$\dot{W}_t = W_t * \dot{m} = 1186,2 * 13,57 = 16.096,7 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{W}_t = 16.097 \text{ kW}$$

Ισχύεις Αντλιών:

$$\dot{W}_{p1} = \dot{m} * W_{p1} = 13,57 * 0,918 = 12,46 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{W}_{p1} = 12,5 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{p2} = \dot{m} * W_{p2} = 13,57 * 6,588 = 89,40 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{W}_{p2} = 89,4 \text{ kW}$$

$$\text{Συνολική Ισχύς Αντλιών: } \dot{W}_p = \dot{W}_{p1} + \dot{W}_{p2} \quad \rightarrow \quad \dot{W}_p = 101,9 \text{ kW}$$

$$\text{Ισχύς Λέβητα: } \dot{Q} = \dot{m} * Q = 13,57 * 2967 = 40.262,2 \text{ kW} \quad \rightarrow \quad \dot{Q} = 40.262 \text{ kW}$$

Κατανάλωση Καυσίμου:

$$\dot{m}_f = \dot{Q} / q_f = 40.262 / 41.000 = 0,982 \text{ kg/s} = 3.535,2 \text{ kg/hr} = 84.844,8 \text{ kg/24h} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_f = 85,0 \text{ tn/24h}$$

$$\text{Κόστος Καυσίμου: } 85,0 \text{ tn/24h} * 350 \text{ \$/tn} = \$ 29.750 \quad \rightarrow \quad \$ 29.750$$

Άσκηση 2

Δίνονται :

$$\dot{W} = 20 \text{ MW} = 20.000 \text{ kW} = 20.000 \text{ (kJ/s)}$$

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

$$T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303 \text{ K}, \quad T_3 = 1300 \text{ }^\circ\text{C} = 1573 \text{ K}$$

$$\eta_t = 90\% \text{ και } \eta_c = 88\% \text{ , } k = 1,4 \text{ , } (k-1)/k = 0,29$$

$$\text{Ο λόγος πιέσεων βρίσκεται από τη σχέση } r_p = p_2 / p_1 = 25$$

$$r_p = 25$$

$$\text{Υπολογίζουμε τη θερμοκρασία } T_2 \text{ από τη σχέση } T_2 = T_1 \cdot r_p^{(k-1)/k} \rightarrow T_2 = 770,6 \text{ K}$$

$$\text{Υπολογίζουμε τη θερμοκρασία } T_4 \text{ από τη σχέση } T_4 = T_3 \cdot (1/r_p)^{(k-1)/k} \rightarrow T_4 = 618,5 \text{ K}$$

$$\text{Από τη σχέση } \eta_c = (T_2 - T_1) / (T_2' - T_1) \rightarrow T_2' = 834,4 \text{ K}$$

$$\text{Από τη σχέση } \eta_t = (T_3 - T_4) / (T_3 - T_4') \rightarrow T_4' = 714,0 \text{ K}$$

$$\text{Το έργο που απορροφά ο συμπιεστής είναι } w_c = c_p \cdot (T_2' - T_1) \quad w_c = 534,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Το έργο που παράγει ο στρόβιλος είναι } w_t = c_p \cdot (T_3 - T_4) \quad w_t = 863,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Το ωφέλιμο έργο είναι } w = w_t - w_c \quad w = 329,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Η προσδιδόμενη θερμότητα είναι } q = c_p \cdot (T_3 - T_2) \quad q = 742,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Η παροχή αέρα είναι } \dot{m} = \dot{W} / w \quad \dot{m} = 60,8 \text{ kg/s}$$

$$\text{Ο βαθμός απόδοσης της μονάδας είναι } \eta_\theta = w / q \quad \eta_\theta = 44,3 \%$$

$$\text{Η ισχύς του στρόβιλου είναι } \dot{W}_t = \dot{m} \cdot w_t \quad \dot{W}_t = 52,5 \text{ MW}$$

$$\text{Η ισχύς του συμπιεστή είναι } \dot{W}_c = \dot{m} \cdot w_c \quad \dot{W}_c = 32,5 \text{ MW}$$

$$\text{Η προσφερόμενη θερμική ισχύς είναι } \dot{Q} = \dot{m} \cdot q = 45.113,6 \text{ kW} \quad \dot{Q} = 45,1 \text{ MW}$$

$$\text{Τέλος η κατανάλωση του καυσίμου είναι } \dot{m}_f = \dot{Q} / q_f = 45113,6 / 43.000 = 1,05 \text{ kg/s} = 3.780 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_f = 3.780 \text{ kg/h} \quad \text{ή} \quad \dot{m}_f = 90.720 \text{ kg/24h} \quad \text{ή} \quad \dot{m}_f = 91 \text{ tn/24h}$$

$$\text{Οπότε κόστος :} \quad 45.500 \text{ \$/24h}$$

Άσκηση 3

Δίνονται :

$$A = 15 \text{ m}^2$$

$$\lambda_1 = 0,30 \text{ W/mK}, \quad L_1 = 0,150 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0,046 \text{ W/mK}, \quad L_2 = 0,100 \text{ m}$$

$$\lambda_3 = 1,20 \text{ W/mK}, \quad L_3 = 0,012 \text{ m}$$

$$t_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_h = 1600 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_h = 30 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \alpha_c = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(i) Ισχύει:

$$\dot{Q} = K_o * A * (t_h - t_c) \quad \text{όπου} \quad 1/K_o = 1/\alpha_h + 1/\alpha_c + \Sigma (L_i/\lambda_i)$$

$$1/K_o = 1/30 + 1/20 + (0,150/0,3 + 0,100/0,046 + 0,012/55)$$

$$1/K_o = 0,0333 + 0,05 + 0,5 + 2,1739 + 0,00022$$

$$1/K_o = 2,75742 \quad \rightarrow \quad K_o = 0,3627 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\dot{Q} = 0,3627 * 15 * (1600 - 25) = 8568,79 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 8568,8 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 8,6 \text{ kW}$$

(ii)

$$1/K_o = 1/30 + 1/20 + (0,150/0,3 + 0,200/0,046 + 0,012/55)$$

$$1/K_o = 0,0333 + 0,05 + 0,5 + 4,3478 + 0,00022$$

$$1/K_o = 4,9313 \quad \rightarrow \quad K_o = 0,2028 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\dot{Q} = 0,2028 * 15 * (1600 - 25)$$

$$\dot{Q} = 4791,2 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 4,8 \text{ kW}$$