



Θερμικοί Σταθμοί και Συμπαγωγή

Άσκηση 4 (Συνδυασμένος κύκλος στη βιομηχανία)

Βιομηχανία χρησιμοποιεί για την κάλυψη των αναγκών της σε ηλεκτρισμό, βιομηχανικό αεριοστρόβιλο με ισχύ 2,0 MW που λειτουργεί με πραγματικό βαθμό απόδοσης 25%, λόγο αέρα 4 και καύσιμο diesel. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τον αεριοστρόβιλο με θερμοκρασία 700°C και χρησιμοποιούνται σαν φορέας θερμότητας και οξυγόνου σε λέβητα καυσαερίων για παραγωγή 100 t/h ατμού πίεσης 100 bar και θερμοκρασίας 380°C.

Τα συμπυκνώματα επιστρέφουν στο λέβητα με θερμοκρασία 80°C και 130 bar.

Στο λέβητα καυσαερίων χρησιμοποιείται και πρόσθετος καυστήρας ελαφρού πετρελαίου (diesel) που η ομαλή λειτουργία του απαιτεί ύπαρξη λόγου αέρα 1,1.

Τα καυσαέρια εξέρχονται προς το περιβάλλον από το λέβητα καυσαερίων με θερμοκρασία 180°C .

Ζητείται:

- 1) Να υπολογισθεί η κατανάλωση καυσίμου στον αεριοστρόβιλο και στο λέβητα.
- 2) Να εξετασθεί εάν για την ομαλή λειτουργία του λέβητα καυσαερίων είναι απαραίτητος πρόσθετος αέρας και εάν ναι ποια είναι η απαιτούμενη παροχή;
- 3) Αν δεν χρησιμοποιείται επιπλέον αέρας στο λέβητα, ποια είναι η παροχή καυσίμου για τον ίδιο λόγο αέρα καύσης;

Δίδονται:

- Απώλειες ακτινοβολίας του λέβητα καυσαερίων 2%.
- Απώλειες εστίας αμελητέες.
- Στοιχειομετρικά απαιτούμενος αέρας για την καύση του diesel, $\mu_{L0} = 14,5 \text{ kg/kg}$, θερμογόνος ικανότητα $H_u = 42700 \text{ kJ/kg}$.
- Ξηρός αέρας περιβάλλοντος θερμοκρασίας 20°C .
- Μέση ειδική θερμοχωρητικότητα των καυσαερίων του αεριοστροβίλου $\bar{c}_{pG,GT} = 1,05 \text{ kJ/kgK}$ και του λέβητα $\bar{c}_{pG,\Lambda} = 1,1 \text{ kJ/kgK}$.

Λύση

1) Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου:

Για τον αεριοστρόβιλο ισχύει:

$$\eta_{GT} = \frac{Pel}{\dot{m}_{B,GT} \cdot Hu} \Rightarrow \dot{m}_{B,GT} = \frac{2000 \text{ kW}}{0,25 \cdot 42700 \text{ kJ/kg}} = 0,187 \text{ kg/s}$$

$$\mu_{L,GT} = n_{GT} \cdot \mu_{Lo,GT} = 4 \cdot 14,5 \text{ kg/kg} = 58 \text{ kg/kg}$$

$$\mu_{G,GT} = \mu_{L,GT} + 1 = 59 \text{ kg/kg}$$

$$\dot{m}_{G,GT} = \mu_{G,GT} \cdot \dot{m}_{B,GT} = 59 \text{ kg/kg} \cdot 0,187 \text{ kg/s} = 11,033 \text{ kg/s}$$

Η περιεκτικότητα των καυσαερίων του αεριοστροβίλου σε οξυγόνο είναι:

$$\mu_{O_2,G,GT} = 0,2321 \text{ kg}_{O_2} / \text{kg}_L \cdot (n_{GT} - 1) \cdot \mu_{Lo,GT} = 10,10 \text{ kg/kg}$$

$$\dot{m}_{O_2,G,GT} = 10,10 \cdot 0,187 \text{ kg/s} = 1,889 \text{ kg/s}$$

Ισολογισμός ενέργειας στο λέβητα καυσαερίων:

Για τον παραγόμενο ατμό ισχύει:

$$\Delta h_D = h(100 \text{ bar}, 380^\circ \text{C}) - h(130 \text{ bar}, 80^\circ \text{C}) = 3220 \text{ kJ/kg} - 345,4 \text{ kJ/kg} = 2874,6 \text{ kJ/kg}$$

Άρα ο ισολογισμός ενέργειας στο λέβητα καυσαερίων δίνει:

$$\dot{Q}_{G,GT} + \dot{Q}_{B,\Lambda} = \dot{Q}_{\omega\phi} + \dot{Q}_G + \dot{Q}_E + \dot{Q}_L$$

$$\dot{m}_{G,GT} \cdot [h_{G,GT}(700^\circ \text{C}) - h_{G,GT}(20^\circ \text{C})] + \dot{m}_{B,\Lambda} \cdot Hu = \dot{m}_D \cdot \Delta h_D + \dot{m}_{G,\Lambda} \cdot [h_{G,\Lambda}(180^\circ \text{C}) - h_{G,\Lambda}(20^\circ \text{C})] + 0 + 0,02 \cdot [\dot{m}_{G,GT} \cdot [h_{G,GT}(700^\circ \text{C}) - h_{G,GT}(20^\circ \text{C})] + \dot{m}_{B,\Lambda} \cdot Hu]$$

$$0,98 \cdot [11,033 \cdot 1,05(700 - 20) + \dot{m}_{B,\Lambda} \cdot 42700] = \frac{100000}{3600} \cdot 2874,6 + \dot{m}_{G,\Lambda} \cdot 1,1 \cdot (180 - 20) \quad (1)$$

Το συνολικό καυσαέριο από το Λέβητα Ανάκτησης Θερμότητας (ΛΑΘ) είναι:

$$\dot{m}_{G,\Lambda} = \dot{m}_{G,GT} + \dot{m}_{B,\Lambda} + \dot{m}_{L,\Lambda} \quad (2)$$

Ο αέρας που απαιτείται για την καύση του καυσίμου στο (ΛΑΘ) είναι:

$$\dot{m}_L = n_\Lambda \cdot \mu_{Lo} \cdot \dot{m}_{B,\Lambda} = 1,1 \cdot 14,5 \cdot \dot{m}_{B,\Lambda} = 15,95 \cdot \dot{m}_{B,\Lambda}$$

Το οξυγόνο που είναι διαθέσιμο στο καυσαέριο του αεριοστροβίλου είναι:

$$\dot{m}_{O_2,G,GT} = 1,889 \text{ kg/s}$$



Απαιτείται πρόσθετος αέρας όταν:

$$\dot{m}_{O_2} - \dot{m}_{O_2,G,GT} > 0$$

Το επιπλέον οξυγόνο που απαιτείται σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$\dot{m}_{O_2,\Lambda} = \dot{m}_{O_2} - \dot{m}_{O_2,G,GT} = 0,2321 \cdot 1,1 \cdot 14,5 \cdot \dot{m}_{B,\Lambda} - 1,889$$

Άρα ο επιπλέον αέρας:

$$\dot{m}_{L,\Lambda} = \frac{1}{0,2321} \cdot \dot{m}_{O_2,\Lambda} = 1,1 \cdot 14,5 \cdot \dot{m}_{B,\Lambda} - 8,139 \quad (3)$$

Από τις (2) και (3) προκύπτει:

$$\dot{m}_{G,\Lambda} = 11,033 + \dot{m}_{B,\Lambda} + 1,1 \cdot 14,5 \cdot \dot{m}_{B,\Lambda} - 8,139 \Rightarrow \dot{m}_{G,\Lambda} = 16,95\dot{m}_{B,\Lambda} + 2,894$$

Άρα η (1) δίνει:

$$\dot{m}_{B,\Lambda} = 1,862 \text{ kg/s}$$

2) Έλεγχος του απαιτούμενου οξυγόνου:

$$\dot{m}_{O_2,\Lambda} = 0,2321 \cdot 1,1 \cdot 14,5 \cdot \dot{m}_{B,\Lambda} - 1,889 = 5,00 \text{ kg/s} \Rightarrow \dot{m}_{L,\Lambda} = 21,515 \text{ kg/s}$$

Αν από τον έλεγχο προέκυπτε $\dot{m}_{O_2,\Lambda} < 0$ τότε δεν απαιτείται πρόσθετος αέρας και ο ισολογισμός μάζας

(2) γράφεται: $\dot{m}_{G,\Lambda} = \dot{m}_{G,GT} + \dot{m}_{B,\Lambda}$.

3) Υπολογισμός παροχής καυσίμου:

Ο διαθέσιμος αέρας στα καυσαέρια είναι:

$$\dot{m}_{L,G,GT} = \frac{\dot{m}_{O_2,G,GT}}{0,2321} = 8,139 \text{ kg/s}$$

Αν αυτός ο αέρας αποτελεί αποκλειστικά τον αέρα καύσης του καυσίμου στο λέβητα, τότε σε αυτόν θα καίγεται καύσιμο παροχής $\dot{m}'_{B,\Lambda}$ και θα ισχύει:

$$\dot{m}_{L,G,GT} = \mu_L \cdot \eta_E \cdot \dot{m}'_{B,\Lambda} \Rightarrow \dot{m}'_{B,\Lambda} = 0,510 \text{ kg/s}$$

