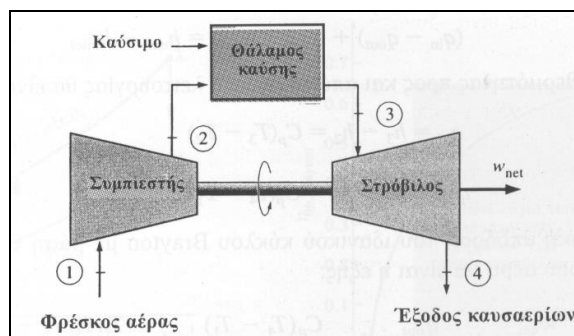


Εφαρμογή 1

Ένας απλός (συμπιεστής – θάλαμος καύσης – στρόβιλος) ιδανικός αεριοστρόβιλος λειτουργεί σύμφωνα με τον ιδανικό κύκλο αέρα Joule. Η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα στον αεριοστρόβιλο είναι 1400 K και 300 K αντίστοιχα. Ο λόγος συμπίεσης υπό τον οποίο λειτουργεί ο αεριοστρόβιλος είναι $r_p = 8$.



Ζητούνται:

1. Το ειδικό ωφέλιμο έργο που παράγει ο αεριοστρόβιλος.
2. Η ειδική θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του καυσίμου στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης του αεριοστρόβιλου.
3. Εάν η παροχή μάζας αέρα που αναρροφάει ο αεριοστρόβιλος είναι 4,5 kg/sec, να υπολογιστεί η ωφέλιμη ισχύς του αεριοστρόβιλου και να εκτιμηθεί η κατανάλωση καυσίμου (Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη Καυσίμου LHV = 42500 (kJ/kg)).
4. Ο λόγος συμπίεσης για τον οποίο θα απαιτηθεί η ελάχιστη δυνατή παροχή μάζας αναρροφούμενου αέρα για την δεδομένη τιμή ωφέλιμη ισχύς που υπολογίστηκε στο ερώτημα (3). Να υπολογιστεί επίσης η ελάχιστη δυνατή παροχή μάζας αναρροφούμενου αέρα.
5. Εάν ο λόγος αέρα – καυσίμου (παροχή μάζας αέρα / κατανάλωση καυσίμου) παραμείνει αμετάβλητος, να υπολογιστεί η ποσοστιαία μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου.

Λύση :

$$1. w_{\omega\phi} = C_p \cdot T_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{r_p^{\gamma-1/\gamma}} \right) - C_p \cdot T_1 \cdot (r_p^{\gamma-1/\gamma} - 1)$$

$$w_{\omega\phi} = 1005 \left[1400 \left(1 - \frac{1}{8^{0,285}} \right) - 300 (8^{0,285} - 1) \right] = 385278 \frac{J}{kg} = 385,3 \frac{kJ}{kg}$$

$$2. \eta = 1 - \left(\frac{1}{r_p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1 - \left(\frac{1}{8} \right)^{0,285} = 0,447 = 44,7\%$$

$$\eta = \frac{w_{\omega\phi}}{q_{in}} \Leftrightarrow q_{in} = \frac{385,3}{0,447} = 862 \frac{kJ}{kg}$$

$$3. \dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot w_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot (w_{\pi\alpha\rho} - w_{\delta\alpha\pi}) = \dot{m}_a \cdot \left(w_{34} - w_{12} \right)$$

ή

$$\dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot w_{\omega\phi} = 4,5 \frac{kg}{sec} \cdot 385,3 \frac{kJ}{kg} = 1733,4 \text{ kW}$$

Για την κατανάλωση καυσίμου θα ισχύουν τα ακόλουθα :

$$\eta = \frac{w_{\omega\phi}}{q_{in}} = \frac{\dot{W}_{\omega\phi}}{\dot{Q}_{in}} \Leftrightarrow \dot{Q}_{in} = \frac{1733,4}{0,447} = 3878,6 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{fuel} = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_3 - T_2) = \dot{m}_{fuel} \cdot LHV$$

ή

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{fuel} \cdot LHV \Leftrightarrow \dot{m}_{fuel} = \frac{\dot{Q}_{in}}{LHV} = \frac{3878,6}{42500} = 0,0913 \frac{kg \text{ fuel}}{sec}$$

4. Σύμφωνα με την θεωρία, για έναν απλό - ιδανικό αεριοστρόβιλο ο οποίος

δουλεύει με λόγο συμπίεσης $r_p = r_{p,opt} \rightarrow \frac{dw_{\omega\phi}}{dr_p} = 0 \rightarrow r_{p,opt} = \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}}$, το

σύστημα αποδίδει το μέγιστο έργο ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου μέσου που το διαρρέει και ως εκ τούτου για δεδομένη τιμή ωφέλιμης ισχύος απαιτείται η ελάχιστη δυνατή παροχή μάζας αέρα. Συνεπώς για τον συγκεκριμένο αεριοστρόβιλο θα ισχύει :

$$r_{p,opt} = \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}} = \left(\frac{1400}{300} \right)^{0,8} = 14,8$$

Το μέγιστο ειδικό ωφέλιμο έργο θα είναι :

$$w'_{\omega\phi} = C_p \cdot T_3 \cdot \left(1 - \frac{1}{r_p^{\gamma-1/\gamma}} \right) - C_p \cdot T_1 \cdot (r_p^{\gamma-1/\gamma} - 1)$$

ή

$$w'_{\omega\phi} = 1005 \left[1400 \left(1 - \frac{1}{14,8^{0,285}} \right) - 300 (14,8^{0,285} - 1) \right] = 405868 \frac{J}{kg} = 405,8 \frac{kJ}{kg}$$

Συνεπώς η ελάχιστη δυνατή παροχή μάζας αναρροφούμενου αέρα για την δεδομένη ωφέλιμη ισχύ που υπολογίστηκε στο ερώτημα (3) θα είναι :

$$\dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}'_a \cdot w'_{\omega\phi} \Leftrightarrow \dot{m}'_a = \frac{\dot{W}_{\omega\phi}}{w'_{\omega\phi}} = \frac{1733,4}{405,8} = 4,27 \frac{kg}{sec}$$

5. Ο λόγος αέρα – καυσίμου είναι ένα μέγεθος το οποίο χαρακτηρίζει την λειτουργία κάθε θερμικής μηχανής. Συγκεκριμένα, ο λόγος αέρα – καυσίμου (Air Fuel Ratio – AFR) ορίζεται ως :

$$AFR = \frac{\text{Παροχή Μάζας Αέρα}}{\text{Κατανάλωση Καυσίμου}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{fuel}}$$

Σύμφωνα με τα δεδομένα της εκφώνησης θα ισχύει :

$$\frac{AFR}{AFR'} = \frac{\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}'_{fuel}}}{\frac{\dot{m}'_a}{\dot{m}'_{fuel}}} \Leftrightarrow \frac{\dot{m}'_a}{\dot{m}'_{fuel}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{fuel}} \Leftrightarrow \dot{m}'_{fuel} = \frac{\dot{m}'_a}{\dot{m}_a} \dot{m}_{fuel} = 0,0866 \frac{kg \text{ fuel}}{sec}$$

Συνεπώς θα είναι : $\Delta m_{fuel} = \frac{\dot{m}'_{fuel} - \dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_{fuel}} 100\% = -5,14\%$

Εφαρμογή 2

Ένας απλός (συμπιεστής – θάλαμος καύσης – στρόβιλος) ιδανικός αεριοστρόβιλος λειτουργεί σύμφωνα με τον ιδανικό κύκλο αέρα Joule. Ο ατμοσφαιρικός αέρας στην είσοδο του συμπιεστή έχει πίεση 1 bar και θερμοκρασία 27 °C. Ο λόγος συμπίεσης

του αεριοστρόβιλου είναι $\frac{P_2}{P_1} = \frac{10}{1}$ και η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου είναι

1127 °C.

Ζητούνται:

1. Η πίεση και η θερμοκρασία του αέρα σε κάθε επί μέρους σημείο του κύκλου.
2. Το ειδικό έργο που απαιτεί για την λειτουργία του ο συμπιεστής.
3. Το ειδικό έργο που παράγει κατά την λειτουργία του ο στρόβιλος.

4. Το ειδικό ωφέλιμο έργο του αεριοστροβίλου καθώς επίσης και η ειδική θερμότητα που δαπανάται στον θάλαμο καύσης από την καύση του καυσίμου.
5. Ο βαθμός απόδοσης του αεριοστροβίλου (Να προσδιοριστεί τουλάχιστον με δύο τρόπους).
6. Εάν το μέγεθος του συγκεκριμένου αεριοστροβίλου είναι τέτοιο ώστε για συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής του συστήματος συμπιεστή – στροβίλου, ο αεριοστροβίλος αναρροφάει μάζα αέρα με ρυθμό 7,5 kg/sec, να υπολογιστεί η ωφέλιμη ισχύς του αεριοστροβίλου και να εκτιμηθεί η κατανάλωση καυσίμου (Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη Καυσίμου LHV = 42500 (kJ/kg)).

Λύση :

1. Για το κάθε σημείο του κύκλου είναι γνωστά τα ακόλουθα στοιχεία :

Σημείο 1 : $P_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$.

Σημείο 2 : Η μεταβολή $1 \rightarrow 2$ είναι ισηντροπική. Συνεπώς θα ισχύει :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_2 = 300(10)^{0,285} = 578 \text{ K} \text{ και}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{10}{1} \rightarrow P_2 = 10 \text{ bar}$$

Σημείο 3 : Η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου αντιστοιχεί προφανώς στην έξοδο του θαλάμου καύσης, δηλαδή στο σημείο (3). Συνεπώς θα είναι : $T_3 = 1400 \text{ K}$. Επειδή η καύση στον ιδανικό κύκλο Joule προσομοιώνεται από μια ισοβαρή θέρμανση προκύπτει ότι η πίεση του αέρα στο σημείο (3) θα πρέπει να είναι ίση με την πίεση του αέρα στο σημείο (2), δηλαδή θα ισχύει : $P_3 = 10 \text{ bar}$.

Σημείο 4 : Η πίεση του αέρα στην έξοδο του στροβίλου (Σημείο 4) είναι ίση με την επικρατούσα ατμοσφαιρική πίεση, δηλαδή με την πίεση που επικρατεί στην είσοδο του συμπιεστή. Συνεπώς θα ισχύει : $P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$. Επειδή στον ιδανικό κύκλο Joule η καύση προσομοιώνεται ως μια ισοβαρή θέρμανση, δηλαδή $P_2 = P_3 = 10 \text{ bar}$, προκύπτει ότι για την συγκεκριμένη διάταξη ο λόγος συμπίεσης $\left(\frac{P_2}{P_1} \right)$ ισούται με τον

λόγο εκτόνωσης $\left(\frac{P_3}{P_4}\right)$. Επιπλέον, δεδομένου του γεγονότος ότι η μεταβολή 3→4

είναι ισεντροπική εκτόνωση θα ισχύει :

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_4 = 1400 \left(\frac{1}{10}\right)^{0,285} = 726 \text{ K}$$

2. Το ειδικό έργο του συμπιεστή θα είναι :

$$\left. \begin{array}{l} w_{12} = h_2 - h_1 \\ h = f(T) \end{array} \right\} \rightarrow w_{12} = C_p \cdot (T_2 - T_1) = 1005 \cdot (578 - 300) = 279390 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 279,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

3. Το ειδικό έργο που παράγει ο στρόβιλος θα είναι :

$$\left. \begin{array}{l} w_{34} = h_3 - h_4 \\ h = f(T) \end{array} \right\} \rightarrow w_{34} = C_p \cdot (T_3 - T_4) = 1005 \cdot (1400 - 726) = 677370 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 677,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

4. Το ειδικό ωφέλιμο έργο του αεριοστρόβιλου θα είναι :

$$w_{\omega\phi} = w_{\pi\alpha\rho} - w_{\delta\alpha\pi} = w_{34} - w_{12} = 677,4 - 279,4 = 398 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Η ειδική θερμότητα που δαπανάται στον θάλαμο καύσης θα είναι :

$$\left. \begin{array}{l} q_{23} = h_3 - h_2 \\ h = f(T) \end{array} \right\} \rightarrow q_{in} = q_{23} = C_p (T_3 - T_2) = 1005 (1400 - 578) = 826110 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 826,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$5. 1^{\text{ος}} \text{ τρόπος : } \eta = 1 - \left(\frac{1}{r_p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1 - \left(\frac{1}{10}\right)^{0,285} = 0,481 = 48,1\%$$

$$2^{\text{ος}} \text{ τρόπος : } \eta = \frac{w_{\omega\phi}}{q_{in}} = \frac{398}{826,1} = 0,481 = 48,1\%$$

6. Η ωφέλιμη ισχύς θα είναι :

$$\dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot w_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot (w_{\pi\alpha\rho} - w_{\delta\alpha\pi}) = \dot{m}_a \cdot \begin{pmatrix} w_{OUT} & w_{IN} \\ w_{34} & -w_{12} \end{pmatrix}$$

ή

$$\dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot w_{\omega\phi} = 7,5 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \cdot 398 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2985 \text{ kW}$$

Για την κατανάλωση καυσίμου θα ισχύουν τα ακόλουθα :

$$\eta = \frac{w_{\omega\phi}}{q_{in}} = \frac{\dot{W}_{\omega\phi}}{\dot{Q}_{in}} \Leftrightarrow \dot{Q}_{in} = \frac{2985}{0,481} = 6205,8 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{fuel} = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_3 - T_2) = \dot{m}_{fuel} \cdot LHV$$

η

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{fuel} \cdot LHV \Leftrightarrow \dot{m}_{fuel} = \frac{\dot{Q}_{in}}{LHV} = \frac{6205,8}{42500} = 0,146 \frac{kg \text{ fuel}}{sec}$$