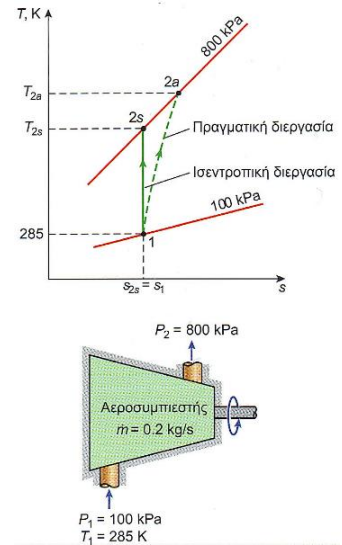


Ασκήσεις (από το βιβλίο των Cengel, Boles, Kanoglou)

Άσκηση 7.15

Ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται μέσω ενός αδιαβατικού συμπιεστή, από τα 100 kPa και τους 12°C, προς μια πίεση 800 kPa, με σταθερό ρυθμό 0,2 Kg/s. εάν η ισεντροπική απόδοσης του συμπιεστή είναι 80%, να προσδιορίσετε (α) την θερμοκρασία εξόδου του αέρα και (β) την απαιτούμενη ισχύ εισόδου του συμπιεστή.



Παραδοχές

1. Υφίστανται σταθεροποιημένες συνθήκες λειτουργίας
2. Ο αέρας συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο και εφαρμόζονται οι παραδοχές του πρότυπου ψυχρού αέρα
3. Οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας είναι αμελητέες

Η σχηματική απεικόνιση της διεργασίας παρουσιάζεται στο διάγραμμα T – s.

(α) Για την κατάσταση εξόδου είναι γνωστή μόνο μια ιδιότητα (η πίεση) και πρέπει να προσδιοριστεί μια ακόμη ιδιότητα, για να οριστεί πλήρως η κατάσταση, και άρα, η θερμοκρασία εξόδου.

Με γνωστή την ισεντροπική απόδοση του συμπιεστή, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί h_{2s} .

Στο σημείο εισόδου του συμπιεστή:

$T_1 = 285 \text{ K} \Rightarrow h_1 = 285,41 \text{ kJ/kg}$ και $P_{r1} = 7,462$ (Πίνακες A.7.1 και A.7.2 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag)

Η ενθαλπία του αέρα στο τέλος της διεργασίας ισεντροπικής συμπίεσης προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας μια από τις ισεντροπικές σχέσεις των ιδανικών αερίων:

$$\frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_{r2} = P_{r1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 1,1584 \left(\frac{800 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right) = 7,462$$

Οπότε:

$$P_{r2} = 7,462 \Rightarrow h_{2s} = 517,37 \text{ kJ/kg} \text{ (από τον Πίνακα A.7.1)}$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση της ισεντροπικής απόδοσης, προκύπτει:

$$n_c \cong \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \Rightarrow 0,80 = \frac{(517,37 - 285,41) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(h_{2a} - 285,41) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \Rightarrow h_{2a} = 575,364 \text{ kJ/kg}$$

Οπότε:

$$h_{2a} = 575,364 \text{ kJ/kg} \Rightarrow T_{2a} = 575,83 \text{ K} \text{ (από τον Πίνακα A.7.1)}$$

(β) η απαιτούμενη ισχύς εισόδου του συμπιεστή προσδιορίζεται από το ισοζύγιο ενέργειας για διατάξεις σταθεροποιημένης ροής, και είναι:

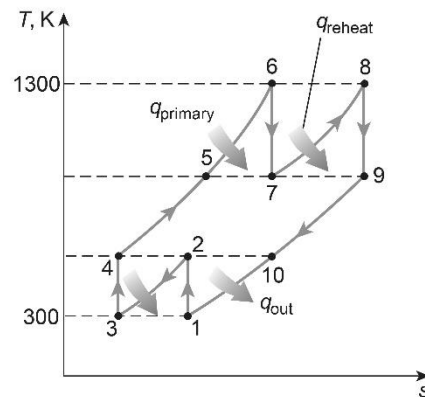
$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \Rightarrow \dot{m}h_1 + \dot{W}_{a,in} = \dot{m}h_{2a} \Rightarrow \dot{W}_{a,in} = \dot{m}(h_{2a} - h_1) \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{a,in} = (0,2 \text{ kg/s})[(575,83 - 285,41)\text{kJ/kg}] = 60,18 \text{ kW}$$

Παρατήρηση: Η επίλυση της άσκησης έγινε με τα δεδομένα του Πίνακα A.7.1 και A.7.2 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag, που αποκλίνουν από τα δεδομένα του Πίνακα A.17 του βιβλίου των Cengel, Boles, Kanoglou.

Άσκηση 9.8

Ένας ιδανικός κύκλος αεριοστρόβιλου με δύο βαθμίδες συμπίεσης και δύο βαθμίδες εκτόνωσης έχει συνολικό λόγο πιέσεων 8. Ο αέρας εισέρχεται σε κάθε βαθμίδα του συμπιεστή στους 300 K και σε κάθε βαθμίδα του στρόβιλου στους 1.300 K. Να υπολογίσετε τον λόγο επιστροφής έργου και την θερμική απόδοση του κύκλου, υποθέτοντας (α) δεν υπάρχουν αναγεννητές, και (β) υπάρχει ένας ιδανικός αναγεννητής με αποτελεσματικότητα 100%.



Παραδοχές

1. Υφίστανται σταθεροποιημένες συνθήκες λειτουργίας
2. Ο αέρας συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο και εφαρμόζονται οι παραδοχές του πρότυπου ψυχρού αέρα
3. Οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας είναι αμελητέες

Πρόκειται για ιδανικό κύκλο αεριοστρόβιλου με δύο βαθμίδες συμπίεσης και δύο βαθμίδες εκτόνωσης και αναγέννηση. Στην διβάθμια συμπίεση και εκτόνωση το έργο εισόδου (καταναλισκόμενο) ελαχιστοποιείται και το έργο εξόδου (παραγόμενο) μεγιστοποιείται όταν τόσο οι βαθμίδες του συμπιεστή, όσο και του στρόβιλου έχουν τον ίδιο λόγο πιέσεων. Επομένως:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_4}{P_3} = \sqrt{8} = 2,83 \text{ και } \frac{P_6}{P_7} = \frac{P_8}{P_9} = \sqrt{8} = 2,83$$

Ο αέρας εισέρχεται σε κάθε βαθμίδα του συμπιεστή στην ίδια θερμοκρασία και η κάθε βαθμίδα έχει την ίδια ισεντροπική απόδοση (εν προκειμένω 100% καθώς πρόκειται για ιδανικό αεριοστρόβιλο). Επομένως, η θερμοκρασία (και η ενθαλπία) του αέρα στην έξοδο κάθε βαθμίδας συμπίεσης θα είναι ίδια, όπως και στον στρόβιλο. Επομένως:

Σημεία εισόδου:

$$T_1 = T_3, h_1 = h_3 \text{ και } T_6 = T_8, h_6 = h_8$$

Σημεία εξόδου:

$$T_2 = T_4, h_2 = h_4 \text{ και } T_7 = T_9, h_7 = h_9$$

Υπό αυτές τις συνθήκες, το έργο εισόδου κάθε βαθμίδας του συμπιεστή θα είναι το ίδιο. Το αυτό ισχύει και για το έργο εξόδου κάθε βαθμίδας του στροβίλου.

(α) Απουσία αναγέννησης, ο λόγος επιστροφής έργου και η θερμική απόδοση προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας δεδομένα από τους Πίνακες Α.7.1 και Α.7.2 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag.

Για $T_1 = 300 \text{ K} \Rightarrow h_1 = 300,47 \text{ kJ/kg}$ και $P_{r1} = 1,1146$ (Πίνακες Α.7.1 και Α.7.2 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag), οπότε:

$$\frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_{r2} = P_{r1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = \sqrt{8} (1,1146) = 3,1526 \Rightarrow$$

$$T_2 = 403,17 \text{ K και } h_2 = 404,52 \text{ kJ/kg}$$

Και για $T_6 = 1.300 \text{ K} \Rightarrow h_6 = 1.336,68 \text{ kJ/kg}$ και $P_{r1} = 265,72$ (Πίνακες Α.7.1 και Α.7.2 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag), οπότε:

$$\frac{P_{r7}}{P_{r6}} = \frac{P_7}{P_6} \Rightarrow P_{r7} = P_{r6} \left(\frac{P_7}{P_6} \right) = \frac{1}{\sqrt{8}} (265,72) = 93,946 \Rightarrow$$

$$T_7 = 105,8 \text{ K και } h_7 = 1.052,89 \text{ kJ/kg}$$

Άρα:

$$w_{comp,in} = 2 (w_{comp,in,1}) = 2 (h_2 - h_1) = 2 (404,52 - 300,47) = 208,1 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{turb,out} = 2 (w_{turb,out,1}) = 2 (h_6 - h_7) = 2 (1.336,68 - 1.052,89) = 567,581 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = w_{turb,out} - w_{comp,in} = 567,581 - 208,1 = 359,48 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{in} = q_{primary} + q_{reheat} = (h_6 - h_4) + (h_8 - h_7) \\ = (1.336,68 - 404,52) + (1.336,68 - 1.052,89) = 1.215,95 \text{ kJ/kg}$$

Επομένως:

$$r_{bw} = \frac{w_{comp,in}}{w_{turb,out}} = \frac{208,1}{567,581} = 0,3665 \text{ ή } 36,65\%$$

και

$$n_{th} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{359,48}{1.215,95} = 0,2956 \text{ ή } 29,56\%$$

(β) Η προσθήκη ενός ιδανικού αναγεννητή (χωρίς πτώσεις πίεσης, αποδοτικότητα 100,00%) δεν επηρεάζει το έργο του συμπιεστή και του στροβίλου, και επομένως, το συνολικό έργο εξόδου και ο λόγος επιστροφής έργου παραμένουν αμετάβλητα, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι αναγεννητή. Ωστόσο, ένας αναγεννητής μειώνει τις απαιτήσεις θερμότητας εισόδου, μέσω της προθέρμανσης του αέρα του αέρα που εγκαταλείπει τον συμπιεστή, χρησιμοποιώντας τα θερμά καυσαέρια.

Σε έναν ιδανικό αναγεννητή, ο συμπιεσμένος αέρας θερμαίνεται στην θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου, T_9 , πριν εισέλθει στον θάλαμο καύσης, και, επομένως, υπό τις παραδοχές του

πρότυπου αέρα, είναι $h_5 = h_7 = h_9$. Συνεπώς, η θερμότητα εισόδου και η θερμική απόδοση είναι:

$$\begin{aligned} q_{in} &= q_{primary} + q_{reheat} = (h_6 - h_5) + (h_8 - h_7) \\ &= (1.336,68 - 1.052,89) + (1.336,68 - 1.052,89) = 567,58 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

και

$$n_{th} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{359,48}{567,58} = 0,6334 \text{ ή } 63,34\%$$

Παρατηρείται ότι ο θερμικός βαθμός απόδοσης σχεδόν διπλασιάζεται ως αποτέλεσμα της αναγέννησης.