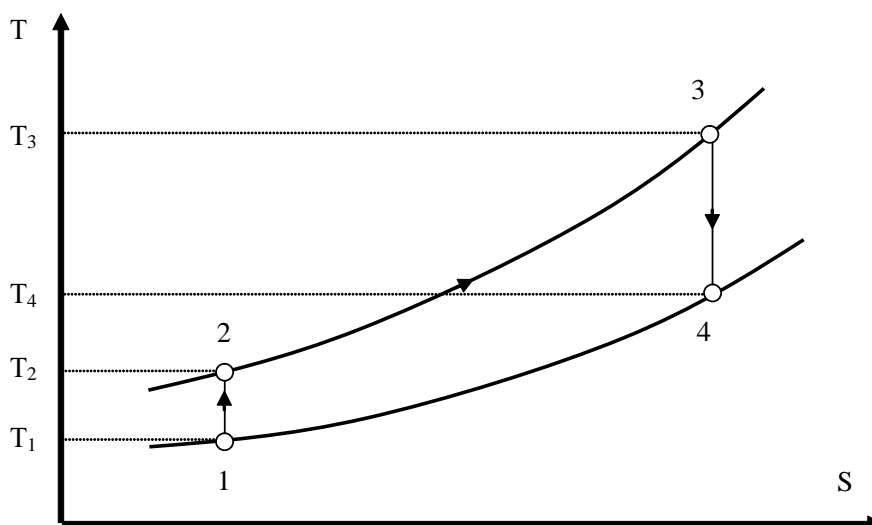
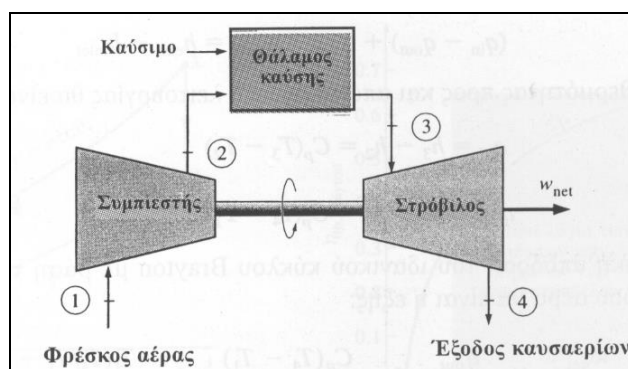


Εφαρμογή 5

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 αεριοστρόβιλου 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 $3 \rightarrow 4$

είναι ισηντροπική 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 :

$$w_{\omega\phi} = w_{\text{παρ}} - w_{\text{δαπ}} = w_{34} - w_{12} = 677,4 - 279,4 = 398 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

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 :

$$\dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot w_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot (w_{\text{παρ}} - w_{\text{δαπ}}) = \dot{m}_a \cdot \left(w_{34} - w_{12} \right)$$

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 :

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

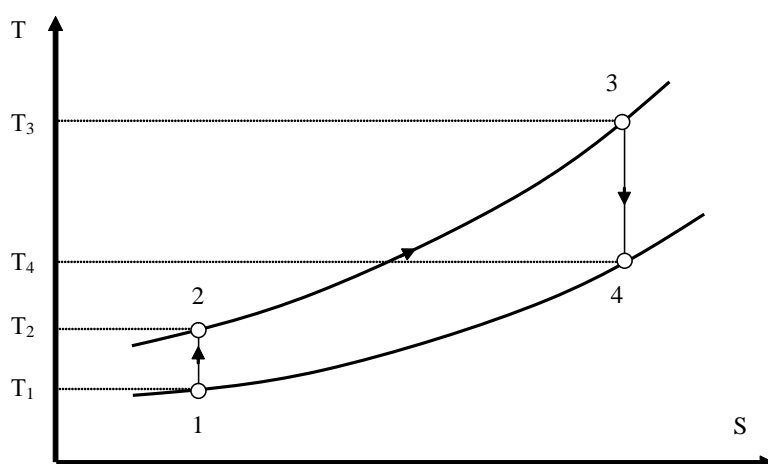
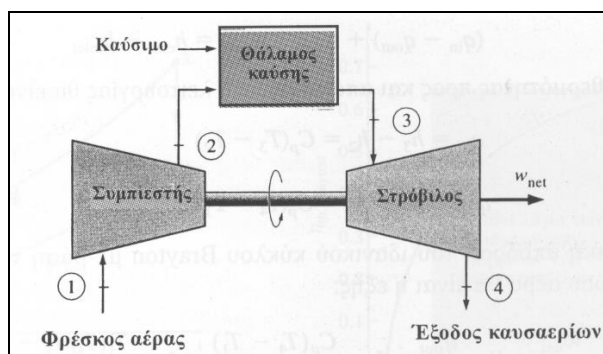
$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{fuel} = \dot{m}_a \cdot C_P \cdot (T_3 - T_2) = \dot{m}_{fuel} \cdot LHV$$

ñ

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

Εφαρμογή 6

Ένας απλός (συμπίεστής – 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:

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

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

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

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

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

ή

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

Για την κατανάλωση καυσίμου θα ισχύουν τα ακόλουθα :

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

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

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 :

$$r_{p,opt} = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}} = \left(\frac{1400}{300}\right)^{\frac{1,4}{0,8}} = 14,8$$

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 :

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

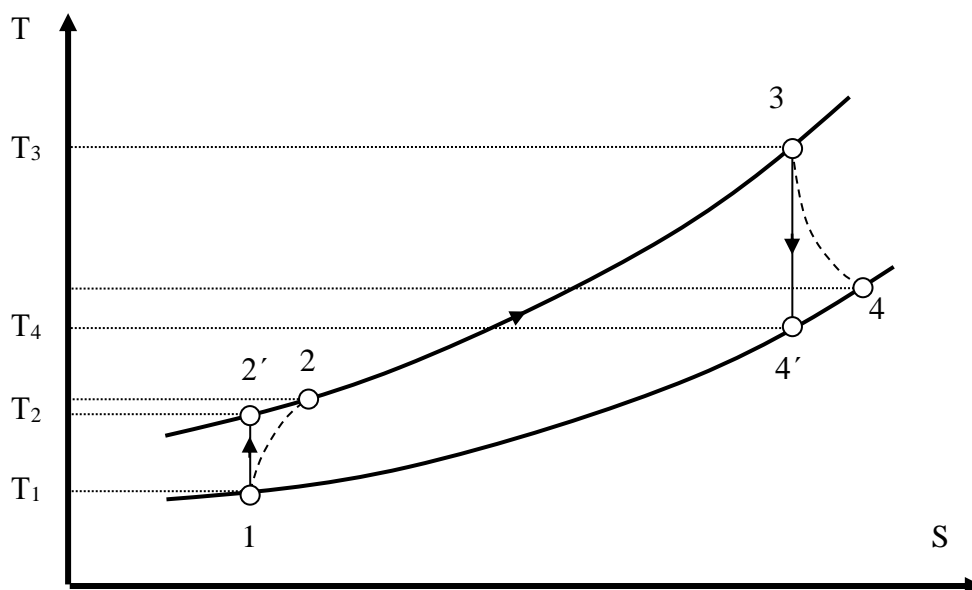
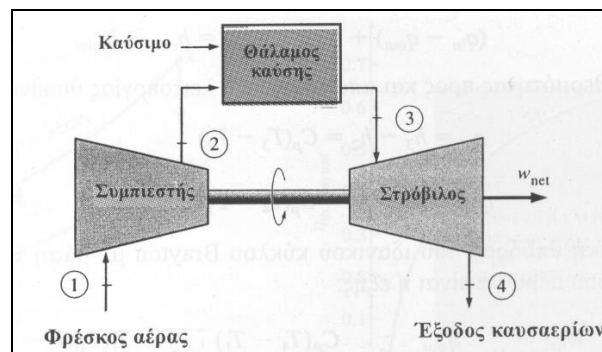
Σύμφωνα με τα δεδομένα της εκφώνησης θα ισχύει :

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

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

Εφαρμογή 7

Να υπολογιστεί η απόδοση και το ειδικό ωφέλιμο έργο απλής Αεριοστροβλικής Εγκατάστασης, η οποία λειτουργεί με βάση τον κύκλο Joule. Η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου είναι 1000[K] ενώ η ελάχιστη ισούται με 288[K]. Ο λόγος συμπίεσης του κύκλου είναι 6 ενώ ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι 85%. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου ισούται με 90%. Να υπολογιστεί επίσης ο λόγος συμπίεσεως για τον οποίο το σύστημα αποδίδει το Μέγιστο Ειδικό Ωφέλιμο Έργο.



Λύση :

Υπολογισμός του ειδικού ωφέλιμου έργου και του θερμικού βαθμού απόδοσης του αεριοστροβίλου:

$$\frac{T'_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T'_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T'_2 = 288 \cdot 6^{0.285} \Rightarrow T'_2 = 480.53 [K]$$

$$\eta_{i,c} = \frac{T'_2 - T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 + \frac{T'_2 - T_1}{\eta_{i,c}} = 288 + \frac{480.53 - 288}{0.85} \Rightarrow T_2 = 514.5 [K]$$

$$\frac{T_3}{T'_4} = \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T'_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \Rightarrow T'_4 = \frac{1000}{6^{0.285}} \Rightarrow T'_4 = 599.34 [K]$$

$$\eta_{i,t} = \frac{T_3 - T_4}{T'_3 - T_4} \Rightarrow T_4 = T_3 - \eta_{i,t} (T_3 - T'_4) = 1000 - 0.9 (1000 - 599.34) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4 = 639.4 [K]$$

$$w_t = c_p \cdot (T_3 - T_4) = 1004 \cdot (1000 - 639.4) \Rightarrow w_t = 362 [kJ/kg]$$

$$w_c = c_p \cdot (T_2 - T_1) = 1004 \cdot (514.5 - 288) \Rightarrow w_c = 227.4 [kJ/kg]$$

$$q_{in} = c_p (T_3 - T_2) = 1004 \cdot (1000 - 514.5) \Rightarrow q_{in} = 487.44 [kJ/kg]$$

$$|w_{net,out}| = |w_t| - |w_c| = 362 - 227.4 \Rightarrow w_{net,out} = 134.6 [kJ/kg]$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net,out}}{q_{in}} = \frac{134.6}{487.44} \Rightarrow \eta_{th} = 0.276$$

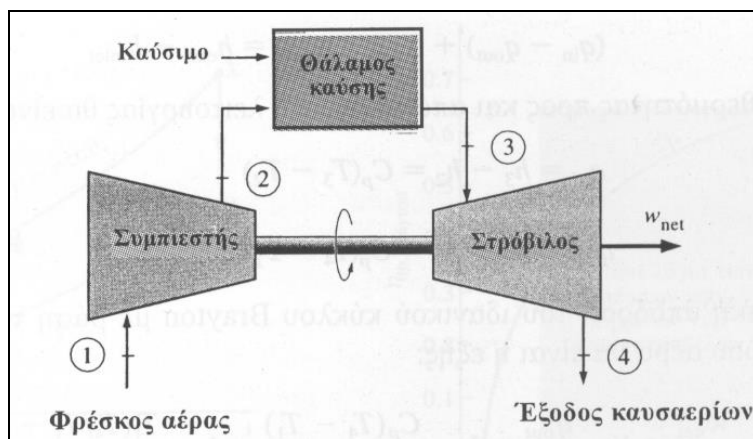
Υπολογισμός του λόγου συμπίεσης για την μεγιστοποίηση του ειδικού ωφέλιμου έργου:

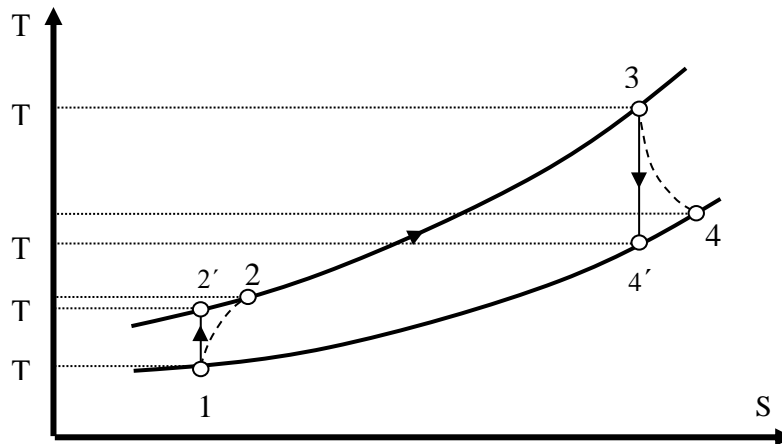
$$r_{c,opt} = \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}} \Rightarrow r_{c,opt} = \left(\frac{1000}{288} \right)^{\frac{1.4}{2(1.4-1)}} \Rightarrow r_{c,opt} = 8.83$$

Εφαρμογή 8

Απλός αεριοστρόβιλος αεροπορικής εφαρμογής (Βλέπε Σχήμα) παράγει ωφέλιμη μηχανική ισχύ $\dot{W}_{\omega\phi} = 600 \text{ kW}$. Για τον συγκεκριμένο αεριοστρόβιλο είναι γνωστά τα ακόλουθα στοιχεία :

- Στην είσοδο του συμπιεστή ο αέρας έχει πίεση $P_1 = 1 \text{ bar}$ και θερμοκρασία $T_1 = 294 \text{ K}$.
- Ο λόγος συμπίεσης υπό τον οποίο λειτουργεί ο αεριοστρόβιλος είναι $r_p = 10$.
- Στον θάλαμο καύσης του αεριοστρόβιλου, το εργαζόμενο μέσο απορροφάει, λόγω της καύσης του καυσίμου, ειδική θερμότητα ίση με $q_{23} = 630 \text{ (kJ/kg}$ εργαζόμενου μέσου).
- Στον συμπιεστή ο αέρας υφίσταται αδιαβατική αλλά όχι ισεντροπική συμπίεση και ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι $\eta_{ic} = 85\%$.
- Στον θάλαμο καύσης ο αέρας υφίσταται ισοβαρή θέρμανση.
- Στον στρόβιλο ο αέρας υφίσταται αδιαβατική αλλά όχι ισεντροπική εκτόνωση και ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου είναι $\eta_{it} = 90\%$.
- Στην έξοδο του στρόβιλου ο αέρας έχει πίεση $P_4 = 1 \text{ bar}$.





Ζητούνται :

1. Η παροχή μάζας του αέρα που διαρρέει τον Αεριοστρόβιλο.
2. Η ισχύς που παράγει ο στρόβιλος.
3. Η ισχύς που δαπανάει ο συμπιεστής.
4. Ο βαθμός απόδοσης του αεριοστροβίλου.

Λύση:

1. Για την συγκεκριμένη διάταξη αεριοστροβίλου θα ισχύει :

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

ή

$$\dot{W}_{\omega\phi} = \dot{m}_a \cdot (w_t - w_c) = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)], \text{ (Άγνωστοι : } \dot{m}_a, T_3, T_4, T_2)$$

- ✓ Υπολογισμός πραγματικής θερμοκρασίας στην έξοδο του συμπιεστή (T_2) :

Εάν η συμπίεση ήταν ισεντροπική, τότε από την σχέση Poisson η θερμοκρασία στην έξοδο του συμπιεστή θα ήταν :

$$\frac{T_2^{is}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_2^{is} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_2^{is} = 294(10)^{0,285} = 567 \text{ K}$$

Όμως η λειτουργία του συμπιεστή προσεγγίζει κατά 85% την ιδανική – ισεντροπική λειτουργία. Συνεπώς η πραγματική θερμοκρασία στην έξοδο του συμπιεστή θα είναι :

$$\eta_{ic} = \frac{T_2^{is} - T_1}{T_2 - T_1} \Leftrightarrow T_2 - T_1 = \frac{T_2^{is} - T_1}{\eta_{ic}} \Leftrightarrow T_2 = 614,8 \text{ K}$$

✓ Υπολογισμός της θερμοκρασίας στην έξοδο του θαλάμου καύσης (T_3):

Στον θάλαμο καύσης έχουμε **ισοβαρή θέρμανση**. Συνεπώς θα ισχύει :

$$q_{23} = C_p \cdot (T_3 - T_2) \Leftrightarrow T_3 - T_2 = \frac{q_{23}}{C_p} \Leftrightarrow T_3 = \frac{630}{1,005} + 614,8 \Leftrightarrow T_3 = 1241,7 \text{ K}$$

✓ Υπολογισμός **πραγματικής** θερμοκρασίας στην έξοδο του στροβίλου (T_4):

Εάν η εκτόνωση ήταν ισεντροπική, τότε από την σχέση Poisson η θερμοκρασία στην έξοδο του στροβίλου θα ήταν :

$$\frac{T_4^{is}}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_4^{is} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_4^{is} = 1241,7 \left(\frac{1}{10} \right)^{0,285} = 644 \text{ K}$$

Όμως η λειτουργία του στροβίλου προσεγγίζει κατά 90% την ιδανική – ισεντροπική λειτουργία. Συνεπώς η πραγματική θερμοκρασία στην έξοδο του στροβίλου θα είναι :

$$\eta_{it} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_4^{is}} \Leftrightarrow T_3 - T_4 = \eta_{it} \cdot (T_3 - T_4^{is}) \Leftrightarrow T_4 = 703,7 \text{ K}$$

Συνεπώς η παροχή μάζας αέρα που θα διαρρέει τον αεριοστρόβιλο θα είναι :

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{W}_{\omega\phi}}{C_p \cdot [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)]} = \frac{600}{1,005 [1241,7 - 703,7 - 614,8 + 294]} = 2,74 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

2. Η ισχύς που παράγει ο στρόβιλος θα είναι :

$$\dot{W}_t = \dot{m}_a \cdot w_t = \dot{m}_a C_p (T_3 - T_4) = 2,74 \cdot 1,005 \cdot (1241,7 - 703,7) = 1486,2 \text{ kW}$$

3. Η ισχύς που δαπανάει ο συμπιεστής θα είναι :

$$\dot{W}_c = \dot{m}_a \cdot w_c = \dot{m}_a C_p (T_2 - T_1) = 2,74 \cdot 1,005 \cdot (614,8 - 294) = 883,4 \text{ kW}$$

4. Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης της συγκεκριμένης εγκατάστασης

ΔΕΝ μπορεί να εφαρμοστεί ο τύπος $\eta = 1 - \left(\frac{1}{r_p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, δεδομένου ότι η χρήση του

συγκεκριμένου τύπου προϋποθέτει ότι ΟΛΕΣ οι επί μέρους διεργασίες του εργαζόμενου μέσου εντός του αεριοστροβίλου θα πρέπει να είναι ΙΔΑΝΙΚΕΣ – ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΕΣ. Όμως στον συγκεκριμένο αεριοστρόβιλο τόσο η συμπίεση όσο και η εκτόνωση ΔΕΝ είναι ισεντροπικές διεργασίες. Συνεπώς για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης θα χρησιμοποιήσω την γενική σχέση που ισχύει για κάθε θερμική μηχανή, δηλαδή :

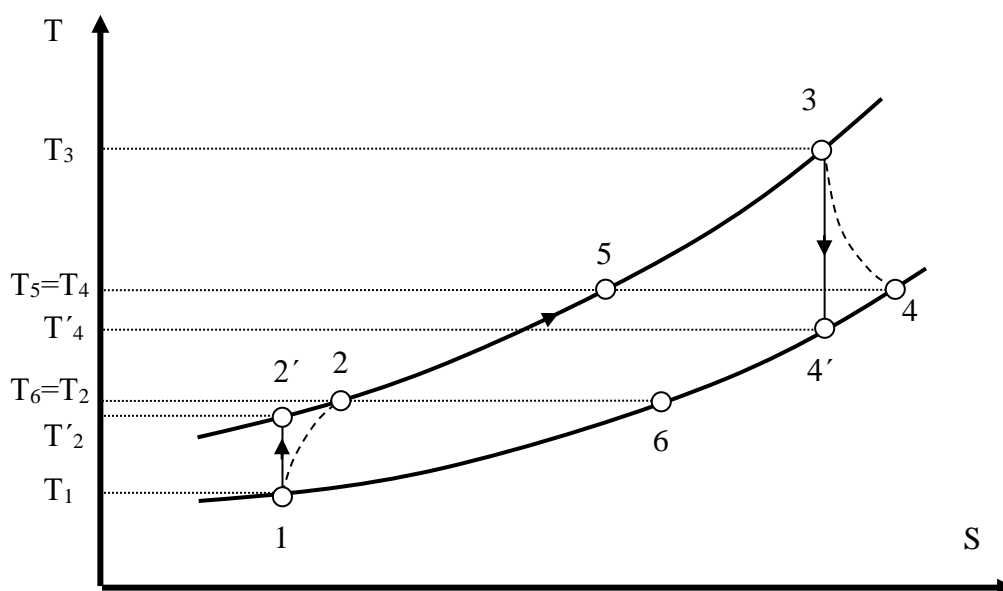
$$\eta = \frac{w_{\omega\phi}}{q_{in}} = \frac{\dot{W}_{\omega\phi}}{\dot{Q}_{in}} \Leftrightarrow \eta = \frac{600}{\dot{m}_a \cdot q_{23}} = \frac{600}{2,74 \cdot 630} = 0,347 \text{ ή } 34,7\%$$

Εφαρμογή 9

Δίνεται στροβιλοκινητήρας μονού άξονα ο οποίος λειτουργεί σε περιβάλλον θερμοκρασίας $T_1=300$ [K]. Η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή είναι $T_2=547$ [K] και ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσής του $\eta_{i,c}=0.9$. Η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο είναι $T_3=1500$ [K]. Η εγκατάσταση παράγει 341862 [J/kg] ειδικού ωφέλιμου έργου.

Ζητούνται :

1. Ο λόγος συμπίεσης του στροβιλοκινητήρα.
2. Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου.
3. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου.
4. Ο θερμικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης.
5. Πιστεύεται θα ήταν συμφέρουσα η τοποθέτηση εναλλάκτη στην ανωτέρω εγκατάσταση, ή όχι; Αιτιολογείστε.
6. Τοποθετώντας ένα εναλλάκτη με αποτελεσματικότητα $\epsilon=0.9$ με πόσο θα ισούται το νέο ειδικό ωφέλιμο έργο και ο νέος θερμικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης;



Λύση :

Υπολογισμός του λόγου συμπίεσης:

$$\eta_{i,c} = \frac{T_2' - T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow T_2' = T_1 + \eta_{i,c} (T_2 - T_1) = 300 + 0.9(547 - 300) \Rightarrow T_2' = 522.3 \text{ [K]}$$

$$\frac{T'_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T'_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{522.3}{300}\right)^{3.5} = 6.96$$

Υπολογισμός της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο:

$$w_c = c_p \cdot (T_2 - T_1) = 1004 \cdot (547 - 300) \Rightarrow w_c = 247.988 \text{ [kJ/kg]}$$

$$|w_{net,out}| = |w_t| - |w_c| \Rightarrow |w_t| = |w_{net,out}| + |w_c| = 341.862 + 247.988 \Leftrightarrow$$

$$|w_t| = 589.850 \text{ [kJ/kg]}$$

$$w_t = c_p \cdot (T_3 - T_4) \Rightarrow T_4 = T_3 - \frac{w_t}{c_p} = 1500 - \frac{589.850}{1004} \Rightarrow T_4 = 912.5 \text{ [K]}$$

$$\frac{T_3}{T'_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T'_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \Rightarrow T'_4 = \frac{1500}{6.96^{0.285}} \Rightarrow T'_4 = 861.68 \text{ [K]}$$

$$\eta_{i,t} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T'_4} = \frac{1500 - 912.5}{1500 - 861.68} \Rightarrow \eta_{i,t} = 0.92$$

Υπολογισμός του θερμικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης:

$$q_{in} = c_p (T_3 - T_2) = 1004 \cdot (1500 - 547) \Rightarrow q_{in} = 956.812 \text{ [kJ/kg]}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net,out}}{q_{in}} = \frac{589.850}{956.812} \Rightarrow \eta_{th} = 0.616$$

Θα ήταν συμφέρουσα η τοποθέτηση εναλλάκτη θερμότητας διότι η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία εξόδου του αέρα από τον συμπιεστή.

Με την τοποθέτηση του εναλλάκτη θερμότητας καυσαερίων το ειδικό ωφέλιμο έργο παραμένει αμετάβλητο καθότι το εμβαδόν του κύκλου δεν μεταβάλλεται με την προσθήκη εναλλάκτη.

Υπολογισμός του νέου θερμικού βαθμού απόδοσης:

$$\varepsilon = \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2} \Rightarrow T_5 = T_2 + \varepsilon(T_4 - T_2) = 547 + 0.9(912.5 - 547) \Leftrightarrow$$

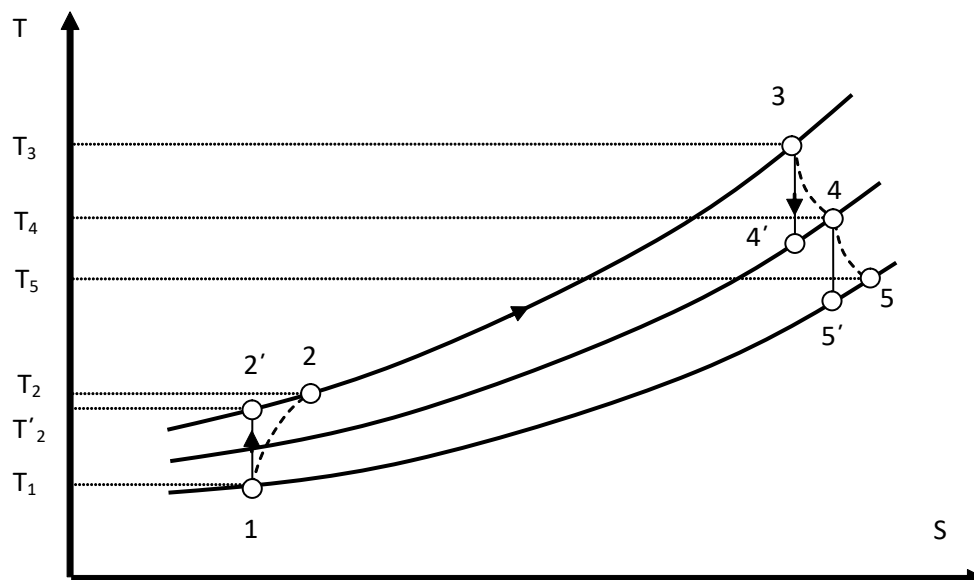
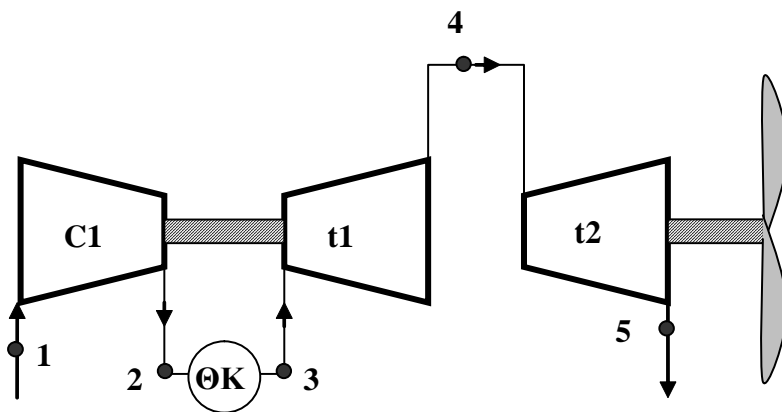
$$T_5 = 851.65 [K]$$

$$q_{in,HX} = c_p (T_3 - T_2) = 1004 \cdot (1500 - 851.65) \Rightarrow q_{in,HX} = 650.943 [kJ/kg]$$

$$\eta_{th,HX} = \frac{w_{net,out}}{q_{in}} = \frac{589.850}{650.943} \Rightarrow \eta_{th} = 0.9$$

Εφαρμογή 10

Δίνεται στροβιλοκινητήρας όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο αέρας συμπιέζεται μη ισεντροπικά (αλλά αδιαβατικά) στην τελική θερμοκρασία των 643.4[K] με ισεντροπικό βαθμό απόδοσης συμπίεστη $\eta_{ic}=0.9$. Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην είσοδο του πρώτου στροβίλου είναι $T_3=1500\text{[K]}$. Και οι δύο στροβίλοι λειτουργούν μη ισεντροπικά (αλλά αδιαβατικά). Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του 1ου είναι $\eta_{it}=0.92$. Εάν η ανωτέρω εγκατάσταση αποδίδει $340,351\text{[J/kg]}$ ειδικού ωφέλιμου έργου, ζητούνται :



1. Ο λόγος συμπίεσης του στροβιλοκινητήρα.
2. Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του 1ου στροβίλου.
3. Ο λόγος εκτόνωσης του κάθε στροβίλου.
4. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του 2ου στροβίλου.

5. Ο θερμικός βαθμός απόδοσης της ανωτέρω εγκατάστασης.

Δίνεται: Ο κινητήρας λειτουργεί σε I.S.A.S.L. ($T_1 = 288[K]$, $P_1 = 1.013[bar]$)

Λύση:

Υπολογισμός του λόγου συμπίεσης του στροβιλοκινητήρα:

$$\eta_{i,c} = \frac{T'_2 - T_1}{T_2 - T_1} \Rightarrow T'_2 = T_1 + \eta_{i,c} (T_2 - T_1) = 288 + 0.9(643.4 - 288) \Rightarrow T'_2 = 607.86[K]$$

$$\frac{T'_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T'_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{607.86}{288}\right)^{3.5} = 13.66$$

Υπολογισμός της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον 1ο στρόβιλο:

$$w_c = c_p \cdot (T_2 - T_1) = 1004 \cdot (643.4 - 288) \Rightarrow w_c = 356821.8[J/kg]$$

Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο ισχύος στον άξονα που συνδέει τον συμπιεστή με τον 1ο στρόβιλο προκύπτει:

$$w_c = w_t = c_p \cdot (T_3 - T_4) \Rightarrow T_4 = T_3 - \frac{w_t}{c_p} = 1500 - \frac{356821.8}{1004} \Rightarrow T_4 = 1144.6[K]$$

Υπολογισμός του λόγου εκτόνωσης για τον κάθε στρόβιλο:

$$\eta_{i,t1} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T'_4} \Rightarrow T'_4 = T_3 - \frac{T_3 - T_4}{\eta_{i,t1}} = 1500 - \frac{1500 - 1144.6}{0.9} \Rightarrow T'_4 = 1105[K]$$

$$\frac{T_3}{T'_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{T_3}{T'_4}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{1500}{1105}\right)^{3.5} = 2.9144$$

Το γινόμενο των λόγων εκτόνωσης των δύο στροβίλων ισούται με τον συνολικό λόγο συμπίεσης του κινητήρα:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \cdot \frac{P_4}{P_5} \Rightarrow \frac{P_4}{P_5} = \frac{P_2/P_1}{P_3/P_4} = \frac{13.66}{2.9144} \Rightarrow \frac{P_4}{P_5} = 4.687$$

Υπολογισμός του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του δευτέρου στροβίλου:

Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο ισχύος στον δεύτερο άξονα του κινητήρα, ο οποίος συνδέει τον δεύτερο κατά σειρά στρόβιλο με την έλικα, προκύπτει:

$$w_{\omega\phi} = w_{t2} = c_p (T_4 - T_5) \Rightarrow T_5 = T_4 - \frac{w_{t2}}{c_p} = 1144.6 - \frac{340351}{1004} \Rightarrow T_5 = 805.6[K]$$

$$\frac{T_4}{T'_5} = \left(\frac{P_4}{P_5} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T'_5 = \frac{T_4}{\left(\frac{P_4}{P_5} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \Rightarrow T'_5 = \frac{1144.6}{4.687^{0.285}} \Rightarrow T'_5 = 736.15 [K]$$

$$\eta_{i,t2} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T'_5} = \frac{1144.6 - 805.6}{1144.6 - 736.15} \Rightarrow \eta_{i,t2} = 0.83$$

Υπολογισμός του θερμικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης:

$$q_{in} = c_p (T_3 - T_2) = 1004 (1500 - 643.4) \Rightarrow q_{in} = 860026.4 [J/kg]$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net,out}}{q_{in}} = \frac{340351}{860026.4} = 0.3957$$