

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (απομάστευση)

Σε μια εγκατάσταση παραγωγής έργου με ατμό νερού, με έναν προθερμαντήρα, ο ατμός εισέρχεται στο στρόβιλο με πίεση $p = 50 \text{ bar}$ και θερμοκρασία $t = 460 \text{ }^\circ\text{C}$. Μετά την εκτόνωση στο στρόβιλο, ο ατμός εξέρχεται με $p = 0,05 \text{ bar}$ (πίεση συμπίκνωσης).

Να υπολογισθεί ο θερμικός βαθμός απόδοσης, το καθαρό ωφέλιμο έργο και η ισχύς.

Να γίνει σύγκριση του βαθμού απόδοσης με εκείνο του κύκλου χωρίς απομάστευση.

Θεωρείται παροχή ατμού $1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$.

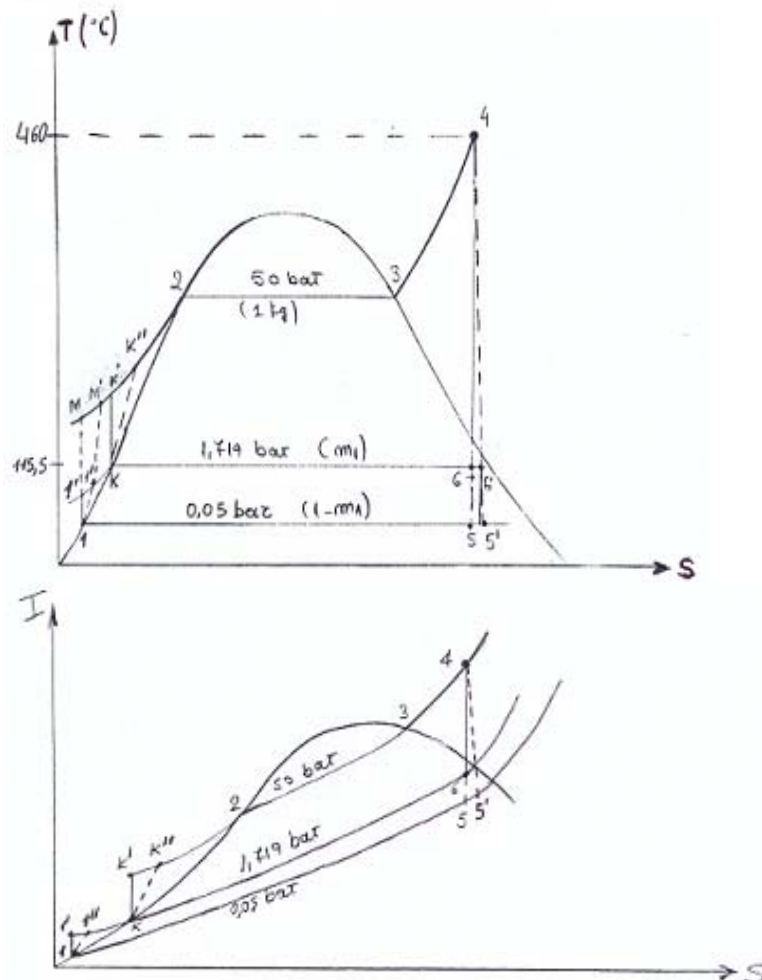
Λύση

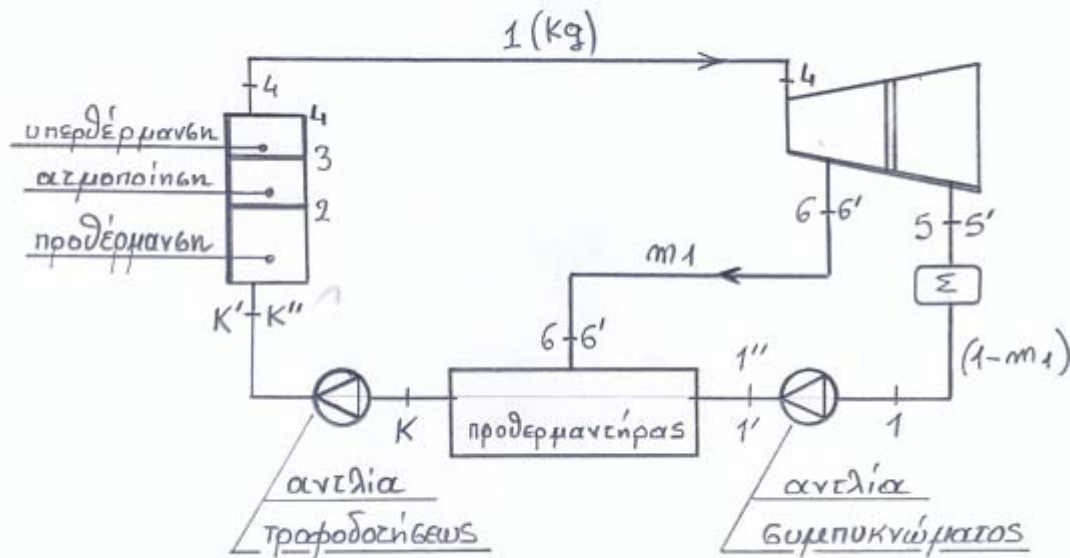
Η θερμοκρασία απομάστευσης είναι: $t = \frac{t_{50\text{bar}} - t_{0,05\text{bar}}}{2} = \frac{263,91 - 32,88}{2} = 115,515 \text{ }^\circ\text{C}$

Η θερμοκρασία αυτή έχει αντίστοιχη πίεση (πίεση συνθήκης κορεσμού) που ευρίσκεται από τον πίνακα 4, με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των θερμοκρασιών $116 \text{ }^\circ\text{C}$ και $115 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$p = 1,6905 + \frac{1,7464 - 1,6905}{116 - 115} \cdot (115,515 - 115) = 1,719 \text{ bar}$$

Στην πίεση αυτή η ισοεντροπική εκτόνωση καταλήγει στην περιοχή του μίγματος με βαθμό ξηρότητας μεγαλύτερο από 0,90 που είναι αποδεκτός για την απρόσκοπτη λειτουργία του στρόβιλου.





Με αναφορά στο παραπάνω σχήμα, ο θερμικός βαθμός απόδοσης είναι :

$$\eta = \frac{[1 \cdot (I_4 - I_6) + (1 - m_1) \cdot (I_6 - I_5)] - [(1 - m_1) \cdot (I_{1'} - I_1) + 1 \cdot (I_{K'} - I_K)]}{1 \cdot (I_4 - I_{K'})}$$

- **σημείο 4** : για πίεση = 50 bar και θερμοκρασία = 460°C, από τον **πίνακα 8** είναι :

$$I_4 = 3339 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right) \text{ και } S_4 = 6,848 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

- **σημείο 6'** : προσδιορίζεται υπολογίζοντας την ενθαλπία του σημείου χρησιμοποιώντας τη σχέση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της εκτόνωσης, δηλαδή :

$$\eta_{\text{στρ.}} = \frac{I_4 - I_6}{I_4 - I_6} \Rightarrow I_6 = I_4 - \eta_{\text{στρ.}} \cdot (I_4 - I_6) \text{ και } \eta \text{ ενθαλπία του σημείου 6 υπολογίζεται από τη}$$

$$\text{σχέση για ενθαλπία μίγματος: } I_6 = (I_K)_{1,719 \text{ bar}} + (r)_{1,719 \text{ bar}} \cdot x_6,$$

όπου ο βαθμός ξηρότητας στο σημ. 6 υπολογίζεται είτε γραφικά εάν από το σημείο τομής της κατακόρυφης (αδιαβατική ισοεντροπική $\overline{64}$) από το σημ. 4 με την ισοβαρή 1,719 bar διέρχεται κάποια καμπύλη βαθμού ξηρότητας, είτε αναλυτικά δηλαδή :

Από την ισοεντροπική $\overline{64}$ είναι :

$$S_4 = S_6 = (S_K)_{1,719 \text{ bar}} + \left(\frac{r}{T} \right)_{1,719 \text{ bar}} \cdot x_6, \text{ από την οποία λύνοντας ως προς το βαθμό ξηρότητας είναι :}$$

$$x_6 = \frac{S_4 - S_K}{\left(\frac{r}{T} \right)}$$

Από τον πίνακα 5 για πίεση $p = 1,719 \text{ bar}$ προκύπτουν οι παρακάτω τιμές :

$$S_{\sigma} = S_K = 1,478 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right), \quad I_{\sigma} = I_K = 484,6 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right), \quad r = 2214,5 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right), \quad T = 389,65 \text{ (} ^\circ\text{K)}$$

Με τις παραπάνω τιμές : $x_6 = 0,942$, $I_6 = 2570,659 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$, $I_6' = 2685,91 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$

Από τον πίνακα 5 προκύπτει ότι :

$2685,91 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right) = I_6' < (I_V)_{1,719 \text{ bar}} = 2700 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$, δηλαδή το σημείο 6' ευρίσκεται στην περιοχή του μίγματος και ο βαθμός ξηρότητας του σημείου υπολογίζεται :

- **είτε γραφικά** με την τιμή της ενθαλπίας I_6' στο διάγραμμα (I-S) και χαράσσοντας την οριζόντια μέχρι την ισοβαρή καμπύλη 1,719 bar οπότε εάν διέρχεται κάποια καμπύλη βαθμού ξηρότητας είναι ο ζητούμενος. Στην προκείμενη περίπτωση αυτή η μέθοδος δεν είναι εφαρμόσιμη διότι στο διάγραμμα (I-S), δεν υπάρχει χαραγμένη η ισοβαρής καμπύλη 1,719 bar
- **είτε αναλυτικά** χρησιμοποιώντας τη σχέση για την ενθαλπία μίγματος :

$$I_6' = (I_{\sigma})_{1,719 \text{ bar}} + (r)_{1,719 \text{ bar}} \cdot x_6' \Rightarrow x_6' = \frac{I_6' - I_K}{r} \Rightarrow x_6' = \frac{2685,910 - 484,6}{2214,5} = 0,994 > 0,88$$

σημείο 5 : $I_5 = (I_{\sigma})_{0,05 \text{ bar}} + (r)_{0,05 \text{ bar}} \cdot x_5$, όπου $(I_{\sigma})_{0,05 \text{ bar}} = I_1$

όπου ο βαθμός ξηρότητας στο σημ. 5 υπολογίζεται είτε γραφικά εάν από το σημείο τομής της κατακόρυφης (αδιαβατική ισοεντροπική $\overline{45}$) από το σημ. 4 με την ισοβαρή 0,05 bar διέρχεται κάποια καμπύλη βαθμού ξηρότητας, είτε αναλυτικά δηλαδή :

Από την ισοεντροπική $\overline{54}$ είναι :

$$S_4 = S_5 = (S_{\sigma})_{0,05 \text{ bar}} + \left(\frac{r}{T} \right)_{0,05 \text{ bar}} \cdot x_5, \quad [\text{όπου } (S_{\sigma})_{0,05 \text{ bar}} = S_1] \text{ από την οποία λύνοντας ως προς το}$$

$$\text{βαθμό ξηρότητας είναι : } x_5 = \frac{S_4 - S_1}{\left(\frac{r}{T} \right)}$$

Από τον πίνακα 5 για πίεση $p = 0,05 \text{ bar}$ προκύπτουν οι παρακάτω τιμές :

$$S_1 = 0,4761 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right), \quad I_1 = 137,83 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right), \quad r = 2423 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right), \quad T = 306,03 \text{ (} ^\circ\text{K)}$$

Με τις παραπάνω τιμές : $x_5 = 0,804$, $I_5 = 2086 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$

Επειδή η εκτόνωση (όπως και η συμπίεση) είναι πραγματική μεταβολή, για να διαπιστωθεί η κατάσταση του συστήματος στο τέλος της πραγματικής εκτόνωσης δηλαδή στο σημείο 5', υπολογίζεται η ενθαλπία I_6 από τη σχέση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης του στροβίλου, όπως έχει γίνει στην περίπτωση του σημείου 6' στη σελίδα 178. Με ανάλογο λοιπόν τρόπο, ευρίσκεται ότι : $x_5 = 0,881 > 0,88$, τιμή οριακά αποδεκτή για την απρόσκοπτη λειτουργία του στροβίλου.

σημείο K : το σύστημα είναι κεκορεσμένο υγρό σε πίεση 1,719 bar, οπότε από τον πίνακα 5 είναι :

$$I_K = 484,6 \left(\frac{KJoule}{kg} \right), \quad v_K = 0,0010563 \left(\frac{m^3}{kg} \right).$$

Η ενθαλπία $I_{K'}$ ευρίσκεται από τη σχέση της αντλίας, δηλαδή :

$$I_{K'} = I_K + v_K \cdot (p_{K'} - p_K) = 484,6 + 0,0010563 \cdot (50 - 1,719) \cdot 10^2 = 489,7 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

και η ενθαλπία του σημείου K'' (το τέλος της αδιαβατικής πραγματικής συμπίεσης) ευρίσκεται χρησιμοποιώντας τη σχέση για τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης της αντλίας, δηλαδή :

$$\eta_{αντλ.} = \frac{I_{K'} - I_K}{I_{K''} - I_K} \Rightarrow I_{K''} = I_K + \frac{I_{K'} - I_K}{\eta_{αντλ.}} = 490,975 \left(\frac{KJoule}{kg} \right), \quad (\text{όπου } \eta_{αντλ.} = 0,80)$$

Κατά τον ίδιο τρόπο, υπολογίζονται οι τιμές των ενθαλπιών $I_{1''}, I_{1'}$:

$$I_{1'} = 138 \left(\frac{KJoule}{kg} \right), \quad I_{1''} = 138,042 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

Πρέπει να υπολογισθεί η ποσότητα m_1 που απομαστεύεται. Η ποσότητα αυτή προκύπτει από το θερμικό ισολογισμό του προθερμαντήρα :

$$m_1 \downarrow I_6$$

$$1(kg) \cdot I_K \leftarrow \boxed{\text{προθερμαντήρας}} \leftarrow (1 - m_1) \cdot I_{1''}$$

$$1 \cdot I_K = m_1 \cdot I_6 + (1 - m_1) \cdot I_{1''}$$

και από τη σχέση αυτή προκύπτει η τιμή της απομαστευόμενης ποσότητας :

$$m_1 = \frac{I_K - I_{1''}}{I_6 - I_{1''}} = \frac{484,6 - 138,042}{2685,91 - 138,042} = 0,136 \left(\frac{kg}{kg_{ατμού}} \right)$$

ΕΡΓΟ

Υπολογίζεται η θερμική ενέργεια που διατίθεται μετά την εκτόνωση, θεωρώντας ότι ένα μέρος αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των αντλιών.

$$L_{\sigma\tau\rho.} = 1 \cdot (I_4 - I_6) + (1 - m_1) \cdot (I_6 - I_5)$$

$$= 1 \cdot (3339 - 2685,91) + (1 - 0,136) \cdot (2685,91 - 2274) = 1009 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

$$L_{\text{αντλιών}} = \frac{(1 - m_1) \cdot (I_1 - I_1)}{0,80} + \frac{1 \cdot (I_{K'} - I_K)}{0,80} =$$

$$= \frac{(1 - 0,136) \cdot (138,042 - 137,83)}{0,80} + \frac{1 \cdot (490,975 - 484,6)}{0,80} = 8,2 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Καθαρή ενέργεια : } (1009 - 8,2) \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Ισχύς : } N = 1 \cdot (\text{kg}) \cdot 1000,8 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{\text{h}}{\text{sec}} \right) = 0,278 \text{ (KWatt)}$$

Θερμικός βαθμός απόδοσης :

$$\eta = \frac{L_{\sigma\tau\rho.} - L_{\text{αντλ.}}}{(I_4 - I_{K'})} = \frac{1000,8}{3339 - 490,975} = 0,351$$

ΚΥΚΛΟΣ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗ

$$\eta_g = \frac{I_4 - I_5}{I_4 - I_{M'}}, \text{ όπου } I_4 = 3339 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right), \quad I_6 = 2274 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

$$\eta_{\text{αντλ.}} = \frac{I_M - I_1}{I_{M'} - I_1} \Rightarrow I_{M'} = I_1 + \frac{I_M - I_1}{\eta_{\text{αντλ.}}}$$

$$I_M = I_1 + v_1 \cdot (p_M - p_1) = 137,83 + 0,0010053 \cdot (50 - 0,05) \cdot 10^2 = 142,851 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

$$\eta_g = \frac{3339 - 2274}{3339 - 144,106} = 0,329$$

Από το παραπάνω αποτέλεσμα, διαπιστώνεται ότι η διαδικασία της απομάστευσης (με ένα προθερμαντήρα στο συγκεκριμένο παράδειγμα) προσφέρει μια μικρή αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης.