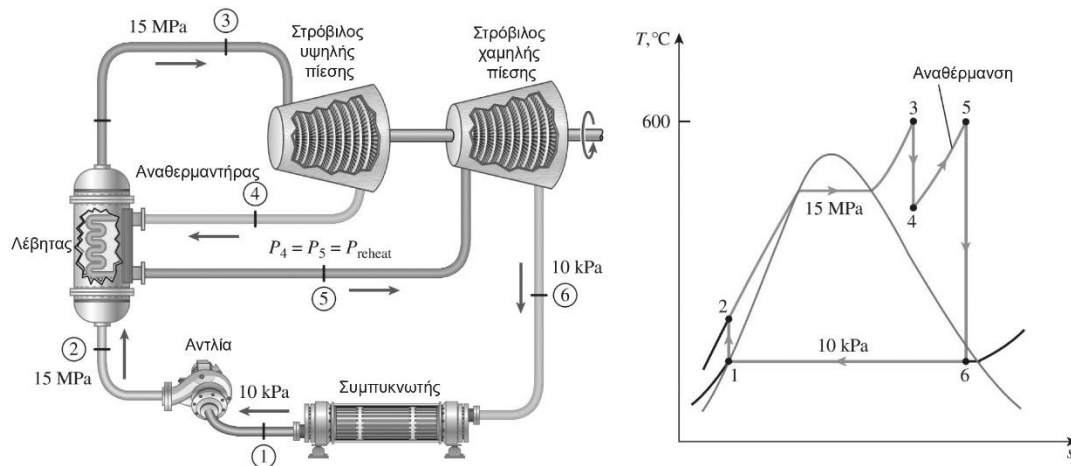


Ασκήσεις (από το βιβλίο των Cengel, Boles, Kanoglou)

**Άσκηση 10.4**

Μια μονάδα παραγωγής ισχύος με υδρατμό λειτουργεί με τον ιδανικό κύκλο Rankine με αναθέρμανση. Ο υδρατμός εισέρχεται στον στρόβιλο υψηλής πίεσης στα 15 MPa και 600°C και συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή σε πίεση 10 kPa. Εάν το περιεχόμενο του υδρατμού σε υγρασία στην έξοδο του στρόβιλου χαμηλής πίεσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10,4%, να προσδιορίσετε: (α) την πίεση στην οποία πρέπει να αναθερμανθεί ο υδρατμός, και (β) την θερμική απόδοση του κύκλου. Να υποθεθεί ότι ο υδρατμός αναθερμαίνεται στην θερμοκρασία του σημείου εισόδου του στρόβιλου υψηλής πίεσης.



**Παρατήρηση:** Η επίλυση της άσκησης έγινε με τα δεδομένα του Πίνακα Β.1 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag, που αποκλίνουν από τα δεδομένα του βιβλίου των Cengel, Boles, Kanoglou.

**Παραδοχές**

1. Υφίστανται σταθεροποιημένες συνθήκες λειτουργίας
2. Οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας είναι αμελητέες

Η διεργασία απεικονίζεται σχηματικά στο διάγραμμα ανωτέρω. Η μονάδα λειτουργεί σύμφωνα με τον ιδανικό κύκλο Rankine με αναθέρμανση, και επομένως, ο στρόβιλος και η αντλία λειτουργούν ισεντροπικά, δεν υπάρχουν πτώσεις πίεσης στον συμπυκνωτή και τον λέβητα, και ο υδρατμός εισέρχεται στην αντλία ως κορεσμένο υγρό στην πίεση του συμπυκνωτή.

**(α)** Η πίεση αναθέρμανσης προσδιορίζεται από την ισεντροπική διεργασία (εκτόνωση) 5 – 6 και επομένως είναι  $s_5 = s_6$ , οπότε:

Κατάσταση 6:  $P_6 = 10 \text{ kPa}$   
 $x_6 = 0,896$  (κορεσμένο μίγμα)

$$s_6 = s_{f,6} + x_6 s_{fg,6} = 0,6492 + 0,896 * 7,5010 = 7,37 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$h_6 = h_{f,6} + x_6 h_{fg,6} = 191,81 + 0,896 * 2.392,82 = 2.335,78 \text{ kJ}/\text{kg}$$

Επομένως στην κατάσταση 5:

$$\left. \begin{array}{l} T_5 = 600^\circ\text{C} \\ s_5 = s_6 \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_5 = 4,0 \text{ MPa} \\ h_5 = 3.674,44 \end{array}$$

Επομένως, ο υδρατμός πρέπει να αναθερμανθεί σε πίεση 4,0 MPa ή μικρότερη, ώστε να διατηρηθεί η υγρασία μικρότερη ή ίση με 10,4%.

(β) για τον προσδιορισμό της απόδοσης απαιτείται ο υπολογισμός των ενθαλπιών σε όλες τις καταστάσεις:

$$\text{Κατάσταση 1: } \left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ kPa} \\ (\text{κορ. υγρό}) \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_{f,1} = 191,81 \text{ kJ}/\text{kg} \\ v_{f,1} = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

$$\text{Κατάσταση 2: } \begin{array}{l} P_2 = 15 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array}$$

$$w_{pump,in} = \int v \, dP = v_{f,1} (P_2 - P_1) = (0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}) [(15.000 - 10) \text{ kPa}]$$

$$= 15,14 \text{ kJ}/\text{kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{pump,in} = (191,81 + 15,14) \text{ kJ}/\text{kg} = 206,95 \text{ kJ}/\text{kg}$$

$$\text{Κατάσταση 3: } \left. \begin{array}{l} P_3 = 15 \text{ MPa} \\ T_3 = 600^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3.582,30 \text{ kJ}/\text{kg} \\ s_3 = 6,6775 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \end{array}$$

$$\text{Κατάσταση 4: } \left. \begin{array}{l} P_4 = 4 \text{ MPa} \\ s_4 = s_3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_4 = 3.154,30 \text{ kJ}/\text{kg} \\ T_4 = 375,55^\circ\text{C} \end{array}$$

Επομένως:

$$q_{in} = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) = (3.582,30 - 206,95) + (3.674,44 - 3.154,30) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 3.895,49 \text{ kJ}/\text{kg}$$

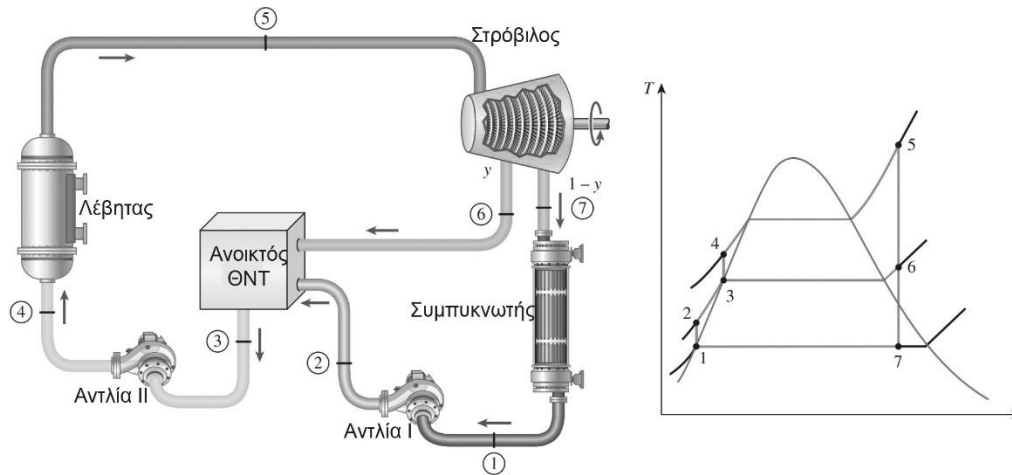
$$q_{out} = h_6 - h_1 = (2.335,78 - 191,81) \text{ kJ}/\text{kg} = 2.143,97 \text{ kJ}/\text{kg}$$

και:

$$n_{th} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{2.143,97}{3.895,49} = 0,4496 \text{ ή } 44,96\%$$

### Άσκηση 10.5

Μια μονάδα παραγωγής ισχύος με υδρατμό λειτουργεί με τον ιδανικό κύκλο Rankine με αναγέννηση και διαθέτει έναν ανοιχτό θερμοαντήρα του νερού τροφοδοσίας. Ο υδρατμός εισέρχεται στον στρόβιλο υψηλής πίεσης στα 15 MPa και 600°C και συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή σε πίεση 10 kPa. Μέρος του υδρατμού εγκαταλείπει τον στρόβιλο σε πίεση 1,2 MPa και εισέρχεται στον ανοιχτό θερμοαντήρα. Να προσδιορίσετε (α) το κλάσμα του υδρατμού που εκμαιεύεται από τον στρόβιλο και (β) την θερμική απόδοση του κύκλου.



**Παρατήρηση:** Η επίλυση της άσκησης έγινε με τα δεδομένα του Πίνακα Β.1 του βιβλίου των Borgnakke και Sonntag, που αποκλίνουν από τα δεδομένα του βιβλίου των Cengel, Boles, Kanoglou.

**Παραδοχές**

1. Υφίστανται σταθεροποιημένες συνθήκες λειτουργίας
2. Οι μεταβολές της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας είναι αμελητέες

Η διεργασία απεικονίζεται σχηματικά στο διάγραμμα ανωτέρω. Η μονάδα λειτουργεί σύμφωνα με τον ιδανικό κύκλο Rankine με αναγέννηση, και επομένως, ο στρόβιλος και η αντλία λειτουργούν ισεντροπικά, δεν υπάρχουν πτώσεις πίεσης στον συμπυκνωτή, τον λέβητα και τον θερμαντήρα του νερού τροφοδοσίας, και ο υδρατμός εξέρχεται από τον συμπυκνωτή και τον θερμαντήρα και εισέρχεται στην αντλία ως κορεσμένο υγρό στην πίεση του συμπυκνωτή.

Κατάσταση 1:  $P_1 = 10 \text{ kPa}$  }  $h_{f,1} = 191,81 \text{ kJ/kg}$   
 (κορ. υγρό) }  $v_{f,1} = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}$

Κατάσταση 2:  $P_2 = 1,2 \text{ MPa}$   
 $s_2 = s_1$

$$w_{pump\ 1,in} = \int v \, dP = v_{f,1} (P_2 - P_1) = (0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}) [(1.200 - 10) \text{ kPa}]$$

$$= 1,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{pump\ 1,in} = (191,81 + 1,2) \text{ kJ/kg} = 193,1 \text{ kJ/kg}$$

Κατάσταση 3:  $P_3 = 1,2 \text{ MPa}$  }  $h_{f,3} = 798,64 \text{ kJ/kg}$   
 (κορ. υγρό) }  $v_{f,3} = 0,001138 \text{ m}^3/\text{kg}$

Κατάσταση 4:  $P_4 = 15 \text{ MPa}$   
 $s_4 = s_3$

$$w_{pump\ 2,in} = \int v\ dP = v_{f,3} (P_4 - P_3) = (0,001138\ m^3/kg) [(15.000 - 1.200)\ kPa] \\ = 15,7\ kJ/kg$$

$$h_4 = h_3 + w_{pump\ 2,in} = (798,64 + 15,7)\ kJ/kg = 814,34\ kJ/kg$$

$$\text{Κατάσταση 5: } \left. \begin{array}{l} P_5 = 15\ \text{MPa} \\ T_5 = 600^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_5 = 3.582,30\ \text{kJ/kg} \\ s_5 = 6,6775\ \text{kJ/(kg.K)} \end{array}$$

$$\text{Κατάσταση 6: } \left. \begin{array}{l} P_6 = 1,2\ \text{MPa} \\ s_6 = s_5 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_6 = 2.859,52\ \text{kJ/kg} \\ T_6 = 218,31^\circ\text{C} \end{array}$$

$$\text{Κατάσταση 7: } \left. \begin{array}{l} P_7 = 10\ \text{kPa} \\ s_7 = s_5 \end{array} \right\}$$

$$s_7 = s_{f,7} + x_7 s_{fg,7} \Rightarrow x_7 = \frac{s_7 - s_{f,7}}{s_{fg,7}} = \frac{6,6775 - 0,6492}{7,5010} = 0,8037\ \text{ή}\ 80,37\%$$

$$h_7 = h_{f,7} + x_7 h_{fg,76} = 191,81 + 0,8037 * 2.392,82 = 2.114,84\ kJ/kg$$

Η ενεργειακή ανάλυση των ανοιχτών θερμαντήρων του νερού τροφοδοσίας είναι ίδια με την ενεργειακή ανάλυση των θαλάμων ανάμιξης. Γενικά, είναι θερμικά μονωμένοι ( $\dot{Q} = 0$ ) και δεν υπάρχει έργο ( $\dot{W} = 0$ ), και λαμβάνοντας υπόψη την παραδοχή 2, προκύπτει:

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \Rightarrow \sum_{in} \dot{m} h = \sum_{out} \dot{m} h \Rightarrow y h_6 + (1 - y) h_2 = h_3$$

Όπου  $y$  είναι το κλάσμα του υδρατμού που απομαστεύεται από τον στρόβιλο ( $y = \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_5}$ ), και επιλύοντας την προηγούμενη εξίσωση ως προς  $y$  προκύπτει:

$$y = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2} = \frac{798,64 - 193,1}{2.859,52 - 193,1} = 0,2271$$

Επομένως:

$$q_{in} = h_5 - h_4 = (3.582,30 - 814,34)\ kJ/kg = 2.767,96\ kJ/kg$$

$$q_{out} = (1 - y) (h_7 - h_1) = (1 - 0,2271) * (2.114,84 - 191,81)\ kJ/kg = 1.486,31\ kJ/kg$$

και:

$$n_{th} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{1.486,31}{2.767,96} = 0,4630\ \text{ή}\ 46,30\%$$