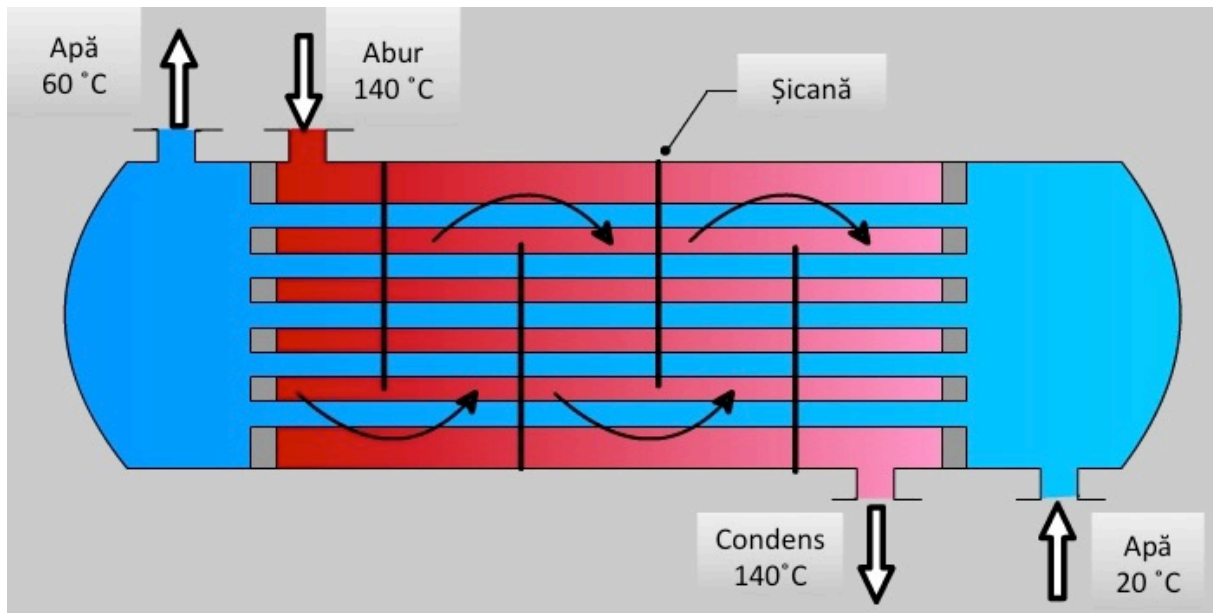


## Lucrare semestrială FDT / FDTOU / TCM - 2017

### Problema 2

Într-un schimbător de căldură care funcționează în regim continuu, staționar, se încălzește un debit de apă de 10 kg/s de la temperatura inițială de 20 °C [ $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $\mu = 1 \text{ cP}$ ;  $c_p = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}\times\text{K})$ ] la temperatura finală de 60 °C [ $\rho = 960 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu = 0,6 \text{ mPa}\times\text{s}$ ;  $c_p = 4180 \text{ J}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ ]. Ca agent termic se utilizează abur saturat la temperatura de 140 °C, care condensează ( $c_{p \text{ abur}} = 2,245 \text{ kJ}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ , entalpia vaporilor  $i'' = 2734 \text{ kJ/kg}$ , entalpia lichidului  $i' = 589 \text{ kJ/kg}$ ). Procesul decurge fără pierderi de căldură în mediul exterior. Să se calculeze:

- Fluxul termic primit de apă (kJ/s);
- Fluxul termic cedat de aburul care condensează (kJ/s);
- Debitul masic de abur (kg/s) necesar realizării procesului.



La funcționarea schimbătorului de căldură în regim continuu, staționar, fără pierderi de căldură în mediul exterior, ecuația bilanțului termic a schimbătorului se poate scrie:

$$[\text{suma fluxurilor termice intrate în schimbător}] = [\text{suma fluxurilor termice ieșite din schimbător}] \quad (1)$$

Fluxuri termice intrate:

Q1 – fluxul termic intrat cu apa rece;

Q2 – fluxul termic intrat cu aburul saturat care condensează.

Fluxuri termice ieșite:

Q3 – fluxul termic ieșit cu apa caldă;

Q4 – fluxul termic ieșit cu condensul.

Ecuația (1) devine:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (2)$$

Care se poate scrie și:

$$Q_3 - Q_1 = Q_2 - Q_4 \quad (3)$$

sau:

$$[ \text{cantitatea de căldură primită de apa care se încălzește } (Q_3 - Q_1) ] = [ \text{cantitatea de căldură cedată de aburul saturat care condensează } (Q_2 - Q_4) ] \quad (4)$$

Aburul, prin condensare, trece din fază de vapori în fază lichidă. Condensarea fiind un proces izobar-izoterm, temperatura fluidului rămâne constantă în timpul procesului (140 °C), iar aburul cedează doar **căldură latentă**:

$$Q_{ced} = Q_2 - Q_4 = m_{abur} \times (i''_{ap\grave{a}} - i'_{ap\grave{a}}) \quad (5)$$

unde:

$m_{abur}$  = debitul de abur care condensează (kg/s);

$i''_{ap\grave{a}}$  = entalpia apei în fază de vapori, la temperatura de condensare (J/kg);

$i'_{ap\grave{a}}$  = entalpia apei în fază lichidă, la temperatura de condensare (J/kg);

Pe de altă parte, apa care se încălzește de la 20 la 60 °C, nu suferă nicio transformare de fază, rămânând în fază lichidă. Ca urmare, aceasta va primi doar **căldură sensibilă**:

$$Q_{prim} = Q_3 - Q_1 = m_{ap\grave{a}} \times c_{p3\ ap\grave{a}} \times T_{3\ ap\grave{a}} - m_{ap\grave{a}} \times c_{p1\ ap\grave{a}} \times T_{1\ ap\grave{a}} = m_{ap\grave{a}} \times (c_{p3\ ap\grave{a}} \times T_{3\ ap\grave{a}} - c_{p1\ ap\grave{a}} \times T_{1\ ap\grave{a}}) \quad (6)$$

unde:

$m_{ap\grave{a}}$  = debitul de apă care se încălzește (kg/s);

$c_{p3\ ap\grave{a}}$  = capacitatea termică masică a apei la 60 °C ( $J \times kg^{-1} \times K^{-1}$ );

$c_{p1\ ap\grave{a}}$  = capacitatea termică masică a apei la 20 °C ( $J \times kg^{-1} \times K^{-1}$ );

$T_{3\ ap\grave{a}}$  = temperatura apei la ieșirea din schimbător (K);

$T_{1\ ap\grave{a}}$  = temperatura apei la intrarea în schimbător (K);

Din datele problemei:

$$i''_{ap\grave{a}} = 2734 \text{ kJ/kg} = 2734 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$i'_{ap\grave{a}} = 589 \text{ kJ/kg} = 589 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

$$T_{3\ ap\grave{a}} = 60 \text{ }^\circ\text{C} = (60 + 273) \text{ K} = 333 \text{ K}$$

$$T_{1\ ap\grave{a}} = 20 \text{ }^\circ\text{C} = (20 + 273) \text{ K} = 293 \text{ K}$$

$$c_{p3\ ap\grave{a}} = 4180 \text{ J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$$

$$c_{p1\ ap\grave{a}} = 4,18 \text{ kJ} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1} = 4180 \text{ J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}$$

$$m_{ap\grave{a}} = 10 \text{ kg/s}$$

Ecuția (6) permite calculul fluxului termic primit de apa care se încălzește de la 20 la 60° C:

$$\begin{aligned} Q_{prim} &= Q_3 - Q_1 = m_{ap\grave{a}} \times (c_{p3\ ap\grave{a}} \times T_{3\ ap\grave{a}} - c_{p1\ ap\grave{a}} \times T_{1\ ap\grave{a}}) = \\ 10 \times (4180 \times 333 - 4180 \times 293) &= 10 \times 4180 \times (333 - 293) = 10 \times 4180 \times 40 = \\ &= \mathbf{1672000 \text{ J/s} = 1672 \text{ kJ/s} = 1672 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Întrucât procesul de curge fără pierderi de căldură, fluxul termic primit de apa care se încălzește este egal cu fluxul termic cedat de aburul care condensează – ecuația (4):

$$Q_{ced} = Q_2 - Q_4 = Q_{prim} = 1672000 \text{ J/s} = 1672000 \text{ W}$$

Acum, din ecuația (5), se poate calcula debitul masic de abur necesar realizării procesului:

$$\begin{aligned} m_{abur} &= Q_{ced} / (i''_{ap\grave{a}} - i'_{ap\grave{a}}) = \\ 1672000 / [(2734 - 589) \times 10^3] &= 1672 / 2145 = 0,779 \cong \mathbf{0,78 \text{ kg/s}} \end{aligned}$$