



1. pompanın yaptığı iş: $w_{p1, in} = \frac{v_1 \cdot (P_2 - P_1)}{v_p} = \frac{0,001017 \frac{m^3}{kg} (2000 - 20 \text{ kPa}) \frac{kJ}{kPa \cdot m^3}}{0,88}$
 $= 2,29 \text{ kJ/kg}$

pompa çıkışındaki entalpi $\Rightarrow h_2 = h_1 + w_{p1, in} = 251,42 + 2,29 = 253,71 \text{ kJ/kg}$

prosesin entalpi $h_3 = h_{f, 2 \text{ MPa}} = 908,42 \text{ kJ/kg}$

karıştırma

$$\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_4 h_4$$

$$4 \frac{kg}{s} \cdot 908,42 \frac{kJ}{kg} + (11-4) \frac{kg}{s} \cdot 253,71 \frac{kJ}{kg} = 11 \frac{kg}{s} \cdot h_4 \Rightarrow h_4 = 491,81 \frac{kJ}{kg}$$

karışım entalpi: eşgül hacim $v_4 = v_f @ h_f = 491,81 \text{ kJ/kg} = 0,001058 \text{ m}^3/kg$
 (entropi değeri)

ikinci pompanın işi $w_{p2, in} = \frac{v_4 (P_5 - P_4)}{v_p}$

$$= \frac{0,001058 \frac{m^3}{kg} (8000 - 2000) \frac{kJ}{kPa \cdot m^3}}{0,88} = 7,21 \text{ kJ/kg}$$

pompa çıkışındaki entalpi $\Rightarrow h_5 = h_4 + w_{p2}$

$$= 491,81 + 7,21 = 499,02 \text{ kJ/kg}$$

Türbin girişindeki entalpi ve entropi

$P_6 = 8 \text{ MPa}$ } Tablo A-6 için su. $h_6 = 3399,5 \text{ kJ/kg}$

$T_6 = 55^\circ C$ } $s_6 = 6,7266 \text{ kJ/kg} \cdot K$

$P_7 = 2 \text{ MPa}$ } entropi değeri ile $h_{7s} = 3007,4 \text{ kJ/kg}$
 $s_7 = s_6$ }

gerçek değer için $\eta_T = \frac{h_6 - h_7}{h_6 - h_{7s}} \Rightarrow h_7 = h_6 - \eta_T (h_6 - h_{7s}) \Rightarrow 3399,5 - 0,88 (3399,5 - 3007,4)$
 $h_7 = 3048,3 \text{ kJ/kg}$

(2)



$$z_T = \frac{h_6 - h_8}{h_6 - h_{8s}} \rightarrow \left. \begin{array}{l} h_{8s} \text{ için } P_8 = 20 \text{ kPa} \\ S_8 = S_6 \end{array} \right\} h_{8s} = 2215,5 \text{ kJ/kg. } ???$$

$h_{8s} = S_8 = S_6 + X_g S_{fg} \Rightarrow X_g ?$

$$\Rightarrow h_8 = h_6 - z_T (h_6 - h_{8s}) = 3399,5 - 0,86 (3399,5 - 2215,5) = 2357,6 \text{ kJ/kg}$$

prosesin ısı kapasitesi:

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_g (h_7 - h_8) = 4 \text{ kg/s} (3048,3 - 2357,6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 8559 \text{ kW}$$

Türbin gücü

$$\begin{aligned} \dot{W}_{\text{turb}} &= \dot{m}_7 (h_6 - h_7) + \dot{m}_8 (h_6 - h_8) \\ &= 4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3399,5 - 3048,3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 7 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3399,5 - 2357,6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 8698 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pompa gücü

$$\begin{aligned} \dot{W}_p &= \dot{m}_1 w_{p1} + \dot{m}_4 w_{p4} = 7 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2,29 \text{ kJ/kg}) + (11 \frac{\text{kg}}{\text{s}}) (7,21 \text{ kJ/kg}) \\ &= \del{87,53} \text{ kW} \\ &= 95 \text{ kW} \end{aligned}$$

Net güç

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{turb}} - \dot{W}_{\text{pomp}} = 8698 - 95 = 8603 \text{ kW}$$

Kazanın ısı kapasitesi

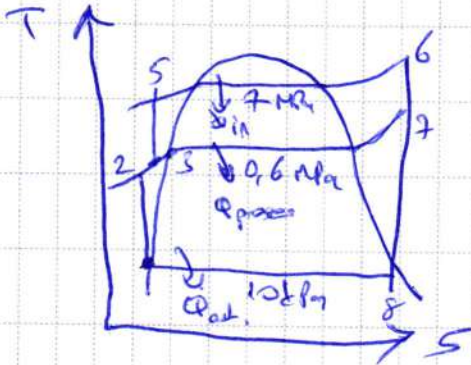
$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_5 (h_6 - h_5) = 11 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3399,5 - 499,02) = 31,905 \text{ kW}$$

$$E_u = \frac{\dot{W}_{\text{net}} + \dot{Q}_{\text{proses}}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{8603 + 8559}{31,905} = 0,538 = 19,53,8$$



Soru 2

Su buharı birleşik ısı güç setlerinin türbinine 7 MPa basınç ve 500°C sıcaklıkta girmektedir. 30 kg/s olan buhar debisinin dörtte biri 600 kPa basınç türbinde ayrılarak ısıtılarda kullanılıyor. Buhar geri kalan 10 kPa basınçta daha genişlere devam ediyor. Isıtılarda kullanılan buhar yoğunlaştırıldıktan sonra sabit basınçta kalan kısıma suyla karıştırılmakta ve kısım 7 MPa basınçta pompalanmaktadır. Borularda: basınç düşüşü ve ısı kaybını ihmal edilerek ve türbin pompanın izentropik olduğu varsayılarak sistemin net gücünü ve enerjiden yararlanma oranını belirleyiniz?
+ Sistem örneği şekil ile aynı.



$$h_1 = h_f(10 \text{ kPa}) = 191,81 \text{ kJ/kg} \quad \text{Tablo A-5}$$

$$v_1 = v_f(10 \text{ kPa}) = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{W}_{p1} = v_1 (p_2 - p_1) \Rightarrow 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg} (600 - 10 \text{ kPa}) \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} = 0,60 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + \dot{W}_{p1} \Rightarrow 191,81 + 0,60 = 193,41 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_g(600 \text{ kPa}) \Rightarrow 670,38 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \Rightarrow h_4 = \frac{\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3}{\dot{m}_4} = \frac{22,5 \cdot 193,41 + 7,5 \cdot 670,38}{30} = 311,9 \text{ kJ/kg}$$

(4)



$$v_4 = v_f \cdot m_{f,9} \text{ kJ/kg} = 0,001026 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{w}_{p2} = v_4 (P_5 - P_4) \Rightarrow 0,001026 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot (7000 - 600) \text{ kPa} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}$$

$$= 6,57 \text{ kJ/kg}$$

$$h_5 = h_4 + \dot{w}_{p2} \rightarrow 311,9 + 6,57 = 318,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_6 = 7 \text{ MPa} \\ T_6 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_6 = 3411,4 \text{ kJ/kg} \\ s_6 = 6,800 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_7 = 0,6 \text{ MPa} \\ s_7 = s_6 \end{array} \right\} h_7 = 2774,6 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_8 = 10 \text{ kPa} \\ s_8 = s_6 \end{array} \right\} x_8 = \frac{s_8 - s_f}{s_g} = \frac{6,8 - 0,6492}{7,4996} = 0,8201$$

$$h_8 = h_f + x_8 h_{fg} = 191,81 + (0,8201)(2392,1) = 2153,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{w}_{\text{rad}} = \dot{m}_6 (h_8 - h_7) + \dot{m}_8 (h_6 - h_8)$$

$$= 30 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3411,4 - 2774,6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 22,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3411,4 - 2153,6)$$

$$= 47404,5 \text{ W}$$

$$\dot{w}_{p1} = \dot{m}_1 \dot{w}_{p1} + \dot{m}_4 \dot{w}_{p2} = 22,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 30 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (6,57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$= 2796 \text{ kW}$$

$$\dot{w}_{\text{net}} = \dot{w}_{\text{rad}} - \dot{w}_{p1} = 47,4 - 2,796 = 44,604 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{proses}} = \dot{m}_7 (h_7 - h_3) = 2,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2774,6 - 620,38) \text{ kJ/kg} = 15,782 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{in}} = \dot{m}_5 (h_6 - h_5) = 30 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3411,4 - 318,47) = 92,788 \text{ kW}$$

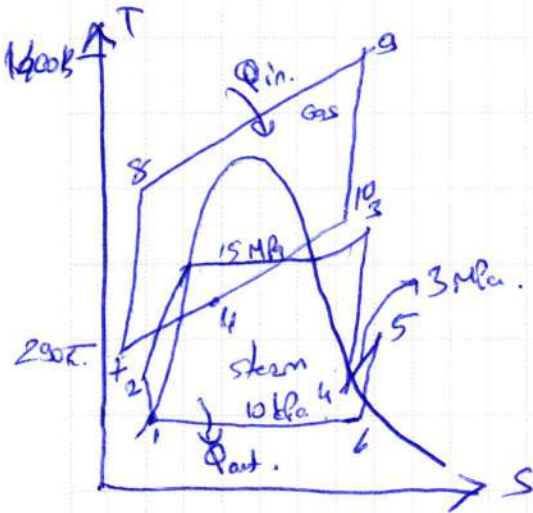
$$\epsilon = \frac{\dot{w}_{\text{net}} + \dot{Q}_{\text{proses}}}{\dot{Q}_{\text{in}}} = \frac{44,604 + 15,782}{92,788} = 0,6787 = 67,87\% \quad (5)$$



6M

Birleşik gaz-buhar güç santralinin gaz türbinin basınç oranı 8'dir. Hava temp. 290 K, türbine 1400 K sıcaklıkla girmektedir. Gaz türbininde sıvı yanma su gazları bir ısı değiştiricisinde buharın 15 MPa basınca ve 650°C sıcaklığa ısıtılmasına katkıda bulunan ısı değiştiricisinden 267°C sıcaklıkta çıkabilmektedir. Buhar güçtürbinine 3 MPa basınçta genişletilen sonra yanma odasında 500°C sıcaklığa ısıtılarak ve ardından aynı basınçta türbinde 10 kPa basınçta genişletilmektedir. Buharın kütleli debisi 30 kg/s'dir. Bütün sıkıştırma ve genişleme işlemlerinin izentropik olduğu varsayılabılır.

- Gaz türbin genişiminde: harem kütleli debisi?
- Birim zamanda çeviren ısı?
- Birleşik çevirmenin ısıl veriminin belirleyin?



Tablo A-17.
 $T_7 = 290 \text{ K} \rightarrow h_7 = 290,16 \text{ kJ/kg}$
 $P_{r7} = 1,2311$

$$P_{r8} = \frac{P_8}{P_7} \cdot P_{r7} \Rightarrow 8 \cdot 1,2311 = 9,849$$

$$h_8 = 526,12 \text{ kJ/kg}$$

$$T_9 = 1400 \text{ K} \rightarrow h_9 = 1515,42 \text{ kJ/kg}$$
$$P_{r9} = 450,5$$

$$P_{r10} = \frac{P_{10}}{P_9} \cdot P_{r9} = \frac{1}{8} \cdot 450,5 = 56,3$$

$$h_{10} = 860,35 \text{ kJ/kg}$$



$$247^{\circ}\text{C} = 520\text{K} \Rightarrow h_{11} = 523,63 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h_f @ 10 \text{ kPa} = 191,81 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = v_f @ 10 \text{ kPa} = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{w}_{p1} = v_1 (P_2 - P_1) = 0,00101 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (15000 - 10 \text{ kPa}) \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} = 15,14 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + \dot{w}_{p1} = 191,81 + 15,14 = 206,95 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 15 \text{ MPa} \\ T_3 = 450^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3157,9 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6,1434 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 3 \text{ MPa} \\ s_4 = s_3 \end{array} \right\} x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6,1434 - 2,6454}{3,5402} = 0,9880$$

$$h_4 = h_f + x_4 h_{fg} = 1008,3 + (0,9880) \cdot 1794,9 = 2781,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_5 = 3 \text{ MPa} \\ T_5 = 520^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_5 = 3457,2 \text{ kJ/kg} \\ s_5 = 7,2359 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_6 = 10 \text{ kPa} \\ s_6 = s_5 \end{array} \right\} x_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_{fg}} = \frac{7,2359 - 0,6492}{7,4996} = 0,9783$$

$$h_6 = h_f + x_6 h_{fg} = 191,81 + 0,9783 \cdot 2392,1 = 2293,81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} (h_3 - h_2) = \dot{m}_{\text{air}} (h_{10} - h_{11}) \Rightarrow \dot{m}_{\text{air}} = \frac{h_3 - h_2}{h_{10} - h_{11}} \cdot \dot{m}_{\text{steam}}$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = \frac{3157,9 - 206,95}{86035 - 52363} \cdot 30 \text{ kg/s} = 262,9 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{\text{in}} = \dot{Q}_{\text{air}} + \dot{Q}_{\text{reheat}} = \dot{m}_{\text{air}} (h_9 - h_8) + \dot{m}_{\text{reheat}} (h_5 - h_4)$$

$$= 262,9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (1515,572 - 526,12) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 30 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3457,2 - 2781,71) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 280,35 \text{ MW}$$



$$\begin{aligned} \dot{Q}_{out} &= \dot{Q}_{sutar} + \dot{Q}_{sutar\ steam} = m_{2,r} (h_{2,r} - h_1) + m_{steam} (h_6 - h_1) \\ &= 262,9 \text{ kg/s} (52363 - 250,16) \text{ kJ/kg} + 30 \text{ kg/s} (2298,8 - 191,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 124,409 \text{ kW} \\ \eta_{th} &= 1 - \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} = 1 - \frac{124,409 \text{ kW}}{280,352 \text{ kW}} = 55,6\% \end{aligned}$$

40% Bir bilet ısı-güç santralinde su ısıtmalı buharlı bir güç çevrimi kullanılmakta ve santral 3 MW güç üretirken 7 MW proses ısı sağlanmaktadır. Buhar yüksek basınç türbinine 8 MPa basınç ve 500°C sıcaklıkta girmekte ve 1 MPa basınca genişlemektedir. Bu basınç buharın bir kısmı türbinin girerek proses ısıtısına gönderilmekte. Bu barmada buharın bir kısmı türbinden ayrılarak proses ısıtısına gönderilmekte, geri kalan 500°C sıcaklıkta ısıtılıkla sonra öncek basınç türbinine 15 MPa gönderilerek basınca genişletilmektedir. Doğrudan suyun diğer suyu buharın su 1 MPa basınca pompalanarak ~~ayrılarak da akışta parçalanmaktadır~~. Ka proses ısıtısından 120°C sıcaklıkta ısıtılan su önceki suyu buharın türbinin ayrılarak akışta parçalanmaktadır. Ka kısmı daha sonra buhar basınca pompalanmaktadır. Türbin ve pompaları izotropik varsayarak

a) Hazırda buhar birim zamanda verilen ısı?

b) Proses ısıtısı için türbinden ayrılarak buharın kütleli debisinin, buharın geçen buharın kütleli debisine oranını hesaplayın?



$$h_1 = h_g | 5 \text{ bar} = 225,94 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 \approx h_1$$

$$h_3 = h_f | 10 \text{ bar} = 503,81 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_6 = 8 \text{ MPa} \\ T_6 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_6 = 3399,5 \text{ kJ/kg} \\ s_6 = 6,7266 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_7 = 1 \text{ MPa} \\ s_7 = s_6 \end{array} \right\} h_7 = 2843,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_8 = 1 \text{ MPa} \\ T_8 = 150^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_8 = 3479,1 \text{ kJ/kg} \\ s_8 = 7,7662 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_9 = 15 \text{ bar} \\ s_9 = s_8 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_9 = \frac{s_9 - s_f}{s_{fg}} = \frac{7,7662 - 0,7589}{7,2522} \\ x_9 = 99665 \end{array}$$

$$\begin{aligned} h_9 &= h_f + x_9 h_{fg} = 225,994 + 99665 \cdot 2372,3 \\ &= 2518,8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$m'_3 = \frac{\dot{Q}_{\text{process}}}{h_7 - h_3} = \frac{7.000 \text{ kJ/s}}{2843,7 - 503,81 \text{ kJ/kg}} = 2,992 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_T = \dot{m}_6 (h_6 - h_2) + \dot{m}_9 (h_8 - h_9) = \dot{m}_6 (h_6 - h_2) + (\dot{m}_6 - 2,992) (h_8 - h_9)$$

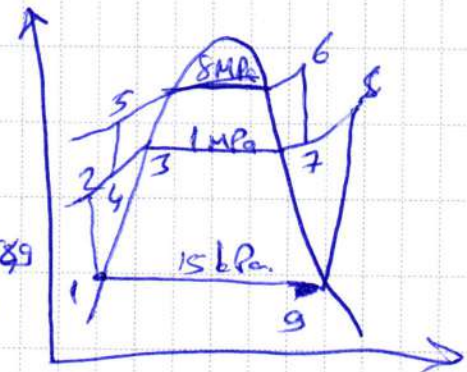
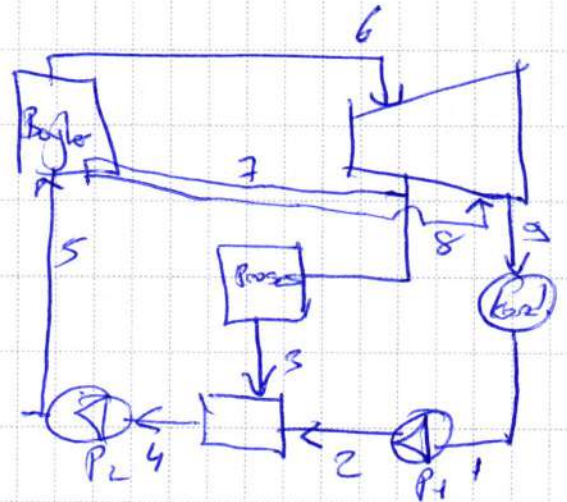
$$3000 \text{ kJ/s} = \dot{m}_6 (3399,5 - 2843,7) + (\dot{m}_6 - 2,992) (3479,1 - 2518,8)$$

$$\dot{m}_6 = 3,873 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_6 - \dot{m}_3 = 3,873 - 2,992 = 0,881 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3$$

$$h_4 - h_5 = \frac{\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3}{\dot{m}_4} = \frac{0,881 (225,94) + (2,992) (503,81)}{3,873} = 4960 \text{ kJ/kg}$$





$$\begin{aligned}\dot{Q}_n &= \dot{m}_c (h_c - h_s) + \dot{m}_g (h_g - h_2) \\ &= 3,873 \text{ kg/s} (3399,5 - 460,6 \text{ kJ/kg}) + 10,881 \text{ kg/s} (3479,1 - 2843,7) \\ &= 12,020 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$b) y = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_{\text{total}} = \dot{m}_6} = \frac{2,992 \text{ kg/s}}{3,873 \text{ kg/s}} = 77,3 \%$$

Soru
Yoğunluğu 1100 kg/m^3 , özgül ısı $3 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ 'den $2,5 \text{ m}^3$ abutken bir ısı değiştiricisinde 1 saatte 120°C 'den 40°C 'ye 10 m^3 su ile soğutuluyor. Suyun ısı değiştiriciye girer sıcaklığı 10°C , ısı değiştiricisindeki toplam ısı transfer katsayısı $1,163 \text{ kW/m}^2\text{K}$ 'dir.

a) Bir gövde geçişli bir boru geçişli paralel akışlı.

b) Bir gövde geçişli bir boru geçişli karşı akışlı.

c) Suyun boru içerisinde olduğu iki akışta birleşmiş sapraz akışlı ise ısı değiştiricinin ısı transfer alanını hesaplayınız?

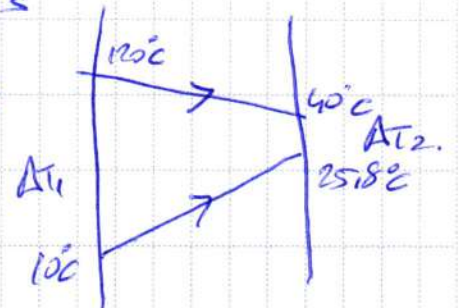
$$\dot{m}_H = 2,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1100 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{s}} \Rightarrow \dot{m}_H = 0,764 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m}_H \cdot c_H \cdot (T_{H2} - T_{H1}) \Rightarrow \dot{Q} = 0,764 \text{ kg/s} \cdot 3 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (120 - 40)^\circ\text{C} \\ &= 183,3 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\dot{m}_C = 10 \text{ m}^3/\text{h} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{s}} = 2,78 \text{ kg/s}$$

$$T_{C2} = 10^\circ\text{C} + \frac{183,3 \text{ kW}}{2,78 \text{ kg/s} \cdot 4,187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}} = 25,8^\circ\text{C}$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$



(10)

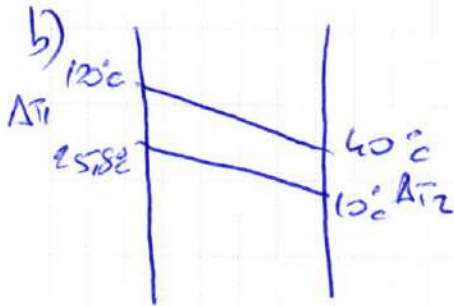


$$LMTD = \frac{(120-10)(40-25,8)}{\ln \frac{120-10}{40-25,8}} = 46,8^{\circ}C$$

$$\Phi = D.A.LMTD$$

$$\Rightarrow 183,3 \text{ kW} = 1163 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot A \cdot 46,8^{\circ}C \Rightarrow A = 3,37 \text{ m}^2$$

$$D = 0,02 \text{ m} \Rightarrow L \Rightarrow 3,37 \text{ m}^2 = 3,14 \times 0,02 \times L \Rightarrow L = 3 \text{ m?}$$



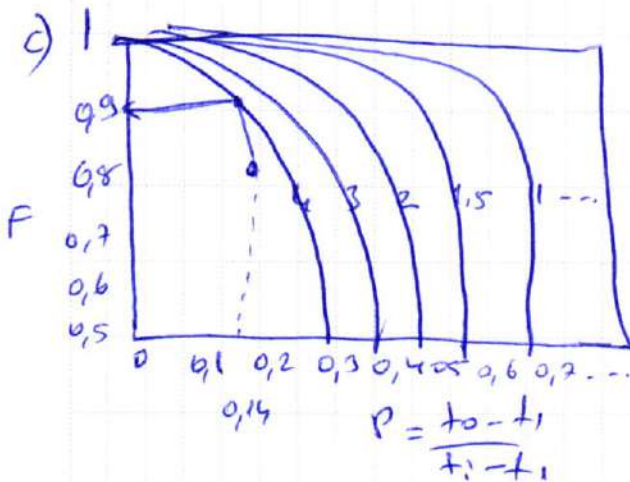
$$LMTD = \frac{(120-25,8) - (40-10)}{\ln \frac{120-25,8}{40-10}} = 56,2^{\circ}C$$

$$\Phi = D.A.LMTD$$

$$183,3 \text{ kW} = 1163 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot A \cdot 56,2^{\circ}C$$

$$A = 2,8 \text{ m}^2$$

+ Geçeriz altında LMTD kesit akışına gibi hesaplanabilir.



$$\Phi = D.A.LMTD.F$$

$$A = \frac{183,3 \text{ kW}}{1163 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 56,2 \cdot 0,97}$$

$$A = 2,9 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{120-40}{25,8-10} = 5,13$$

$$P = \frac{25,8-10}{120-10} = 0,14$$

Çinelerden R ve P'ye göre $F = 0,97$