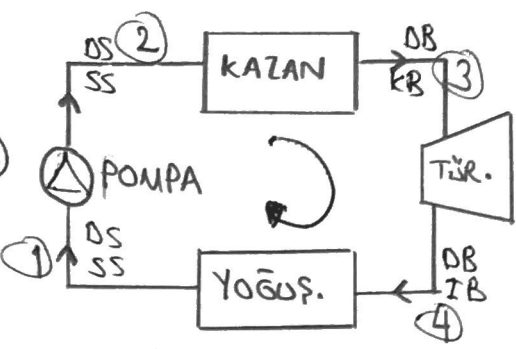


Rankine Çevrimi
Buhanlı Gaz Çevimleri için (İdeal) Çevrim

* Pompa girişinde doymuş sıvı (DS) veya sıkıştırılmış sıvı (SS) olmalıdır. Su pompaları bu şekilde çalışır.



* Yoğuşturucu doymuş buhar veya ıslak buharı (IB) doymuş sıvıya veya sıkıştırılmış sıvıya dönüştürür.

* Amaç, doymuş buhar (DB) ya da kırılgan buhar (KB) ile Türbin çalıştırmak ve İŞ elde etmektir. Su türbinleri potansiyel enerji farkı ile çalışırken, buhar türbinleri genellikle kırılgan buharın yüksek enerji potansiyeli ile çalışır.

* Kazan, doymuş sıvıya veya sıkıştırılmış sıvıya, doymuş buhara veya kırılgan buhara (KB) dönüştürür.

Örnek

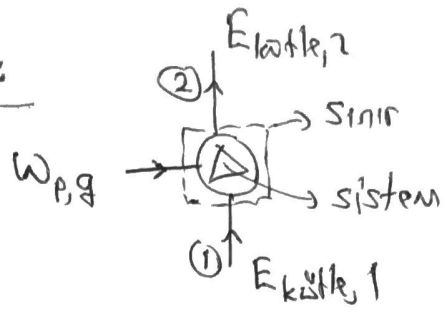
Rankine Çevrimi, 210 MW gücünde çalışıyor. Buhar türbine 10 MPa ve 500°C değerlerinde giriyor. Yoğuşturucuda 10 kPa basınçta soğuyor. Çevrimin izantropik verimi 0,85 ise; Türbinden çıkan buharın kuru derecesini, Çevrimin verimini, Buharın debisini hesaplayınız.

Çözüm: Çevrimin güç yarı elde edilen iş çıkışı,
 $W_{net} = 210 \text{ MW}$ olarak verilmiştir.
3 noktasının özellikleri: $P_3 = 10 \text{ MPa} = 10^4 \text{ kPa}$
 $T_3 = 500^\circ\text{C}$

Yoğuşturucu basıncı: $P_1 = P_4 = 10 \text{ kPa}$ (Dikkat: Isı değişimlerinde bir miktar basınç düşüşü olsa da KAZAN ve YOĞUŞTURUCUDA geçen basınçlar çıkan basınlara EŞİT alınır.

Analiz:

Pompa için enerjinin korunumu:



$$E_g - E_f = \Delta E_s$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 $W_{p,q}$ $E_{katle,2}$ "0" sürekli akış
 $E_{katle,1}$

$$W_{p,q} = E_{katle,2} - E_{katle,1}$$

(Pompaya giren iş, kütle girişi ile gidişi arasındaki enerji farkına eşittir).

$$W_{p,q} = m_2 (h_2 + ke_2 + pe_2) - m_1 (h_1 + ke_1 + pe_1)$$

$m_1 = m_2$ kütlelerin korunumu (Tek giriş/tek çıkış var)
 Kütle verilmediği için "1 kg" alalım.

$$W_{p,q} = h_2 - h_1 + ke_2 - ke_1 + pe_2 - pe_1$$

Giriş-çıkış arasındaki yükseklik farkı Δz olduğu için $pe_2 \approx pe_1$ olur.

$h = u + Pe$
 Pompada basınç sınıma olsada bu ihmal edilir ve iç enerji değişimi göz önüne alınmaz. $u_2 \approx u_1$ olur.

Pompanın giriş çapı, çıkış çapına eşitse hız değişmez dolayısıyla $ke_2 \approx ke_1$ alınır

Pompada asıl amaç basınç farkı oluşturmaktır. Bu sayede akışkan 1'den 2'ye taşınır.

$$P_2 \neq P_1, P_2 > P_1 (P_a)$$

Sıvıların akışkanlar (sıvı) için özgül hacim değişimi çok azdır ve ihmal edilir.

$$v_2 \approx v_1 \text{ olur. } \rightarrow v = v_1 = v_2 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$W_{p,g} = u_2 P_2 - u_1 P_1 = u (P_2 - P_1) \text{ olur. [POMPA için]} \quad \text{IDEAL}$$

(3)

Pompa izantropik verimi:

$$\eta_{\text{pompa izant.}} = \frac{W_{p,g,ideal}}{W_{p,g,gersek}}$$

Soruda izantropik verim 0,85 olarak verilmiştir. Pompanın ve türbinin izantropik verimleri 0,85 olarak alınabilir.

$$0,85 = \frac{u(P_2 - P_1)}{W_{p,g,gersek}} \rightarrow P_1 = P_2 = 10 \text{ kPa ise}$$

pompa girişi için

$$h_1 \approx h_{1,f} = 191,81 \text{ kJ/kg}$$

$$u_1 \approx u_{1,f} = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Doyma basıncı

Gerçekte

$$h_1 = h_{f,1} + u_{f,1} (P_1 - P_{d,1}) \text{ olarak}$$

alınmalı ve SICAKLIK değeri için özellikler seçilmelidir. ($h_{f,1}$ ve $u_{f,1}$ sıcaklığın önde olduğu tablodan alınmalıdır. Ama düşük basınçlarda; basınç değeri karşısındaki değerler alınabilir. (Tablo A4 ve A5'i inceleyiniz.

Belirli bir basınca kadar fark etmediğini göreceksiniz).

$P_1 \approx P_{d,1}$ olduğu için de POMPA için

$h_1 \approx h_{f,1}$ alınabilir.

$$W_{p,g,ideal} = u (P_2 - P_1)$$

$$= (0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}) (10^4 - 10) \text{ kPa}$$

$$= 10,09 \text{ kJ/kg}$$

Dikkat:
 $P_2 = P_3 = 10^4 \text{ kPa}$
 (Kazanda basınç değişim).

$$0,85 = \frac{10,09 \text{ kJ/kg}}{W_{p,g,gersek}} \rightarrow \underline{\underline{W_{p,g,gersek} = 11,87 \text{ kJ/kg}}}$$

Pompa için

$$w_{p,g} = u(P_2 - P_1) = h_2 - h_1$$

(ideal)

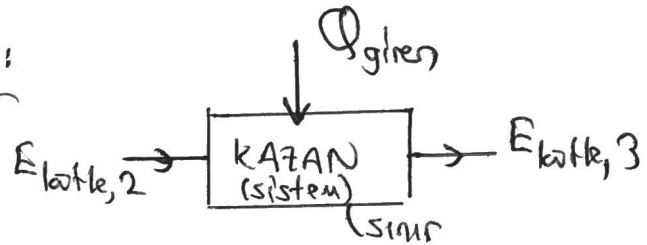
olarak da kullanılabilir.

Gerek entalpi değeri

$$\text{Gerek} \rightarrow w_{p,g} = \frac{u(P_2 - P_1)}{\text{? pompa izant.}} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = h_1 + w_{p,g, \text{gerek}}$$

$$h_2 = h_{2, \text{gerek}} = 191,81 + 11,87 = \underline{\underline{203,68 \text{ kJ/kg}}}$$

Kazan için enerji dengesi:



$$E_g - E_f = \Delta E_s$$

\swarrow \searrow \searrow "0" sürekli akış
 Q_{giren} $E_{kotle,3}$
 $E_{kotle,2}$

$$Q_{giren} = E_{kotle,3} - E_{kotle,2} = m_3 (h_3 + ke_3 + pe_3) - m_2 (h_2 + ke_2 + pe_2)$$

Dikkat: $m_3 = m_2$ (Kotlerin korunumu)
(Tek giriş/ tek çıkış var)

$ke_3 \approx ke_2$ (Basınç düşüşü azdır ve giriş hızı çıkış hızına eşit alınır).

$pe_3 \approx pe_2$ (Aynı akım seviyesinde hareket vardır).

$$Q_{giren} = m (h_3 - h_2) \quad (\text{kJ})$$

m=1 kg (birim kitle)

h₂=203,68 kJ/kg (Pompa kısmında hesaplandı)

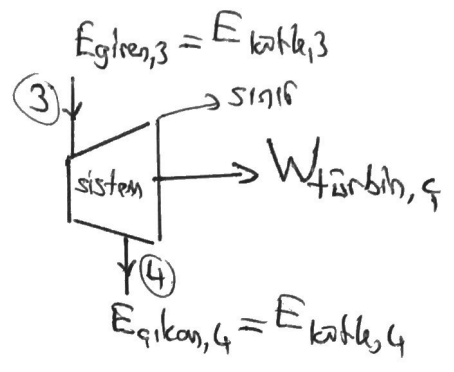
P₃=10 MPa } T_{doyma,3}=311°C
T₃=500°C } T₃>T_{doyma,3} ⇒ Kıymın buhar bölgesi (KB)

h₃=3375,1 kJ/kg } Tablodan okunur
s₃=6,5995 kJ/kgK }

Q_{giren}=(1 kg)(3375,1-203,68)=3171,4 kJ/kg

Torbin için enerji dengesi:

E_g-E_f=ΔE_s
E_{kitle,3} } E_{kitle,4} } "0" (sürekli akış)
W_{torbin,ç}



W_{torbin,ç} = E_{kitle,3} - E_{kitle,4}
= m₃ (h₃ + ke₃ + pe₃) - m₄ (h₄ + ke₄ + pe₄)

Dikkat: m₃=m₄ (kütlenin korunumu, tek giriş/tek çıkış)

ke₃ ≈ ke₄ (Eğer giriş/çıkış sapları eşitse, V₃ ≈ V₄ olur).

pe₃ ≈ pe₄ (Giriş ile çıkış arasındaki yükseklik farkı önemlidir).

W_{torbin,ç} = m (h₃ - h₄) (J/kg)

= (1 kg) (3375,1 - h₄)

↳ Gerçek h₄ değeri hesaplanacaktır.

(6)

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 10 \text{ MPa} \\ T_3 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{KB tablosu}$$

$$h_3 = 3375,1 \text{ kJ/kg}$$

$$s_3 = 6,5995 \text{ kJ/kgK}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 10 \text{ kPa (verilmiş)} \\ S_{4,s} = S_3 = 6,5995 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \text{Türbini ideal olarak alırsak}$$

entropi sabit kalır. $S_{4,s} = S_3$
 $\hookrightarrow s = \text{sabit, ideal}$

$$10 \text{ kPa için } \left. \begin{array}{l} S_{4,f} = 0,6492 \text{ kJ/kgK} \\ S_{4,g} = 8,1488 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \text{Tablodan alınır}$$

$$S_{4,f} < S_{4,s} < S_{4,g} \rightarrow \text{Islak buhar bölgesi (IB)}$$

$$S_{4,s} = S_{4,f} + X_{4s} S_{4,g}$$

$$6,5995 = 0,6492 + X_{4s} (8,1488 - 0,6492)$$

$$\underline{\underline{X_{4s} = 0,7934}}$$

$$h_{4,s} = h_{f,4} + X_{4s} h_{g,4}$$

$$= (191,81) + (0,7934) (2392,1)$$

$$= \underline{\underline{2089,7 \text{ kJ/kg}}}$$

Türbin izantropik verimi 0,85 olarak verilmiş.

Türbin için izantropik verim eşitliği \nearrow Gerçek

$$\eta_{T, \text{izan.}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4,s}} \rightarrow 0,85 = \frac{3375,1 - h_4}{3375,1 - 2089,7}$$

$$h_4 = h_{4,g} = \underline{\underline{2282,5 \text{ kJ/kg}}}$$

Gerçek kuru buhar derecesi hesabı:

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 10 \text{ kPa} \\ h_4 = 2282,5 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} h_{4,f} = 191,81 \text{ kJ/kg} \\ h_{4,g} = 2583,9 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \text{Tablodan}$$

(7)

$$h_4 = h_{4f} + X_{4,g} h_{4,f,g}$$

$$2282,5 = 191,81 + X_{4,g} (2392,1)$$

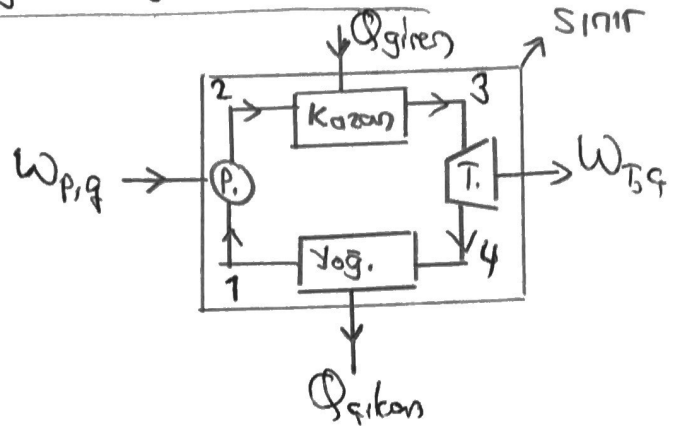
$$\underline{X_{4,g} = 0,874} \quad (\text{Turbinden çıkan buharın gerçak kumulak derecesi})$$

Genel birinci yasa (enerji dengesi) analizi:

$$E_g - E_f = \Delta E_s$$

\swarrow \searrow
 Φ_{gires} Φ_{fikan}
 $W_{p,g}$ $W_{T,f}$

"0" kontrolain



Dikkat: Yagusturucu için yapılan enerji analizi sonucu;

$$\Phi_{fikan} = m (h_4 - h_1) \quad (\text{kJ}) \quad \text{olarak bulunun} \quad (\text{Karbona benzer şekilde})$$

$$= (1 \text{ kg}) (2282,5 - 191,81) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$= \underline{\underline{2090,69 \text{ kJ/kg}}}$$

$$\Phi_{gires} - \Phi_{fikan} + W_{p,g} - W_{T,f} = 0$$

$$\underbrace{\Phi_{gires} - \Phi_{fikan}}_{\Phi_{net,gires}} = \underbrace{W_{T,f} - W_{p,g}}_{W_{net,fikan}} \quad (J)$$

$$W_{net,fikan} = W_{T,f} - W_{p,g} = \left(\frac{3375,1}{h_3} - \frac{2282,5}{h_4} \right) - \left(\frac{203,68}{h_2} - \frac{191,81}{h_1} \right)$$

$$= \underline{\underline{1080,73 \text{ kJ/kg}}}$$

$$W_{net,fikan} = \Phi_{gires} - \Phi_{fikan} = (3171,4 - 2090,69)$$

$$= \underline{\underline{1080,71 \text{ kJ/kg}}}$$

Genirinin verimi:

$$\eta_{\text{ısıt}} = \frac{W_{\text{net, ısıt}}}{Q_{\text{gires}}} = \frac{1080,71 \text{ kJ/kg}}{3171,4 \text{ kJ/kg}} = 0,3408$$

0,3408
0,34,1

Buhar debisi hesabı:

$$\dot{W}_{\text{net, ısıt}} = 210000 \text{ kJ/s (verilmiştir)}$$

$$W_{\text{net, ısıt}} = 1080,71 \text{ kJ/kg (hesaplandı)}$$

Not: Birim kütle için hesap yapıldığından dolayı birimleri J/kg olarak yazmak daha doğru olacaktır.

$$\frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \text{kW} \longrightarrow \text{kW} = \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

↳ kütleli debi

$$\dot{W}_{\text{net, ısıt}} = W_{\text{net, ısıt}} \cdot \dot{m}$$

$$210000 \text{ kW} = (1080,71 \text{ kJ/kg}) \cdot \dot{m}$$

$$\dot{m} = 194,32 \text{ kg/s}$$

