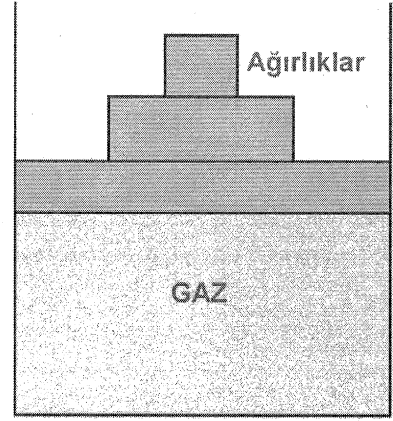


**SORU:** Şekil ile verildiği gibi, dikey bir piston-silindir düzeneği içinde **100 kPa** basınçta herhangi bir gaz vardır. Pistonun kütlesi **10 kg** ve çapı **12 cm** değerindedir. (a) Yerel atmosfer basıncını [kPa] olarak bulunuz. (b) Silindir içindeki gazın basıncı iki katına çıkarmak için piston üzerine koyulması gereken ağırlıkların toplam kütlelerini [kg] olarak belirleyiniz. (Yerçekimi ivmesi:  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).



**ÇÖZÜM:** Sistem  $\rightarrow$  Gaz

Piston-silindir düzeneği  $\rightarrow$  Sabit basınç problemi

Dikey piston-silindir düzeneği  $\rightarrow$  Pistonun oluşturduğu basınç dikkate alınacaktır.

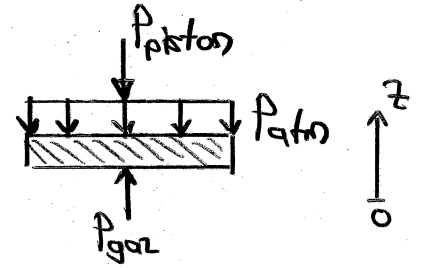
Gaz basıncı  $\rightarrow P_{\text{gaz}} = 100 \text{ kPa}$

Piston kütlesi  $\rightarrow m_p = 10 \text{ kg}$

Piston çapı  $\rightarrow D_p = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$

a) Yerel atmosferik basıncın belirlenmesi (Deniz seviyesinde atmosfer basıncı  $101325 \text{ Pa}$  değerindedir. Deniz seviyesinden uzaklaşıldıkça atmosfer basıncı değişir. Bulunduğu konuma göre yerel atmosfer basıncı adını alır. Deniz seviyesinden yükseldikçe değeri düşer).

Piston için serbest cisim diyagramı:



Denge durumunda  $\sum F_z = 0 \text{ N}$  alınır.

$$F = PA \text{ ise, } P = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} \text{ olur.}$$

$$P_{\text{piston}} + P_{\text{atm}} - P_{\text{gaz}} = 0 \quad (Pa)$$

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{gaz}} - P_{\text{piston}} = P_{\text{gaz}} + \frac{m_p \cdot g}{A_p}$$

$$A_p = \frac{\pi D_p^2}{4} \quad (\text{m}^2)$$

$$P_{\text{atm}} = (100000 \text{ Pa}) + \frac{(10 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2)}{\pi(0,12 \text{ m})^2/4}$$

$$P_{\text{atm}} = 91326,056 \text{ Pa} = \underline{\underline{91,33 \text{ kPa}}} \quad (\text{Yerel atm. basıncı})$$

$$b) P_{\text{gaz}} = 2 \times 100 \text{ kPa} = 200 \text{ kPa} \text{ o/ması için } m_{\text{ek}} = ?$$

$$P_{\text{piston}} + P_{\text{atm}} - P_{\text{gaz}} = 0 \text{ Pa ise}$$

$$P_{\text{piston}} = P_{\text{gaz}} - P_{\text{atm}}$$

$$\frac{(10 \text{ kg} + m_{\text{ek}})(9,81 \text{ m/s}^2)}{\pi(0,12 \text{ m})^2/4} = (200000 \text{ Pa}) - (91326,056 \text{ Pa})$$

$$10 \text{ kg} + m_{\text{ek}} = 125,29 \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{m_{\text{ek}} = 115,29 \text{ kg}}}$$

**SORU:** Bir hidroelektrik santralında türbin-jeneratör çifti kullanılarak elektrik enerjisi üretilecektir. Santralda  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki su,  $65\text{ m}$  yükseklikten  $70\text{ m}^3/\text{s}$  debi ile türbine girmektedir. Hidroelektrik santralinin verimi  $\%85$  değerindedir. Borulardaki sürtünme kayıpları göz ardı edildiğinde, bu tesisin elektrik gücü çıkışı değerini [MW] olarak hesaplayınız.

**ÇÖZÜM:**

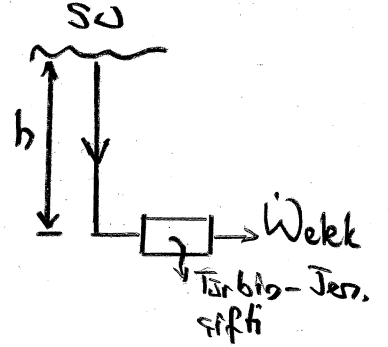
Su  $\rightarrow 20^{\circ}\text{C}$

Yükseklik  $\rightarrow h = 65\text{ m}$

Debi  $\rightarrow \dot{V} = 70\text{ m}^3/\text{s}$  (Hacimsel debi)

Santral verimi  $\rightarrow \eta_{t-j} = \%85 = 0,85$

Yerçekimi ivmesi  $\rightarrow g = 9,81\text{ m/s}^2$



Mekanik enerji:  $\dot{E}_{mek} = \dot{m}gz + \dot{m}\frac{V^2}{2} + \dot{m}\frac{p}{\rho}$

$\downarrow$  Pot. en. " $\neq 0$ " Yükseklik değişimi var.  
 $\downarrow$  Kin. enerji " $0$ " (Hız değişimi yok)  
 $\rightarrow$  Akış enerjisi " $0$ " (Basınç her noktada aynı), (Basınç değişimi yok)

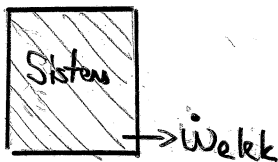
$z = |h_2 - h_1| = h = 65\text{ m}$   $\rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ 'deki yoğunluk

Kütleli debi,  $\dot{m} = \rho \dot{V} = (998\text{ kg/m}^3)(70\text{ m}^3/\text{s}) = 69860\text{ kg/s}$

$\dot{E}_{mek} = (69860\text{ kg/s})(9,81\text{ m/s}^2)(65\text{ m})$   
 $= 44546229\text{ W}$   
 $= \underline{\underline{44,55\text{ MW}}}$  (ideal mekanik enerji)

$\dot{W}_{elek} = (\eta_{t-j})(\dot{E}_{mek})$   
 $= (0,85)(44,55\text{ MW})$   
 $= \underline{\underline{37,94\text{ MW}}}$  (Elek. güç çıkışı)

2.YOL:



Enerji dengesi

$\dot{E}_{gires} - \dot{E}_{cikis} = \Delta \dot{E}_{sistem} (\text{W})$

$\downarrow$  yok  $\downarrow$   $\dot{W}_{elek, ideal}$   $\downarrow$   $\underbrace{\Delta \dot{U}}_{\cong 0} + \underbrace{\Delta \dot{KE}}_{\text{yok}} + \underbrace{\Delta \dot{PE}}_{\dot{m}g(h_1 - h_2)}$   
 $\dot{W}_{elek, ideal} = \dot{m}gz$

**SORU:** Kapalı bir kaptaki toplam **1.1 kg** kütledeki su, doymuş sıvı ve doymuş buhar karışımı halinde bulunmaktadır. Karışım **5 bar** basınçta denge halindedir. Karışımındaki sıvı ve buharın eşit hacimlerde olması durumunda, kap içindeki suyun entalpisini [kJ] olarak hesaplayınız.

**ÇÖZÜM:** Kapalı kap  $\rightarrow$  Sabit hacim problemi

Sistem  $\rightarrow$  Su

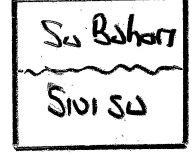
Su kütlesi  $\rightarrow m_{su} = 1,1 \text{ kg} = m = m_f + m_g$

Faz durumu  $\rightarrow$  DS-DB karışımı (Isık buhar)

Sistem basıncı  $\rightarrow p_{su} = 5 \text{ bar} = 500 \text{ kPa}$

Karışımındaki hacimler  $\rightarrow V_{sıvı} = V_{buhar} \text{ (m}^3\text{)}$

$V_f = V_g \text{ (m}^3\text{)}$



500 kPa için Tablo A5  $\rightarrow$   $v_f = 0,001093 \text{ m}^3/\text{kg}$  } Özgöl hacimler  
 Doyma sıcaklığı:  $T_d = 151,83^\circ\text{C}$   $v_g = 0,37483 \text{ m}^3/\text{kg}$  } (DS ve DB noktaları için)

$h_f = 640,09 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_g = 2748,1 \text{ kJ/kg}$  (Özgöl entalpiler)  
 $h_{fg} = 2108 \text{ kJ/kg}$

Kuruluk derecesi:  $x = \frac{m_g}{m_f + m_g}$  , Hacim,  $V = m v$   $(V = V_f + V_g)$   
 $\text{m}^3 \leftarrow \text{m}^3/\text{kg} \rightarrow \text{m}^3/\text{kg}$

Sıvı faz için  $V_f = m_f v_f \text{ (m}^3\text{)}$  }  
 Gaz fazı için  $V_g = m_g v_g \text{ (m}^3\text{)}$  }  $V_f = V_g$  ise

$m_f v_f = m_g v_g \rightarrow$  Her iki tarafı  $(m_f + m_g)$ 'ye bölümler:

$$\frac{m_f}{m_f + m_g} v_f = \frac{m_g}{m_f + m_g} v_g \Rightarrow (1-x) v_f = x v_g$$

$$\frac{x}{1-x} = \frac{v_f}{v_g} = \frac{0,001093 \text{ m}^3/\text{kg}}{0,37483 \text{ m}^3/\text{kg}} = 2,915988581 \cdot 10^{-3}$$

$$x = \frac{2,915988581 \cdot 10^{-3}}{1 + 2,915988581 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \underline{\underline{x = 2,90751 \cdot 10^{-3}}}$$

$$h = h_f + x h_{fg} \rightarrow h = (640,09 \text{ kJ/kg}) + (2,90751 \cdot 10^{-3}) (2108 \text{ kJ/kg})$$

$$h = 646,22 \text{ kJ/kg} \rightarrow H = m h \rightarrow H = (1,1 \text{ kg}) (646,22 \text{ kJ/kg})$$

$$H = 710,84 \text{ kJ}$$

**SORU:** 3 m<sup>3</sup> hacmindeki rijit bir tank, 500 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta nitrojen (azot) gazı içermektedir. Tanktaki nitrojene ısı aktarılıyor ve nitrojen basıncı 800 kPa değerine yükseliyor. Bu süreçte yapılan sınır işini [kJ] olarak hesaplayınız.

**ÇÖZÜM:**

Rijit tank → Sabit hacim problemi

Tank hacmi →  $V = 3 \text{ m}^3$

Hal 1 →  $P_1 = 500 \text{ kPa}$

$T_1 = 300 \text{ K}$

Hal 2 →  $P_2 = 800 \text{ kPa}$

$$\text{Sınır işi } W_{\text{sınır}} = \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

$$P = f(T, V)$$

Azot → ideal gaz

$$PV = mRT$$

$P_a \left\{ \begin{array}{l} \downarrow \\ \text{Pa} \end{array} \right.$   $m^3 \left\{ \begin{array}{l} \downarrow \\ \text{kg} \end{array} \right.$   $R \left\{ \begin{array}{l} \downarrow \\ \text{(J/kgK)} \end{array} \right.$   $T \left\{ \begin{array}{l} \downarrow \\ \text{(K)} \end{array} \right.$

$$P = \frac{mRT}{V}$$

$P \rightarrow$  sabit deđil

$$W_{\text{sınır}} = \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

Hacim deđiřimini yok

$$dV \approx \Delta V = 0 \text{ m}^3$$

$$\underline{\underline{W_{\text{sınır}} = 0 \text{ kJ}}}$$

**SORU:** 200°C sıcaklıkta 1 m<sup>3</sup> doymuş sıvı su, kalitesi (kuruluk derecesi) %80 olana kadar kapalı bir sistemde (piston-silindir düzenğinde) izotermal olarak (sabit sıcaklıkta) genişlemektedir. Bu işlemin ürettiği toplam işi [kJ] olarak belirleyiniz. P (kPa)-v (m<sup>3</sup>/kg) diyagramını çiziniz.

**ÇÖZÜM:**

Kapalı sistem → Su içeriyor

Piston-silindir düzeni → Sabit basınç problemi

İzotermal genişleme → Sabit sıcaklıkta hacim artışı

$$\text{Hal 1} \rightarrow T_1 = 200^\circ\text{C}$$

$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$

$$\text{D.S. } (x_1 = 0)$$

$$\text{Hal 2} \rightarrow x_2 = \%80 = 0,80$$

Piston-silindir düzeni hareketli sınırları içerir ve hareketli sınırdan genişleme işleminde iş çıkışı olur. (Sınır işi çıkışı olur).

$$W_{\text{sınır}} = \int_1^2 P dV \text{ (J)} \quad (\text{Basınç sabit})$$
$$= P_1 \int_1^2 dV = P_1 \cdot m \cdot (v_2 - v_1)$$

$$\text{DS için Tablo A4} \rightarrow T_1 = 200^\circ\text{C} \Rightarrow v_1 = 0,001157 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_1 = P_d = 1554,9 \text{ kPa}$$

$$V_1 = m v_1 \Rightarrow 1 \text{ m}^3 = m (0,001157 \text{ m}^3/\text{kg})$$

$$m = 864,3 \text{ kg}$$

$$x_2 = 0,80 \Rightarrow T_2 = 200^\circ\text{C} \quad (\text{izotermal işlem})$$

$$v_{2,f} = v_1 = 0,001157 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{2,g} = 0,12721 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = v_{2,f} + x_2 v_{2,g}$$

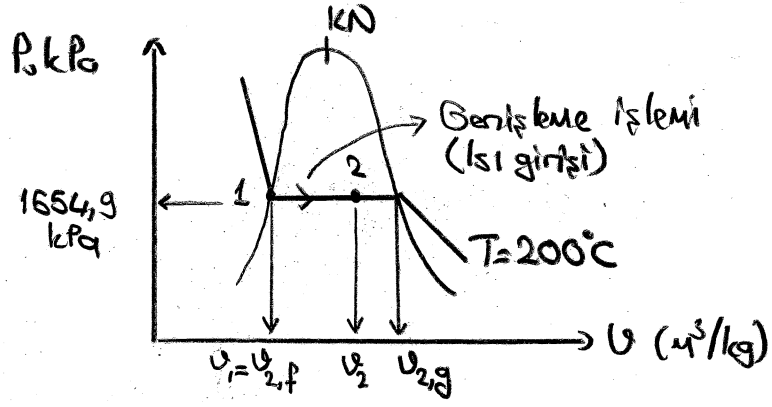
$$= (0,001157 \text{ m}^3/\text{kg}) + (0,80)(0,12721 - 0,001157) \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$= 0,1019994 \text{ m}^3/\text{kg}$$

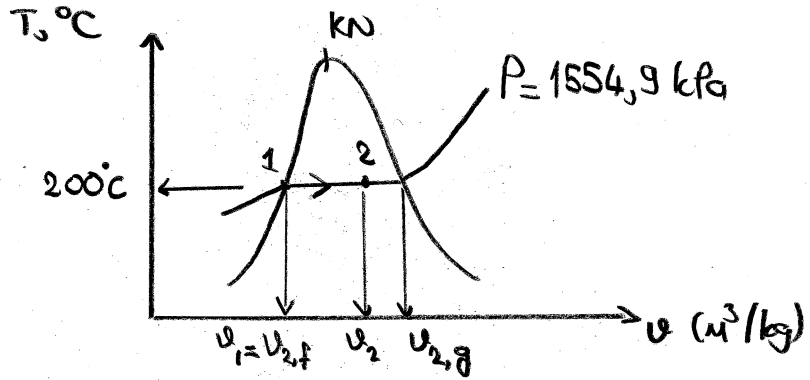
$$W_{\text{sınır}} = (1554,9 \text{ kPa})(864,3 \text{ kg})(0,1019994 - 0,001157) \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$= \underline{\underline{135522,1084 \text{ kJ}}}$$

P-v diyagramı:



T-v diyagramı:



Önemli noktalar:

- 1 - Kuvvet derecesi = kalite (ikisinden biri yeterlidir)  
= buharın kalitesi
- 2 - Sonunda "piston-silindir düzeninde" bilgisi verilirse de olurdu. Çünkü kapalı sistemlerde genişleme ya da sıkıştırma işlemi (hacim artışı veya hacim azalışı durumu) ancak piston-silindir düzeni ile olabilir.  
Kapalı sistemde genişleme demek → piston-silindir düzeninde hacim artışı demektir.
- 3 - İzotermal işlem = sabit sıcaklık işlemi (ikisinden biri yeterlidir).
- 4 - İşlemin sınırları iş, sınır işi olmaktadır. Sonunda sınır işini belirleyin yerine kısaca işi belirleyin denilebilir.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR:

**“Thermodynamics: An Engineering Approach”**, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

**“Termodinamiğin Temelleri”**, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

**“Principles of Engineering Thermodynamics”**, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

**“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”**, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

**“Engineering Thermodynamics”**, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo1/termo1.html> sayfasında verilen “Termodinamik I” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunularından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

*“Termodinamik I” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.*

(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).