

Bölüm 5 KONTROL HACİMLERİ İÇİN KÜTLE VE ENERJİ ÇÖZÜMLEMESİ

Amaçlar

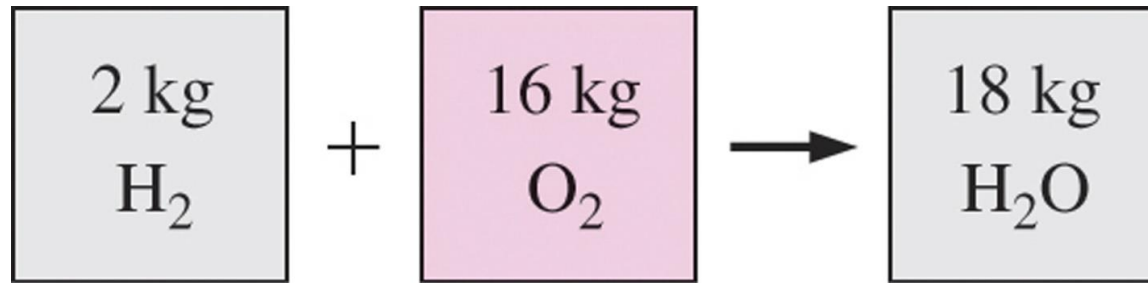
- Kütlenin korunumu ilkesi geliştirilecektir.
- Kütlenin korunumu ilkesi sürekli ve sürekli olmayan akış sistemlerini içeren çeşitli sistemlere uygulanacaktır.
- Termodinamiğin birinci kanununu enerjinin korunumu ilkesi olarak açık sistemlere ve kontrol hacimlerine uygulanacaktır.
- Akışkan akımı ile kontrol yüzeyinden taşınan akışkanın iç enerji, akış işi, kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamı olan enerji tanımlanacak ve iç enerji ve akış işi bileşimlerinin entalpi özeliği ile ilgilendirilecektir.
- Yaygın olarak kullanılan lüleler, kompresörler, türbinler, kısılma vanaları, karıştırıcılar ve ısı değiştiricileri gibi sürekli akış sistem problemleri çözülecektir.
- Enerjinin korunumu sürekli olmayan akış sistemlerine uygulanacak ve özellikle sıkça karşılaşılan basınçlı kapların doldurulması ve boşaltılması gibi düzgün akışlı açık sistem modeli üzerinde durulacaktır.

KÜTLENİN KORUNUMU

Kütlenin korunumu: Kütle de enerji gibi korunum yasalarına uyar; başka bir deyişle, var veya yok edilemez.

Kapalı sistemlerde: Sistemin kütlesi hal değişimi sırasında sabit kalır.

Kontrol hacmi: Sınırlarından kütle geçişi olduğu için, kontrol hacmine giren ve çıkan kütlenin hesabını yapmak gerekir.



Kütle kimyasal reaksiyonlarda bile korunur.

Kütle m ve enerji E bir diğerine dönüşebilir

$$E = mc^2$$

Burada c ışık hızını göstermektedir ve $c = 2.9979 \times 10^8$ dir.
Bir sistemin enerjisi değiştiği zaman kütlesini de değiştirecektir.

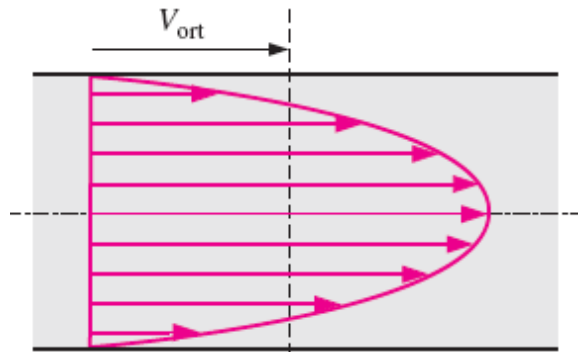
Kütle Debisi ve Hacimsel Debi

$$\delta \dot{m} = \rho V_n dA_c$$

$$\dot{m} = \int_{A_c} \delta \dot{m} = \int_{A_c} \rho V_n dA_c$$

$$\dot{m} = \rho V_{\text{ort}} A_c \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{\nu} \quad \text{Kütle debisi}$$



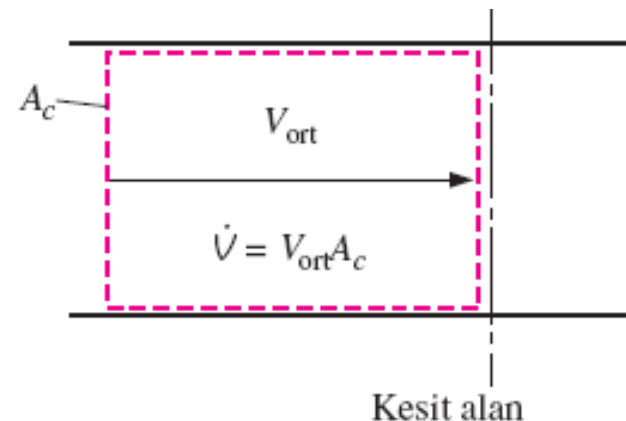
Boru içindeki ortalama hız V_{ort} kesit alanı boyunca olan hızın ortalamasıdır.

$$V_{\text{ort}} = \frac{1}{A_c} \int_{A_c} V_n dA_c$$

Ortalama hızın tanımlanması

Hacimsel debi

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n dA_c = V_{\text{ort}} A_c = V A_c \quad (\text{m}^3/\text{s})$$



Hacimsel debi, kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmidir.

Kütle Debisi ve Hacimsel Debi

Kütlenin Korunumu İlkesi

Bir kontrol hacmi için kütlenin korunumu ilkesi: Bir kontrol hacmine veya kontrol hacminden Δt zaman aralığında olan kütle geçişi, aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki toplam kütledeki değişime (azalma veya artma) eşittir.

$$\left(\begin{array}{c} KH'ne \text{ giren} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} KH' \text{ den çıkan} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} KH \text{ içinde toplam} \\ \text{kütle değişimi} \end{array} \right)$$

$$m_g - m_{\varsigma} = \Delta m_{KH} \quad (\text{kg})$$

$$\dot{m}_g - \dot{m}_{\varsigma} = dm_{KH}/dt \quad (\text{kg/s})$$



Kütlenin korunumu

$$\frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV + \int_{KY} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA = 0$$

Kütlenin korunumu ilkesi

$$\frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV = \sum_g \dot{m} - \sum_{\varsigma} \dot{m}$$

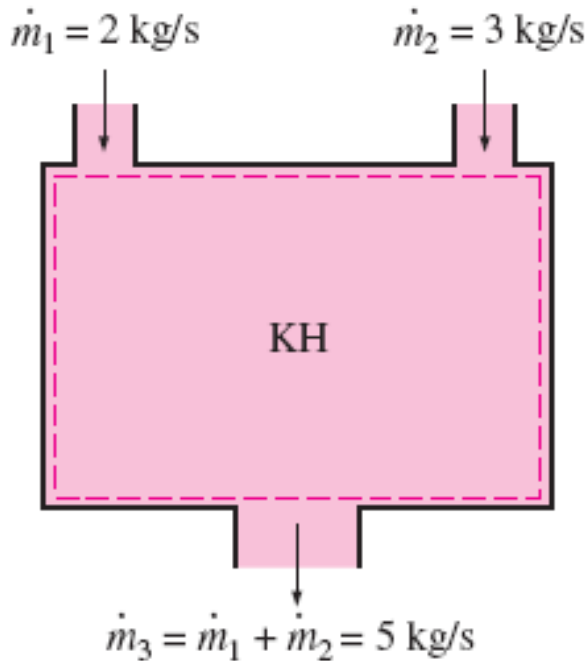
veya
$$\frac{dm_{KH}}{dt} = \sum_g \dot{m} - \sum_{\varsigma} \dot{m}$$

Sıradan bir banyo küveti için kütlenin korunumu ilkesi.

Sürekli Akışlı Sistemlerde Kütle Dengesi

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez ($m_{KH} = \text{sabit}$).

Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca **kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir**



Sürekli akışlı açık sistemlerde, bir zaman süresince sisteme giren veya çıkan kütleden çok, *kütle debisi* $\dot{m}$ önem kazanır.

$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\xi} \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

Çok girişli ve çıkışlı

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Tek akışlı

-Lüle, -türbin, -kompresör, -pompa gibi mühendislik uygulamalarının birçoğunda, sadece bir akış, bu nedenle de bir giriş ve bir çıkış söz konusudur.

İki giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı sistem için kütle korunumu ilkesi

Özel Durum: Sıkıştırılamaz Akışlar

Kütlenin korunumu bağıntısı sıkıştırılamaz akışkanlarda, genellikle sıvılarda basitleştirilebilir.

Sürekli, sıkıştırılamaz akış

$$\sum_g \dot{V} = \sum_s \dot{V} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Sürekli, sıkıştırılamaz akış (tek akışlı)

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2$$

“Hacmin korunumu ilkesi” gibi bir şey olamaz.

Bununla birlikte, sıvıların sürekli akışları için, hacimsel debi, kütle debisi gibi sabit kalabilir çünkü sıvılar genelde sıkıştırılamaz maddelerdir.

Sürekli akışlı açık bir sistemde giren ve çıkan hacimsel debilerin eşit olması gerekmez.



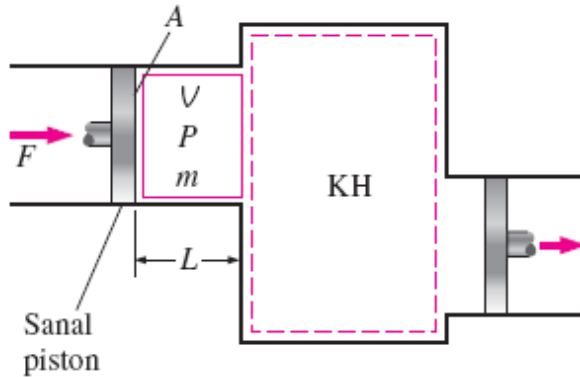
AKIŞ İŞİ VE AKIŞKANIN ENERJİSİ

Akış işi veya akış enerjisi: İş veya Enerji kütlenin kontrol hacmine girebilmesi veya kontrol hacminden çıkabilmesi için gereklidir. Bu iş kontrol hacminde akış olması için gereklidir.

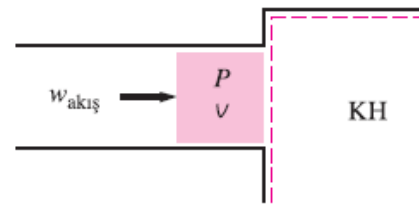
$$F = PA$$

$$W_{\text{akış}} = FL = PAL = PV \quad (\text{kJ})$$

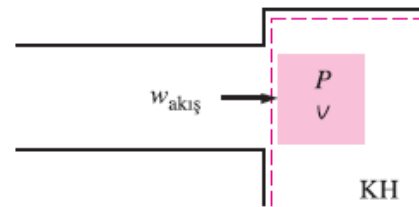
$$w_{\text{akış}} = PV \quad (\text{kJ/kg})$$



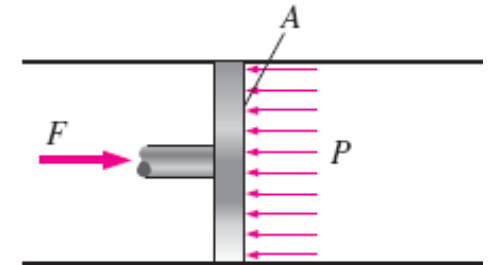
Akış işinin gösterimi.



(a) Girişten önce



(b) Girişten sonra



İvme olmaksızın pistonun akışkana uyguladığı kuvvet akışkanın piston üzerine etkidiği kuvvete eşittir.

Akışkanın Toplam Enerjisi

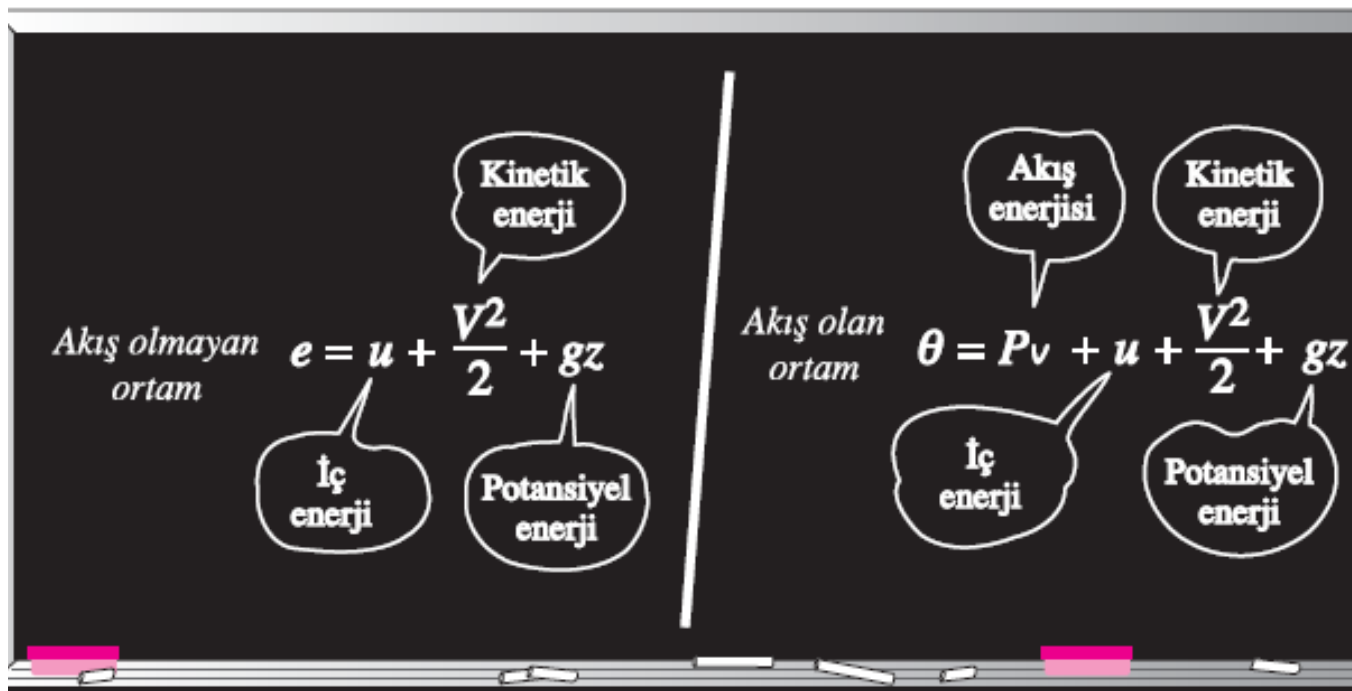
$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\theta = Pv + e = Pv + (u + ke + pe) \quad h = u + Pv$$

Akış enerjisi otomatik olarak entalpi tarafından kapsanır. Aslında, bu entalpinin özelliklerini tanımlamak için başlıca nedendir.

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

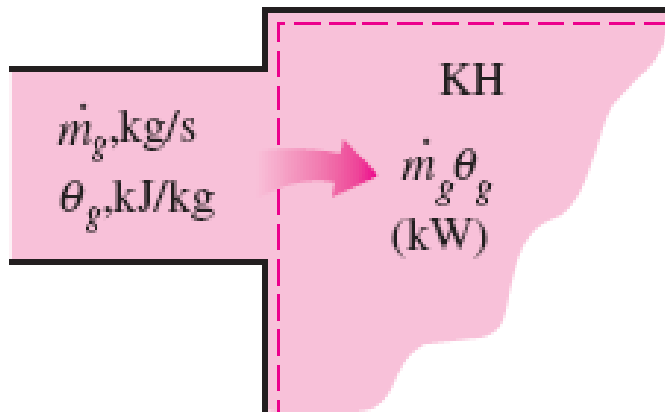
Akışın olmadığı bir ortamda toplam enerji üç terimden, akış olan bir ortamda ise dört terimden oluşur.



Kütle ile Enerji Aktarımı

Aktarılan Enerji Miktarı: $E_{\text{kütle}} = m\theta = m\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) \quad (\text{kJ})$

Aktarılan Enerji Oranı $\dot{E}_{\text{kütle}} = \dot{m}\theta = \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) \quad (\text{kW})$



Akışkan kontrol hacminden geçerken kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim göz ardı edilebilir.

$$E_{\text{mass}} = mh \quad \dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m}h$$

Kütlenin özellikleri her bir giriş yada çıkışta giriş kesiti üzerindeki gibi zamanla değişir.

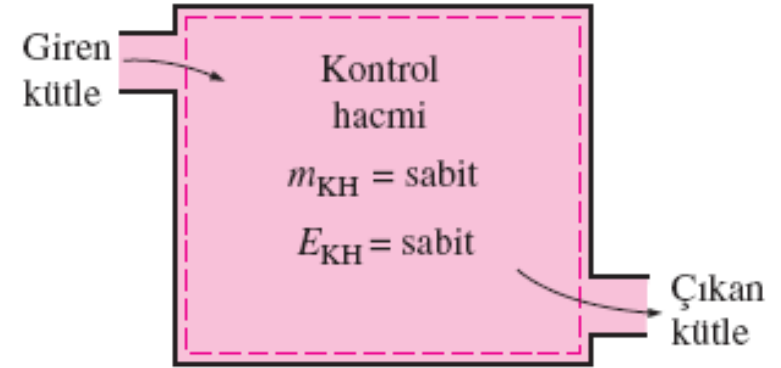
$$E_{g,\text{kütle}} = \int_{m_g} \theta_g \delta m_g = \int_{m_g} \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \delta m_g$$

$m_g \theta_g$ terimi kontrol hacmine birim zamanda kütle ile aktarılan enerjiyi gösterir.

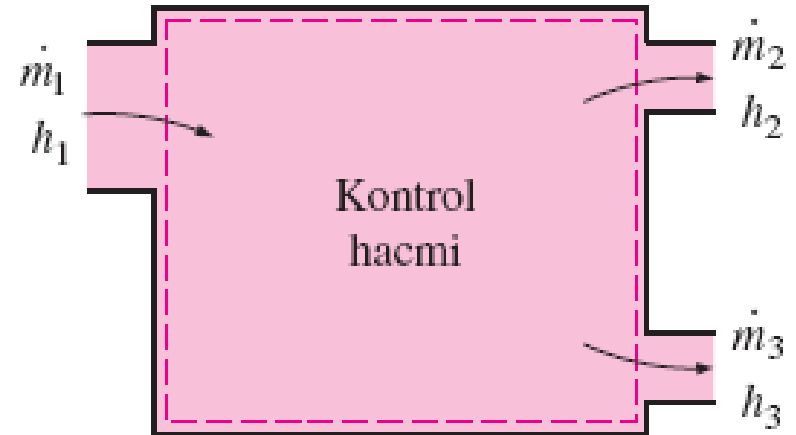
SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZLERİ



Güç santralleri gibi çoğu mühendislik sistemleri sürekli şartlar altında çalışırlar.



Sürekli akışlı açık sistemde özellikler kontrol hacmi içinde değişebilir, fakat zamanla değişmezler.



Sürekli akış koşullarında, kontrol hacminin kütlesi ve enerjisi zaman içinde değişmez.

Sürekli akışlı sistemler için Kütle ve Enerji dengesi

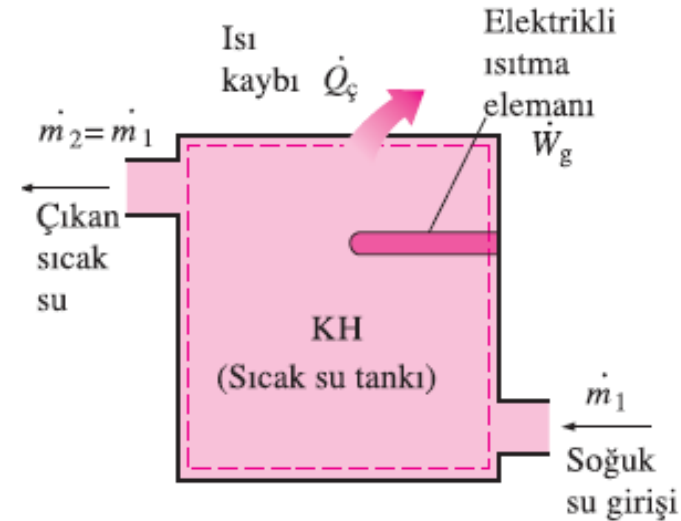
Kütle dengesi

$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\varphi} \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Sürekli akışlı
bir su
ısıtıcısı



Enerji dengesi

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{sistem}}}{dt}}_{\text{Birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} \xrightarrow{0 \text{ (sürekli)}} 0$$

Enerjinin Korunumu:

$$\underbrace{\dot{E}_g}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile KH'ne giren enerji}} = \underbrace{\dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile KH'den çıkan enerji}} \quad (\text{kW})$$

$$\underbrace{\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her giriş için}} = \underbrace{\dot{Q}_{\varphi} + \dot{W}_{\varphi} + \sum_{\varphi} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her çıkış için}}$$

Dönüşüm işaretlerinin enerji denkliği (ısı girişi ve iş çıkışı pozitifdir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{\text{ç}} \underbrace{\dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her çıkış için}} - \sum_{\text{g}} \underbrace{\dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her giriş için}}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

$$q - w = h_2 - h_1$$

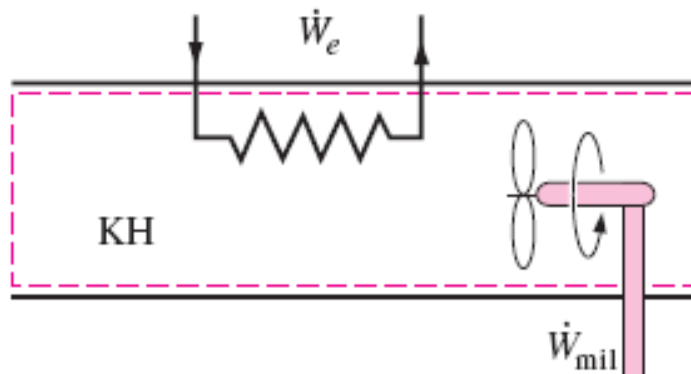
Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri önemsiz olduğunda

$$q = \dot{Q}/\dot{m}$$

$$w = \dot{W}/\dot{m}$$

$$\frac{\text{J}}{\text{kg}} \equiv \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}} \equiv \left(\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \frac{\text{m}}{\text{kg}} \equiv \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

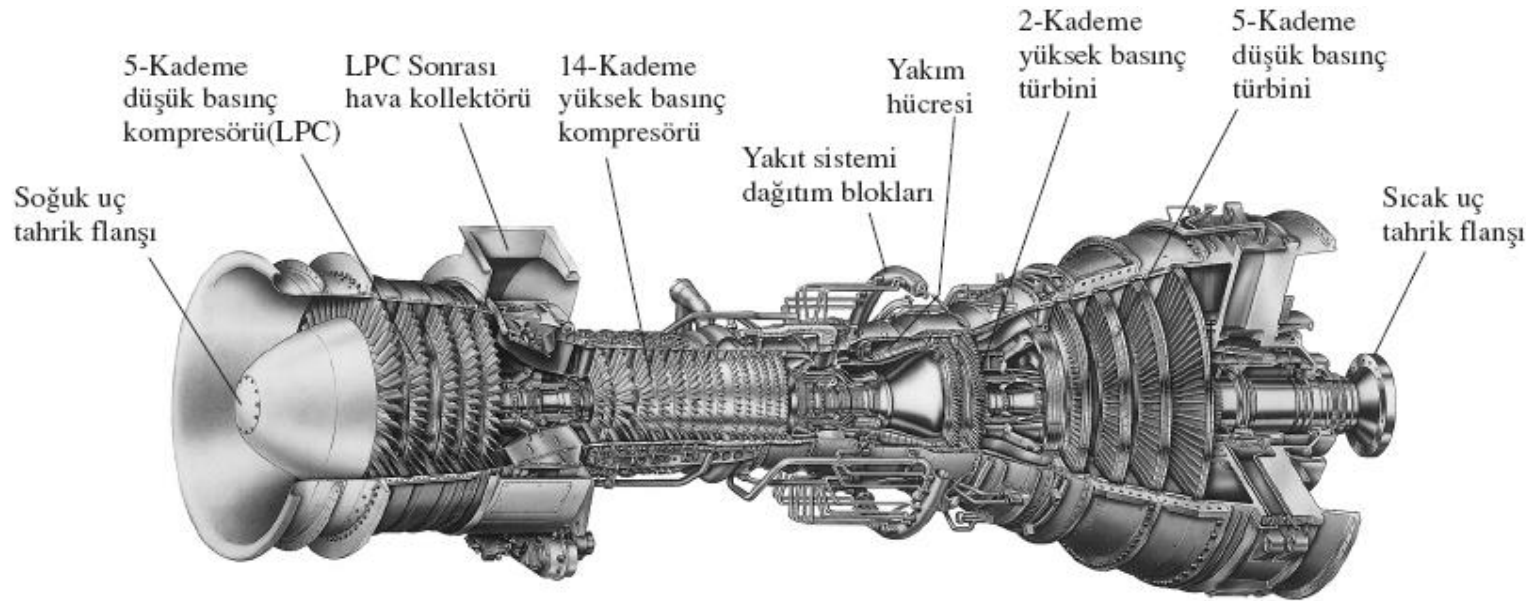
Bazı enerji birimlerinin eşitliği



Sürekli akışın olduğu basit sıkıştırılabilir bir açık sistemde sadece mil işi ve elektrik işi gerçekleşebilir.

BAZI SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLER

Mühendislik sistemlerinin birçoğu, aynı giriş ve çıkış koşullarında uzun süreler çalışırlar. Örneğin bir güç santralinin türbin, kompresör, ısı değiştiricisi, pompa gibi elemanları, sistem bakıma alınmadan önce aylarca çalışabilir. Bu nedenle, bu sistemleri rahatlıkla sürekli akışlı açık sistemler olarak çözümleyebiliriz.

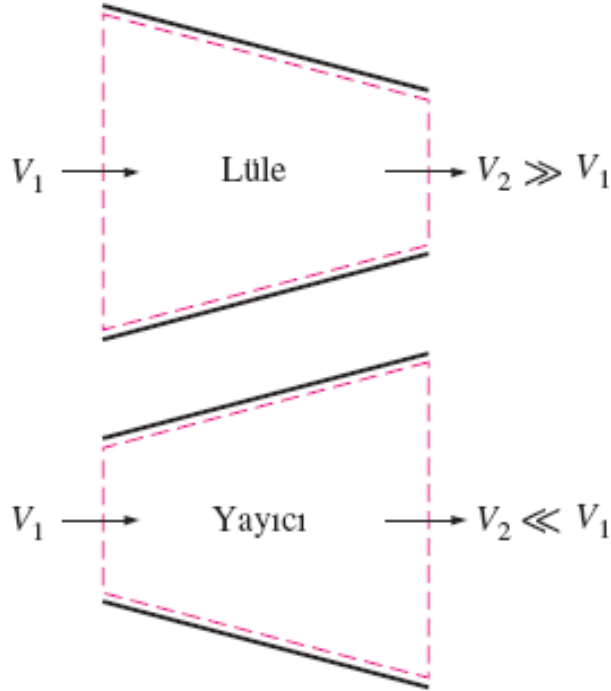


Yüksek hızlarda, akışkan hızındaki küçük bir değişim kinetik enerjide önemli değişikliklere yol açabilir.

V_1 m/s	V_2 m/s	Δke kJ/kg
0	45	1
50	67	1
100	110	1
200	205	1
500	502	1

Elektrik üretiminde kullanılan gelişmiş bir gaz türbini. Bu bir General Electric LM5000 türbinidir. 6,2 m boyunda, 12,5 ton ağırlığındadır ve buhar enjeksiyonuyla 3600 devirde 55,2 MW güç üretmektedir.

Lüleler ve Yayıcılar



Lüle ve yayıcılar akışkan hızında ve dolayısıyla kinetik enerjilerinde büyük değişimler yapmak üzere tasarlanırlar.

Lüleler ve yayıcılar jet motorlarında, roketlerde, uzay araçlarında ve hatta bahçe hortumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lüle, akışın hızını onun basıncını düşürerek artıran mekanik bir sistemdir.

Yayıcı, akışın basıncını onun hızını azaltarak artıran mekanik bir sistemdir.

Bir lülenin kesit alanı ses altı hızlar için akış yönünde küçülür, ses üstü hızlar için akış yönünde büyür. Yayıcılar için bunun tersi söz konusudur.

Bir lüle ve yayıcı için enerji dengesi:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varsigma$$
$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right)$$

$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, \text{ ve } \Delta p_e \cong 0)$$

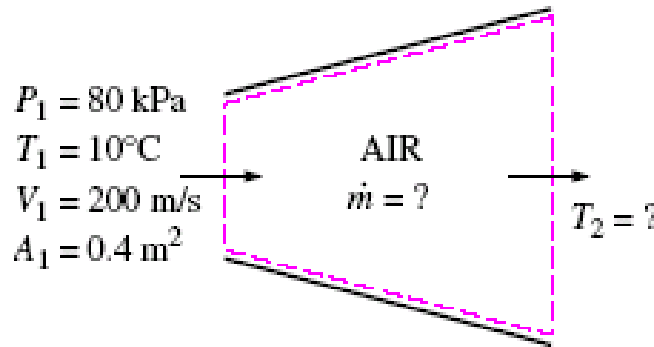
ÖRNEK

10 °C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesitinin alanı 0.4 m² 'dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür, Yayıcıda sürekli akış olduğunu göz önüne alarak, (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayın?

Çözüm

Yayıcının iç yüzeylerinin kapsadığı bölge sistem olarak seçilmiş olup, ele alınan sistem *kontrol hacmi* veya *açık sistemdir*. Kontrol hacmi içinde zamanla bir değişim gözlenmediğine göre *sürekli akışlı açık sistem* söz konusudur. Verilen koşullarda hava *mükemmel gaz* kabul edilebilir.

(a) Kütle debisini



$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K} (283 \text{ K})}{80 \text{ kPa}} = 1.015 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} V_1 A_1 = \frac{1}{1.015 \text{ m}^3/\text{kg}} (200 \text{ m/s}) (0.4 \text{ m}^2) = 78.8 \text{ kg/s}$$

ÖRNEK (devam)

10 °C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesitinin alanı 0.4 m² 'dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür, Yayıcıda sürekli akış olduğunu gözönüne alarak, (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayın?

(b) Yayıcıda iş ve ısı geçişi yoktur, ($w = 0$ $q = 0$). Ayrıca $\Delta pe = 0$ alınır. Bu durumda birim kütle için enerjinin korunumu ilkesi, bir giriş ve bir çıkış olduğu da göz önüne alınırsa,

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\overset{0 \text{ (steady)}}{\Delta \dot{E}_{system}}}_{\text{Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} = 0$$

$$\begin{aligned}\dot{E}_{in} &= \dot{E}_{out} \\ \dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) &= \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) \quad (\text{since } \dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, \text{ and } \Delta pe \cong 0) \\ h_2 &= h_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\end{aligned}$$

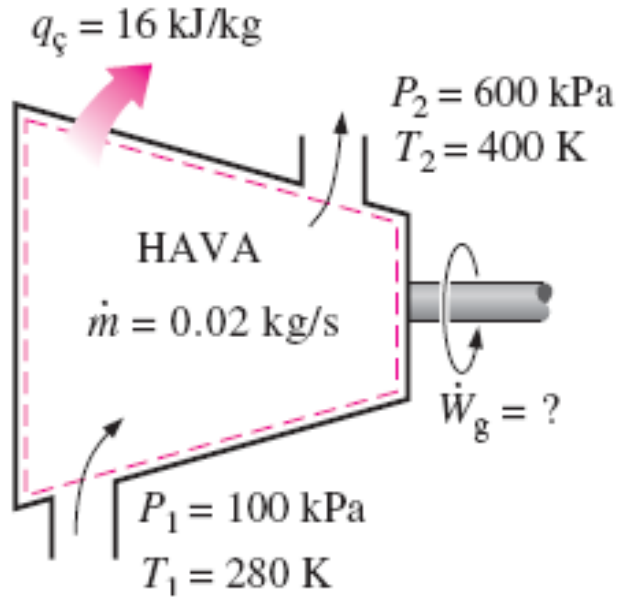
$$h_1 = h_{@ 283 \text{ K}} = 283.14 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}h_2 &= 283.14 \text{ kJ/kg} - \frac{0 - (200 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) \\ &= 303.14 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Tablo A-17'den bu entalpi değerine karşı gelen sıcaklık bulunur.

$$T_2 = 303 \text{ K}$$

Türbinler ve Kompresörler



Bu şekildeki kompresör için enerji dengesi:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_{\text{heat}}$$

$$\dot{W}_g + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{\text{heat}} + \dot{m}h_2$$

$$(\Delta ke = \Delta pe \cong 0)$$

Buhar, gaz veya hidroelektrik güç santrallerinde, elektrik jeneratörünü döndüren makine **türbindir**.

Akışkan türbinden geçerken mil üzerine yerleştirilmiş kanatçıklara karşı iş yapar. Bunun sonucu olarak mil döner ve türbin işi gerçekleşir.

Kompresörler, pompalar ve fanlar, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bu makinelere, dönen bir mil aracılığıyla dışarıdan güç aktarılır.

Bir **fan**, genelde gaz akışını sağlamak amacıyla kullanılır ve gazın basıncı önemli ölçüde artırır.

Bir **kompresör**, gazları yüksek basınçlara sıkıştırmada yeteneklidir.

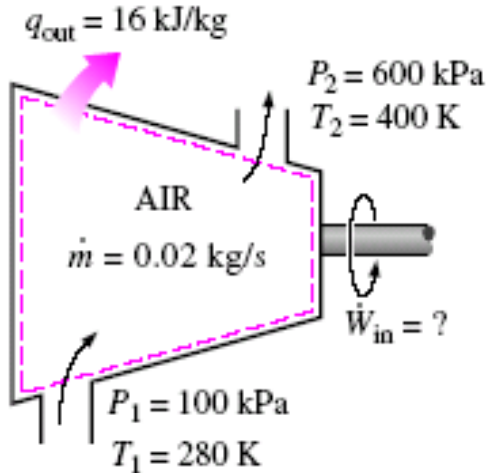
Pompalar, kompresörlere benzerler ancak gazlar yerine sıvıları sıkıştırmak ve sıvı akışını sağlamak için kullanılırlar.

ÖRNEK

100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava, sürekli akışlı açık bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın debisi 0,02 kg/s'dir ve sıkıştırma işlemi sırasında çevreye 16 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayınız?

Çözüm

Kompresörün sınırlarından kütle geçişi olmaktadır, bu nedenle kontrol hacmi içinde zamana göre bir değişim gözlenmediği için *sürekli akışlı açık sistem* çözümlemesi yapılacaktır. Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir.



$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\Delta \dot{E}_{system}^{0 \text{ (steady)}}}_{\text{Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} = 0$$

$$\begin{aligned}\dot{E}_{in} &= \dot{E}_{out} \\ \dot{W}_{in} + \dot{m}h_1 &= \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \quad (\text{since } \Delta ke = \Delta pe \cong 0) \\ \dot{W}_{in} &= \dot{m}q_{out} + \dot{m}(h_2 - h_1)\end{aligned}$$

Kompresöre verilmesi gerekli güç bu değeri kütle debisiyle çarparak hesaplanır:

$$h_1 = h_{@ 280 \text{ K}} = 280.13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{@ 400 \text{ K}} = 400.98 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}\dot{W}_{in} &= (0.02 \text{ kg/s})(16 \text{ kJ/kg}) + (0.02 \text{ kg/s})(400.98 - 280.13) \text{ kJ/kg} \\ &= \mathbf{2.74 \text{ kW}}\end{aligned}$$

ÖRNEK

Sürekli akışlı adyabatik bir türbinin ürettiği güç 5MW'tır.

a- Δh , Δke ve Δpe 'nin değerlerini hesaplayıp karşılaştırın.

b- Türbinden akan buharın birim kütlesi tarafından yapılan işi hesaplayın.

c- Buharın kütle debisini hesaplayın.

Çözüm

Kontrol hacmi içinde zamana göre bir değişim gözlenmediği için *sürekli akışlı açık sistem* çözümlenmesi yapılacaktır.

(a) Su buharı türbin girişinde kızgın buhardır, bu nedenle entalpisi kızgın buhar tablosundan belirlenir:

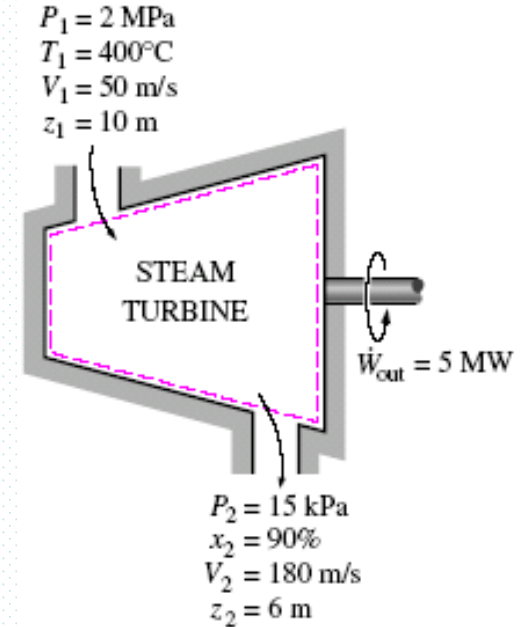
$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 2 \text{ MPa} \\ T_1 = 400^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_1 = 3248.4 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-6})$$

$$h_2 = h_f + x_2 h_{fg} = [225.94 + (0.9)(2372.3)] \text{ kJ/kg} = 2361.01 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (2361.01 - 3248.4) \text{ kJ/kg} = -887.39 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta ke = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{(180 \text{ m/s})^2 - (50 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 14.95 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta pe = g(z_2 - z_1) = (9.81 \text{ m/s}^2)[(6 - 10) \text{ m}] \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = -0.04 \text{ kJ/kg}$$



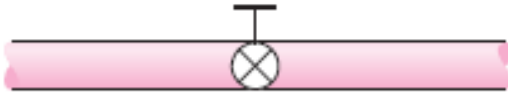
(b) Birim kütle için yapılan iş, türbinin adyabatik olduğunu gözönüne alınırsa,

$$w_{\text{out}} = - \left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] = -(\Delta h + \Delta \text{ke} + \Delta \text{pe})$$
$$= -[-887.39 + 14.95 - 0.04] \text{ kJ/kg} = \mathbf{872.48 \text{ kJ/kg}}$$

(c) 5 MW güç üretimi için gerekli kütle debisi ise,

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{\text{out}}}{w_{\text{out}}} = \frac{5000 \text{ kJ/s}}{872.48 \text{ kJ/kg}} = \mathbf{5.73 \text{ kg/s}}$$

Kısılma Vanaları



(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru

Kısılma vanaları, akış kesitini herhangi bir şekilde azaltarak akışkanın basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır.

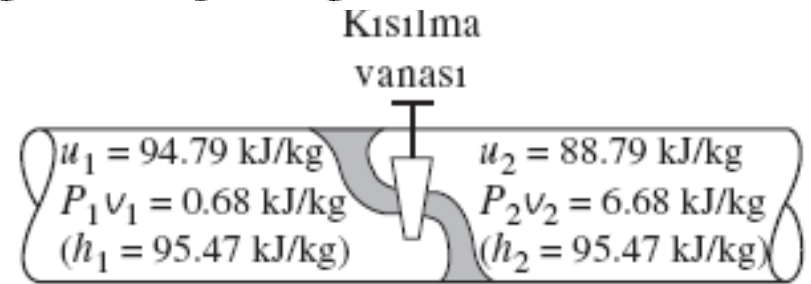
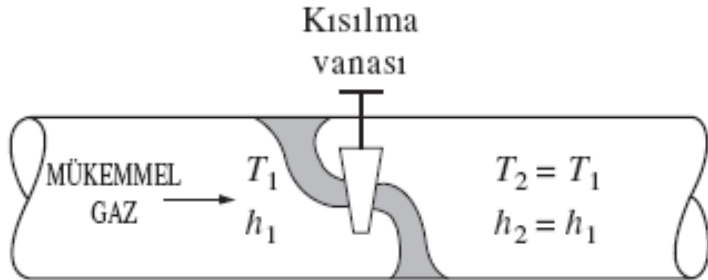
Bir türbin ve bir kısılma vanası arasındaki fark nedir?

Akışkanın basıncı düşerken genellikle sıcaklığında da büyük bir düşme gözlenir. Bu nedenle kısılma vanaları soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

Enerji dengesi

$$h_2 \cong h_1 \quad u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

iş enerjisi + akış enerjisi = sabit

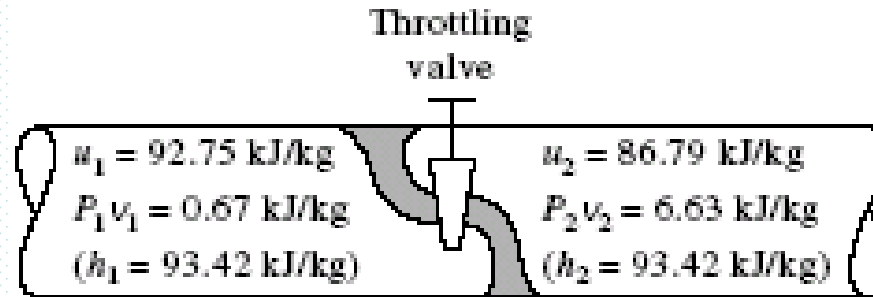


Mükemmel gazın sıcaklığı kısılma işlemi sırasında değişmez, çünkü $h=h(T)$ 'dir

Kısılma işlemi sırasında akışkanın entalpisi sabit kalır. Fakat akış ve iç enerji birbirlerine dönüşebilirler.

ÖRNEK: Soğutucu akışkan-134a bir buzdolabının kılcal borusuna 0,8 MPa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0,12 MPa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın çıkış halindeki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasındaki sıcaklık azalmasını hesaplayın.

Çözüm: Kılcal boru, akış alanını kısan basit bir eleman olup soğutma uygulamalarında büyük basınç düşüşleri sağlamak için kullanılır. Kılcal bir borudan akış bir kısılma işlemidir, bu nedenle soğutucu akışkanın entalpisi sabit kalır.



$$\begin{array}{l} \text{At inlet:} \\ \left. \begin{array}{l} P_1 = 0.8 \text{ MPa} \\ \text{sat. liquid} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_1 = T_{\text{sat}} @ 0.8 \text{ MPa} = 31.31^\circ\text{C} \\ h_1 = h_f @ 0.8 \text{ MPa} = 95.47 \text{ kJ/kg} \end{array} \end{array} \quad (\text{Table A-12})$$

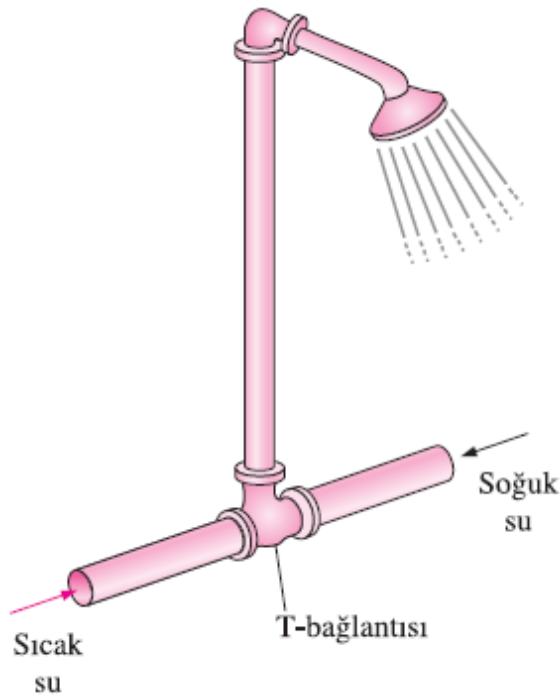
$$\begin{array}{l} \text{At exit:} \\ \begin{array}{l} P_2 = 0.12 \text{ MPa} \\ (h_2 = h_1) \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} h_f = 22.49 \text{ kJ/kg} \\ h_g = 236.97 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad T_{\text{sat}} = -22.32^\circ\text{C} \end{array}$$

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} = \frac{95.47 - 22.49}{236.97 - 22.49} = 0.340$$

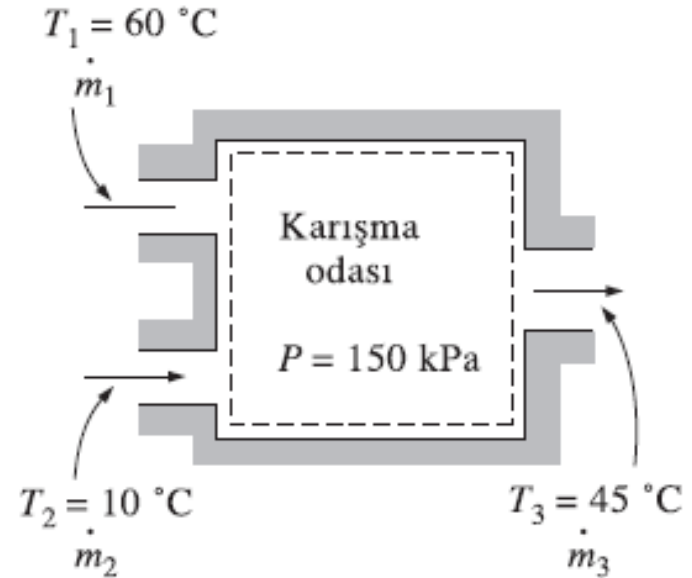
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (-22.32 - 31.31)^\circ\text{C} = -53.63^\circ\text{C}$$

Karışma Odaları

Mühendislik uygulamalarında, karışma işleminin olduğu kısımlar yaygın olarak bir karışma odası gibi kullanılırlar.



Bir düşün sıradan bir T-bağlantısı sıcak ve soğuk su akışlarının bir araya geldiği karışma odasıdır.



Şekildeki adyabatik karışma odası için enerji dengesi:

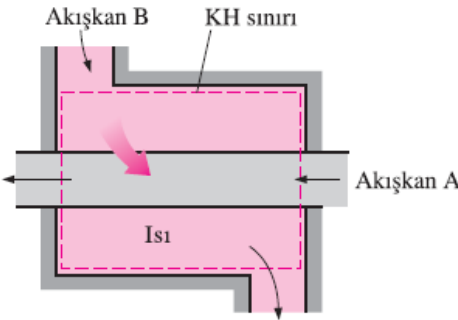
$$\dot{E}_g = \dot{E}_\phi$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

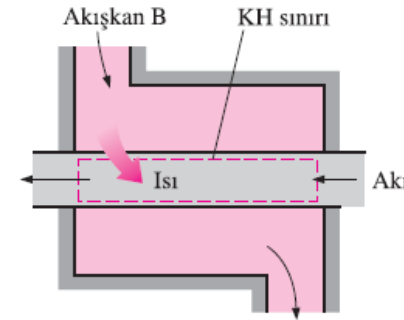
$$(\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, ke \cong pe \cong 0)$$

Isı Değiştiricileri

Isı değiştiricileri, iki akışın karışmadan ısı alışverişinde bulundukları mekanik düzenlerdir. Isı değiştiricileri endüstride yaygın olarak kullanılırlar ve değişik tasarımlarda olabilirler.

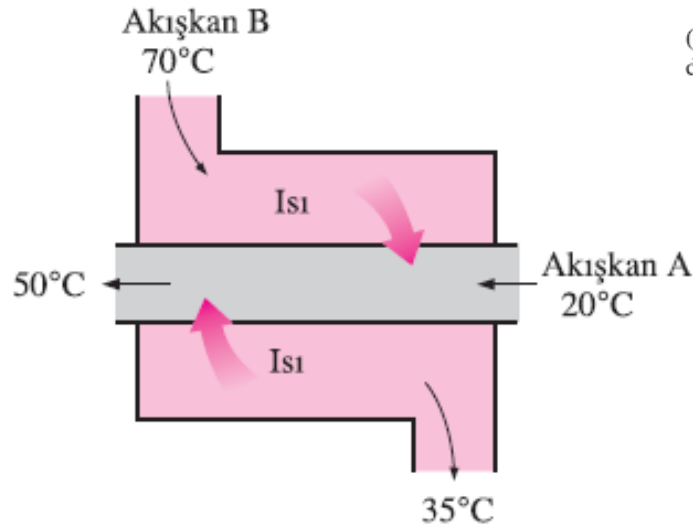


(a) Sistem: Tüm ısı değiştiricisi ($Q_{KH} = 0$)



(b) Sistem: Akışkan A ($Q_{KH} \neq 0$)

Isı değiştiricisindeki ısı geçişi, sistem seçimine bağlı olarak sıfır veya sıfırdan farklı olabilir.



Bir ısı değiştiricisi, iç içe geçmiş iki boru kadar basit olabilir.

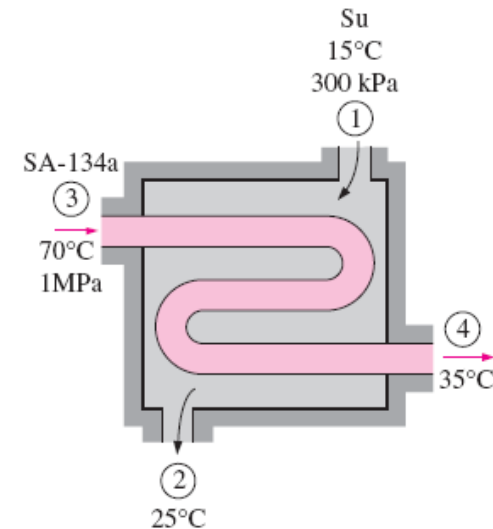
Şekildeki adiabatik ısı değiştiricileri için kütle ve enerji dengesi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\phi$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

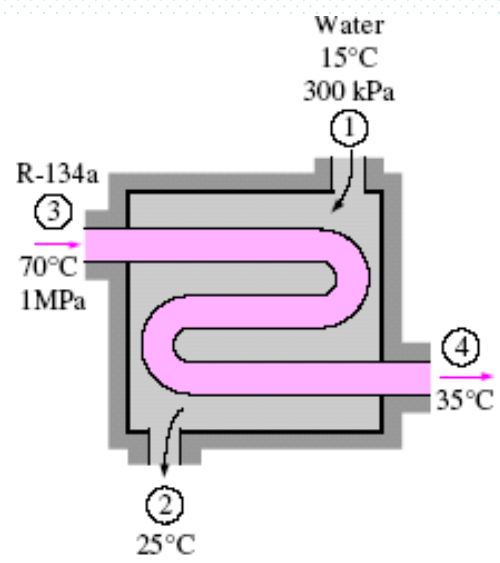


ÖRNEK:

Soğutucu akışkan-134a yoğuşturucuda su tarafından soğutulmaktadır. Soğutucu akışkan yoğuşturucuya 1 MPa basınçta ve 70 °C sıcaklıkta, 6 kg/dak debiyle girmekte, 35 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Soğutma suyu ise yoğuşturucuya 300 Kpa basınç ve 15 °C sıcaklıkta girmekte, 25 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Basınç kayıplarını ihmal ederek, (a) soğutma suyunun kütle debisini, (b) soğutucu akışkandan suya olan ısı geçişini hesaplayın.

$$\left. \begin{matrix} P_3 = 1 \text{ MPa} \\ T_3 = 70^\circ\text{C} \end{matrix} \right\} h_3 = 303.85 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-13})$$
$$\left. \begin{matrix} P_4 = 1 \text{ MPa} \\ T_4 = 35^\circ\text{C} \end{matrix} \right\} h_4 \cong h_f @ 35^\circ\text{C} = 100.87 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-11})$$

(a) Suyun kütle debisini belirlemek için.



$$h_1 \cong h_f @ 15^\circ\text{C} = 62.982 \text{ kJ/kg}$$
$$h_2 \cong h_f @ 25^\circ\text{C} = 104.83 \text{ kJ/kg}$$

(Table A-4)

Mass balance: $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_w$$
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

Energy balance: $\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\overset{0 \text{ (steady)}}{\Delta \dot{E}_{system}}}_{\text{Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} = 0$

$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$

$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_4 h_4 \quad (\text{since } \dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, ke \cong pe \cong 0)$

$$\dot{m}_w(h_1 - h_2) = \dot{m}_R(h_4 - h_3)$$

$$\dot{m}_w(62.982 - 104.83) \text{ kJ/kg} = (6 \text{ kg/min})[(100.87 - 303.85) \text{ kJ/kg}]$$

$$\dot{m}_w = \mathbf{29.10 \text{ kg/min}}$$

(b) Soğutucu akışkandan suya olan ısı geçişi

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

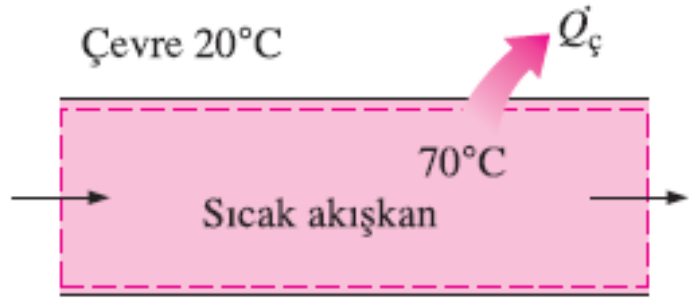
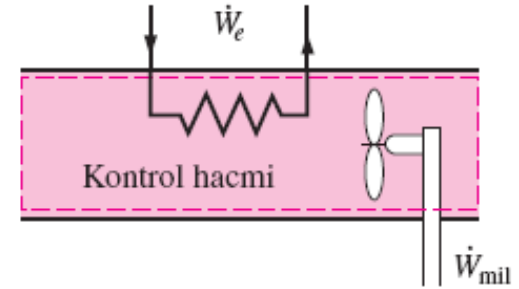
$$\dot{Q}_{w, \text{in}} + \dot{m}_w h_1 = \dot{m}_w h_2$$

$$\dot{Q}_{w, \text{in}} + \dot{m}_w(h_2 - h_1) = (29.10 \text{ kg/min})[(104.83 - 62.982) \text{ kJ/kg}]$$

$$= \mathbf{1218 \text{ kJ/min}}$$

Boru ve Kanallarda Akış

Sıvıların veya gazların borularda veya kanallarda akışının değişik mühendislik uygulamalarında büyük önemi vardır. Bir boru veya kanalda akış genellikle sürekli akış koşullarını sağlar.

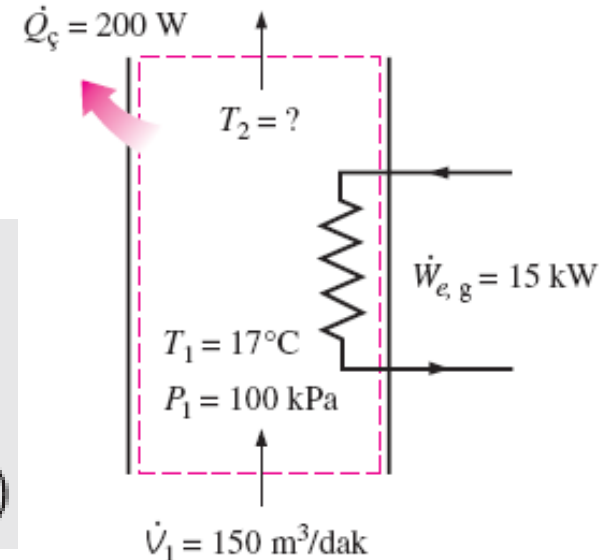


Boru veya kanal akışında aynı zamanda birden çok iş etkileşimi olabilir.

Şekilde gösterilen borudaki akış için enerji dengesi

Yalıtılmamış bir boru veya kanaldan çevreye olan ısı geçişi önemli büyüklükte olabilir.

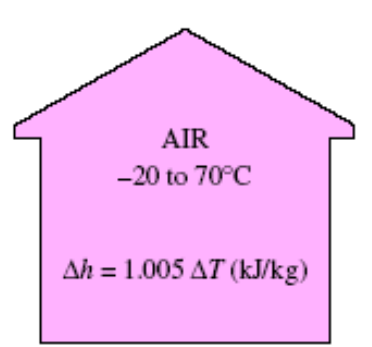
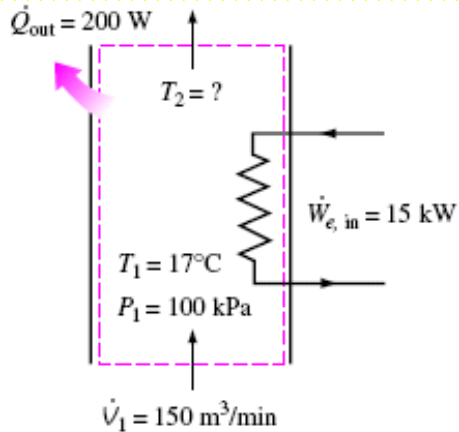
$$\begin{aligned}\dot{E}_g &= \dot{E}_\varsigma \\ \dot{W}_{e,g} + \dot{m}h_1 &= \dot{Q}_\varsigma + \dot{m}h_2 \\ \dot{W}_{e,g} - \dot{Q}_\varsigma &= \dot{m}c_p(T_2 - T_1)\end{aligned}$$



ÖRNEK

Konutlarda uygulanan elektrikli ısıtma sistemlerinde, hava kanalları ve bunların içinde direnç telli ısıtma elemanları bulunur. Hava, direnç tellerinin üzerinden geçerken ısınır. 15 kW gücünde bir elektrikli ısıtma sistemi ele alınsın. Havanın hacimsel debisi 150 m³/dakika olup, ısıtma bölümüne 100 kPa basınç ve 17 °C sıcaklıkta girmektedir. Kanaldan çevre ortama 200 W ısı kaybı olduğuna göre, havanın çıkış sıcaklığını hesaplayın.

Çözüm: Isıtma bölümü, kontrol hacmi olarak alınabilir. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse, bir giriş ve bir çıkışlı açık sistem için enerjinin korunumu denklemi aşağıda gösterildiği gibi basitleşir:



$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\text{Rate of net energy transfer by heat, work, and mass}} = \underbrace{\frac{\Delta \dot{E}_{system}}{\Delta t}}_{\text{Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies}} \stackrel{0 \text{ (steady)}}{=} 0$$

$$\begin{aligned}\dot{E}_{in} &= \dot{E}_{out} \\ \dot{W}_{e, in} + \dot{m}h_1 &= \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \quad (\text{since } \Delta ke \cong \Delta pe \cong 0) \\ \dot{W}_{e, in} - \dot{Q}_{out} &= \dot{m}c_p(T_2 - T_1)\end{aligned}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(290 \text{ K})}{100 \text{ kPa}} = 0.832 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{150 \text{ m}^3/\text{min}}{0.832 \text{ m}^3/\text{kg}} \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 3.0 \text{ kg/s}$$

$$(15 \text{ kJ/s}) - (0.2 \text{ kJ/s}) = (3 \text{ kg/s})(1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(T_2 - 17)^\circ\text{C}$$
$$T_2 = 21.9^\circ\text{C}$$

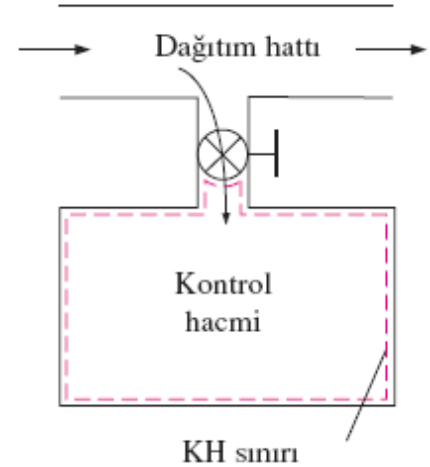
ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZİ

Önemli birçok uygulamada, kontrol hacmi içinde zamanla *değişiklik olur*. Bu tür sistemlere **zamanla değişen açık sistemler** veya **geçici akışlı açık sistemler** adı verilir.

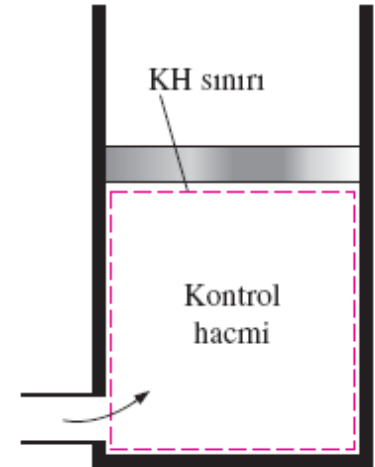
Çoğu zamanla değişen açık sistemler orta derecede *düzgün akışlı sistemler* gibi gösterilebilir.

Düzgün akışlı sistem: Herhangi bir giriş yada çıkıştaki akışkan akışı düzgün ve sürekli ve böylece akışkan özellikleri yada bir giriş yada kesitin üzerindeki durumu zamanla değişmez. Eğer tersine bir durum söz konusu ise, ortalamaları alınır ve tüm sistem için sabit gibi davranılır.

Bir tüpün dağıtım hattından doldurulması zamanla değişen açık sistem çözümlemesine girer, çünkü tüp içindeki kütlenin hali zamanla değişir.



Zamanla değişen açık sistemde, kontrol hacminin biçimi ve hacmi değişebilir.



Kütle dengesi

$$m_g - m_ç = \Delta m_{\text{sistem}}$$

$$\Delta m_{\text{sistem}} = m_{\text{son}} - m_{\text{ilk}}$$

$$m_g - m_ç = (m_2 - m_1)_{\text{KH}}$$

Enerji dengesi

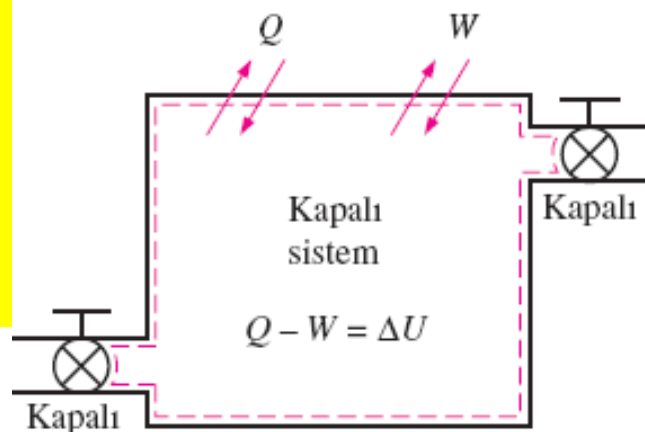
$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Isı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{Sistemin; iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}$$

$$\left(Q_g + W_g + \sum_g m\theta \right) - \left(Q_ç + W_ç + \sum_ç m\theta \right) = (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{\text{sistem}}$$

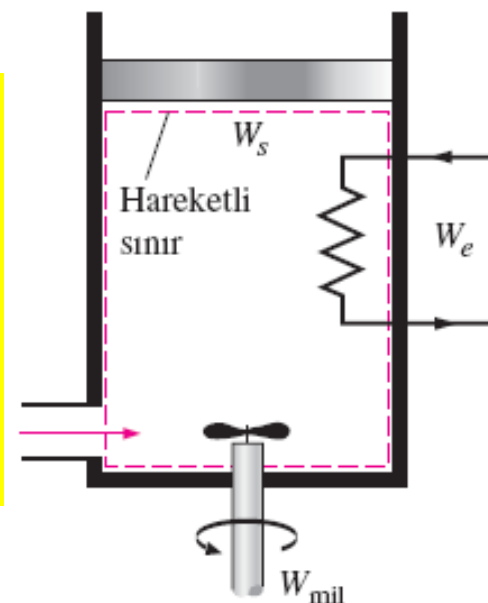
$$\theta = h + ke + pe$$

$$e = u + ke + pe$$

Giriş ve çıkışlar kapatıldığı zaman, düzgün akışlı açık sistemin enerji denklemi kapalı sistemin denklemine dönüşür.



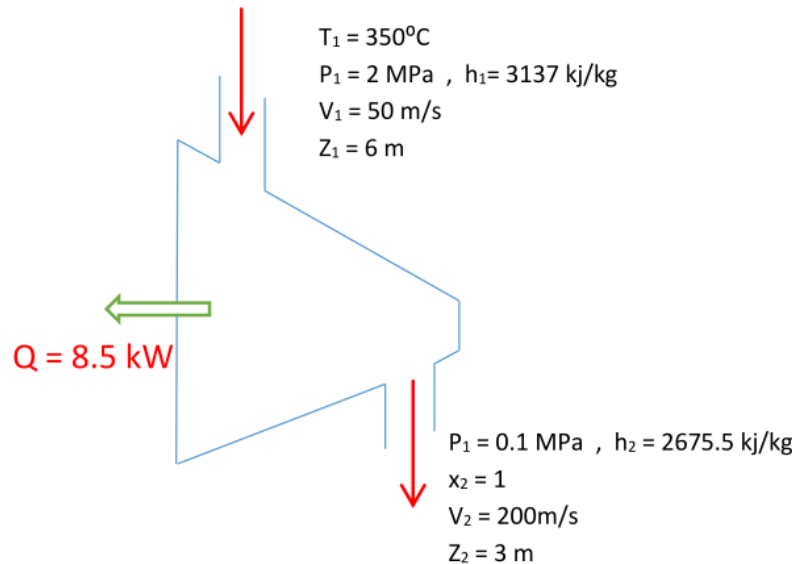
Düzgün akışlı dengeli açık sistemde elektrik işi, mil işi ve sınır işi bir arada gerçekleşebilir.



Özet

- Kütlenin korunumu
 - Kütle debisi ve hacimsel debi
 - Sürekli akışlı bir sistem için kütle dengesi
 - Sıkıştırılamaz akış için kütle dengesi
- Akış işi ve akışkanın enerjisi
 - Kütle ile enerji aktarımı
- Sürekli akışlı açık sistemlerin enerji analizleri
- Bazı sürekli akışlı mühendislik sistemleri
 - Lüleler ve Yayıcılar
 - Türbinler ve Kompresörler
 - Kısılma vanaları
 - Karışma odaları ve Isı değiştiricileri
 - Boru ve Kanallarda akış
- Zamanla değişen açık sistemlerin enerji analizi

Örnek: Çalışma akışkanı buhar olan bir türbine giren kütlenin debisi 15 kg/s dir. Türbin girişinde basınç 2 MPa, sıcaklık 350°C, hız 50 m/s ve referans düzleminden yükseklik ise 6 m dir. Türbin çıkışında basınç 0.1 MPa, kuruluk derecesi 1 ve hız 200 m/s ve referans düzleminden yükseklik ise 3 m dir. Türbinden çevreye olan ısı kaybı 8.5 kW dır. Bu çalışma şartlarında türbinin gücünü tespit ediniz?



$$Q - W = \dot{m} * \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2000} + \frac{g * (Z_2 - Z_1)}{1000} \right]$$

$$-8.5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} - W = 1.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} [-461.5 + 18.75 - 0.02943] \Rightarrow W = 655.67 \text{ kW}$$

Örnek: Buhar adyabatik bir türbine 10 MPa, 450°C ve 80 m/s ile girmekte, 10 kPa, kuruluk derecesi 0.92 ve 50 m/s ile çıkmaktadır. Kütlesel debi 12 kg/s ise,
a) Kinetik enerjideki değişmeyi b) Çıkış gücünü c) Giriş ve çıkış kesit alanlarını hesaplayınız.

C-3)1.Durum

$$P_1 = 10 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 450^\circ\text{C}$$

$$V_1 = 80 \text{ m/s}$$

Kızgın buhar tablosundan

$$v_1 = 0.02975 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, h_1 = 3240.9 \text{ kJ/kg}$$

2.Durum

$$P = 10 \text{ kPa}$$

$$v_s = 0.001010 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_b = 14.67 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_s = 191.83 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{sb} = 2392.8 \text{ kJ/kg}$$

Doymuş sıvı – buhar karışımı tablosundan

$$v_2 = v_s + x_2 * v_{sb} = 13.4964 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_2 = h_s + x_2 * h_{sb} = 2393.2 \text{ kJ/kg}$$

$$V_2 = 50 \text{ m/s}, x_2 = 0.92$$

$$a) \Delta KE = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} * \frac{\frac{1 \text{ kJ}}{\text{kg}}}{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = -1.95 \text{ kJ/kg}$$

$$b) \overset{0}{q} - w = \Delta h + \Delta KE + \overset{0}{\Delta PE}$$

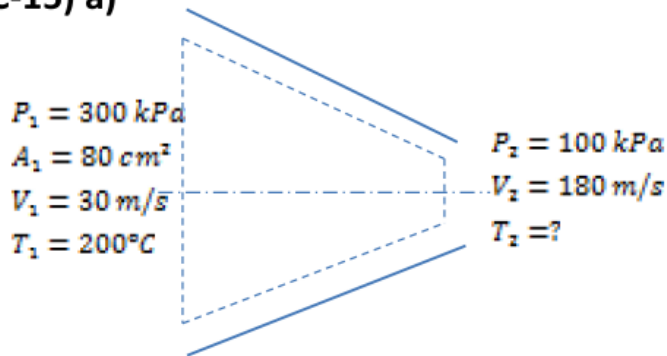
$$-w = h_2 - h_1 + \Delta KE = -844.7 - 1.95 = 849.65 \text{ kJ/kg}$$

$$w = 849.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \dot{W} = \dot{m} * w = 10195.8 \text{ kW} = 10.2 \text{ MW}$$

$$c) \dot{m}_1 = \frac{1}{v_1} * A_1 * V_1 \Rightarrow A_1 = 0.00446 \text{ m}^2, \quad \dot{m}_2 = \frac{1}{v_2} * A_2 * V_2 \Rightarrow A_2 = 3.239 \text{ m}^2$$

Örnek: Bir Adyabatik daralan lüleye, hava 300 kPa basınç, 200 °C sıcaklık ve 30 m/s'lik hızla girmekte, 100 kPa basınç ve 180 m/s hızla çıkmaktadır. Lülenin giriş kesit alanı 80 cm² olduğuna göre, a) Lüleden akan havanın kütleli debisini, b) Havanın lüleden çıkış sıcaklığını, c) Lüleden çıkış kesit alanını hesaplayınız.

C-15) a)



$$P_1 * v_1 = R * T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{0.287 * 473.15 \text{ K}}{300 \text{ kPa}} = 0.452646 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m} = \frac{V_1 * A_1}{v_1} = \frac{30 * 80 * 10^{-4} \text{ m}^2}{0.452646} = 0.5302 \text{ kg/s}$$

$$\text{b) } \overset{0}{Q} - \overset{0}{W} = \dot{m} * \left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}$$

$$T_1 = 473.15 \Rightarrow h_1 = 475.46 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 475.46 + \frac{30^2 - 180^2}{2} \Rightarrow h_2 = 459.71 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

T h

450 451.80

$$\rightarrow 459.71 \text{ } T_2 = 457.74 \text{ } K = 184.6^\circ C$$

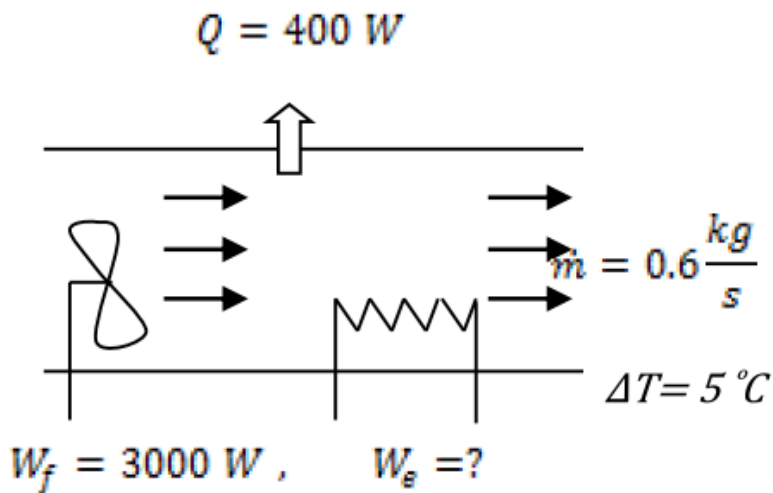
460 462.02

$$\text{c) } P_2 * V_2 = R * T_2 \Rightarrow v_2 = \frac{(0.287 * 457.74)}{100} = 1.3137 \text{ } m^3/kg$$

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{V_2 * A_2}{v_2} \Rightarrow A_2 = \frac{\dot{m} * v_2}{V_2}$$

$$A_2 = \frac{0.5302 * 1.3137}{180} = 3.8696 * 10^{-3} m^2 = 0.038696 \text{ } m^2 = 38.69 \text{ } cm^2$$

Örnek: Bir evin ısıtma sistemi, bir kanal içine yerleştirilmiş elektrikli ısıtıcı ve 300 W gücünde fandan oluşmaktadır. Hava kanalın içinden sürekli olarak 0,6 kg/s debiyle akmakta ve kanaldan geçerken sıcaklığı 5 °C artmaktadır. Kanaldan çevreye 400 W ısı kaybı olduğuna göre elektrikli ısıtıcının gücünü hesaplayınız. (Hava için $R=0,287$ kJ/kgK, $C_p=1,005$ kJ/kgK)



$$Q - W = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

$$-0.4 \text{ kW} - (-0.3 \text{ kW} + W_e) = 0.6 * 1.005 * 5$$

$$W_e = -3.115 \text{ kW}$$

Örnek: Hava, 1500 W gücündeki bir saç kurutma makinesine 100 kPa ve 20 °C sıcaklıkta girmekte, 47 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Saç kurutma makinesinin çıkışındaki kesit alanı 60 cm² 'dir. Fanın çektiği gücü, kurutma makinesinin cidarlarından çevreye kaybolan ısı kaybını, kinetik etik ve potansiyel enerjiyi ihmal ederek a) Havanın girişindeki hacimsel debisini, b) Havanın çıkışındaki hızını hesaplayınız.

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 100 \text{ kPa} \\ T_1 = 293.15 \text{ K} \end{array} \right\} \quad v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0.287 \cdot 293.15}{100} = 0.84 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$E_{St} = E_g - E_{\dot{c}}$$

$$W_{sa\dot{c}} + m\dot{h}_1 = \cancel{Q_{\dot{c}}} + m\dot{h}_2$$

$$W_{sa\dot{c}} = m(\dot{h}_2 - \dot{h}_1) = \dot{m}C_p(T_2 - T_1)$$

$$1.5 \text{ kW} = \dot{m} \cdot 1.005(47 - 20) \rightarrow \dot{m} = 0.055 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} \rightarrow \dot{V} = 0.055 - 0.84 = 0.046 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V} = A_2 V_2 \rightarrow 0.046 = 60 \cdot 10^{-4} \cdot V_2 \rightarrow V_2 = 7.74 \text{ m/s}$$