

Thermodynamics: An Engineering Approach

Seventh Edition

Yunus A. Cengel, Michael A. Boles

McGraw-Hill, 2011

Chapter 7

ENTROPY

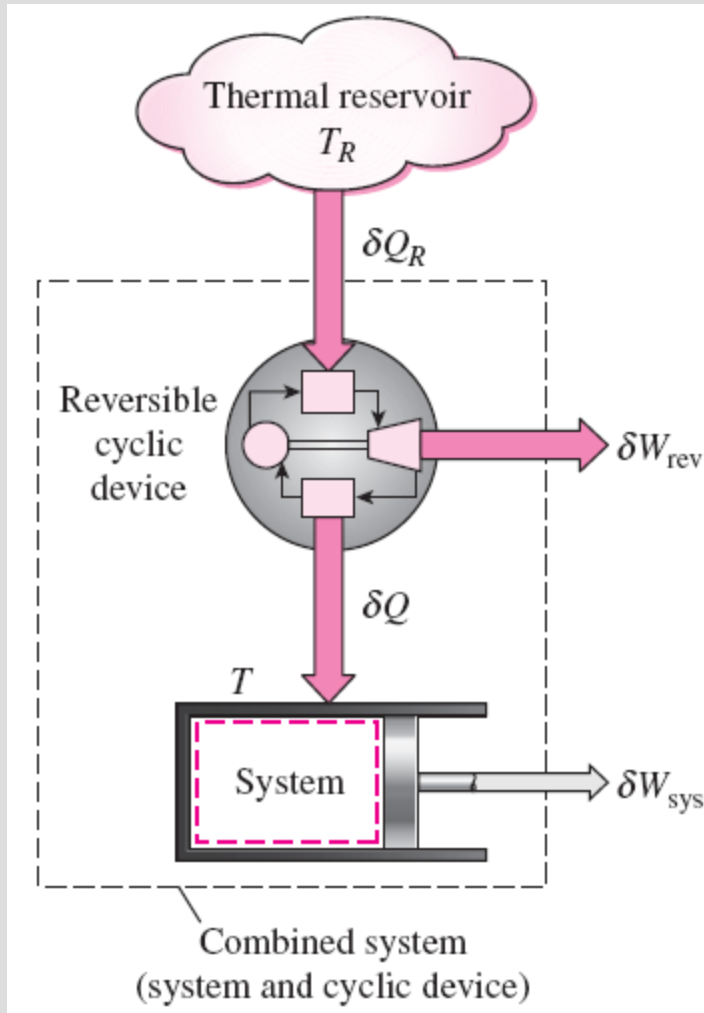
Ceyhun Yilmaz

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Objectives

- Termodinamiğin ikinci kanununu hal değişimlerine uygulamak.
- İkinci yasa verimini ölçmek için entropi olarak adlandırılan özelliği tanımlamak.
- ***Entropinin artış ilkesinin*** ne olduğunu açıklamak.
- Saf, sıkıştırılmaz maddeler ve mükemmel gazlar için söz konusu olan hal değişimleri sırasında ortaya çıkan entropi değişimlerini hesaplamak.
- İzantropik hal değişimleri olarak isimlendirilen hal değişimlerini incelemek.
- Tersinir sürekli akış iş bağıntılarını elde etmek.
- Sürekli akışlı sistemler üzerinde izantropik verimlilikleri geliştirmek.
- Entropi dengesini çeşitli sistemlere tanıtmak ve uygulamak.

ENTROPY



Sistem Clausius eşitsizliğinin geliştirilmesinde hesaba katılır.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\delta W_C = \delta Q_R - dE_C$$

$$\frac{\delta Q_R}{T_R} = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta W_C = T_R \frac{\delta Q}{T} - dE_C$$

$$W_C = T_R \oint \frac{\delta Q}{T}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Clausius eşitsizliği

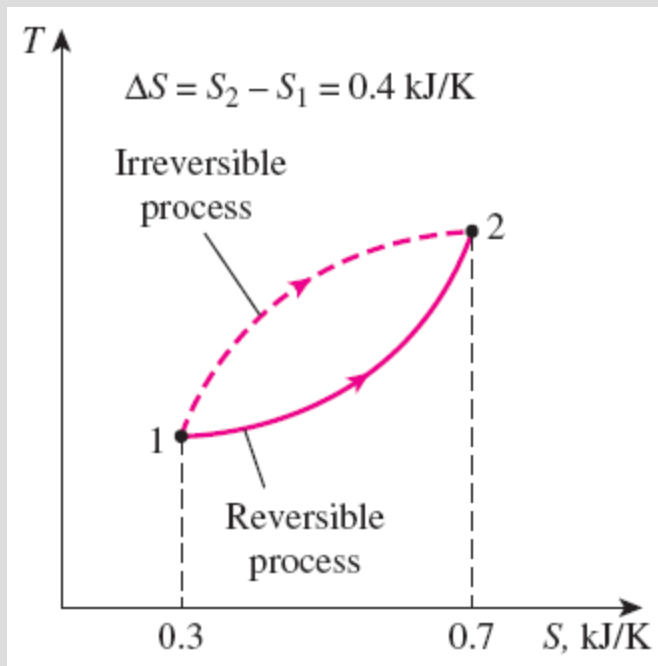
$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}} = 0$$

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}} \quad (\text{kJ/K})$$

Entropinin resmi tanımı

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}}$$

Clausius eşitsizliğindeki eşit olma durumu tümten veya içten tersinir çevrimler için, eşitsizlik durumu da tersinmez çevrimler için geçerlidir.



$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}} = 0$$

A quantity whose cyclic integral is zero (i.e., a property like volume)

Entropi sistemin yaygın bir özeliğidir.

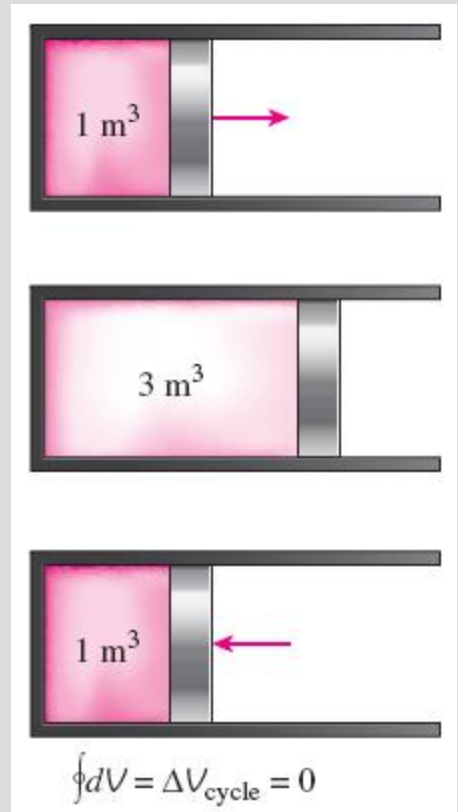
Entropi değişimi belirli iki durum arasında hal değişimi tersinir yada tersinmez olsun aynıdır.

Özel Bir Durum: İzotermal İçten Tersinir Isı Geçişi için Hal Değişimleri

$$\Delta S = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T_0} \right)_{\text{int rev}} = \frac{1}{T_0} \int_1^2 (\delta Q)_{\text{int rev}}$$

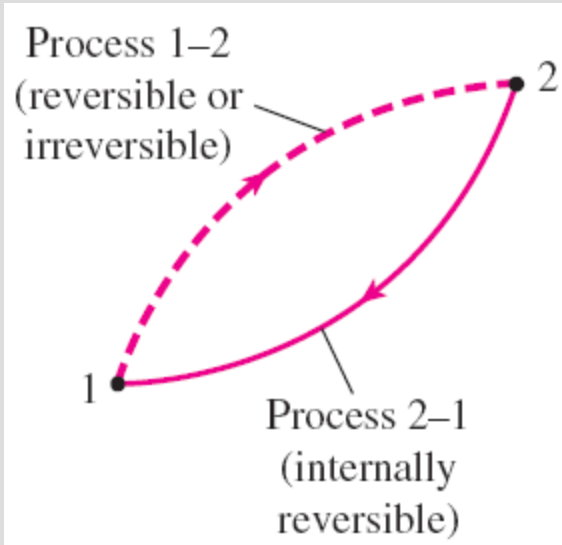
$$\Delta S = \frac{Q}{T_0}$$

Bu eşitlik özellikle ısı enerji depolarının entropi değişimlerini belirlemek için yararlıdır.



Hacmin (bir özeliğin) çevrim sırasındaki net değişimi daima sıfırdır.

ENTROPİNİN ARTIŞI İLKESİ



Bir çevrim tersinir yada tersinmez bir hal değişiminden ibarettir.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}} \leq 0$$

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_1 - S_2 \leq 0 \quad S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

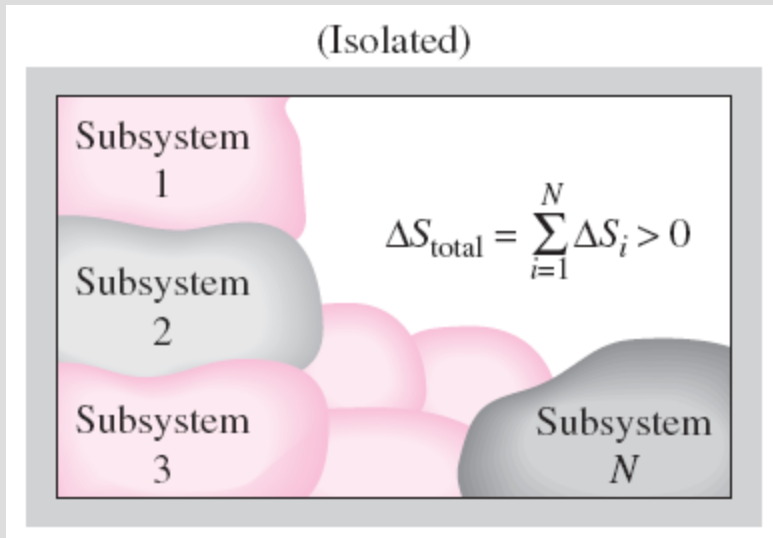
Eşitlik içten tersinir hal değişimleri, eşitsizlik ise tersinmez hal değişimleri için geçerlidir.

$$\Delta S_{\text{sys}} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{gen}}$$

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} \geq 0$$

Tersinmez bir hal değişimi sırasında bir miktar entropi üretilir veya var edilir, entropi üretimi tümüyle tersinmezlikler ile ilgilidir.

Entropi üretimi $S_{\text{üretim}}$ ifadesi her zaman sıfır veya pozitif bir değerdir.
Bir sistemin entropisi bir hal değişimi sırasında azalabilir mi?



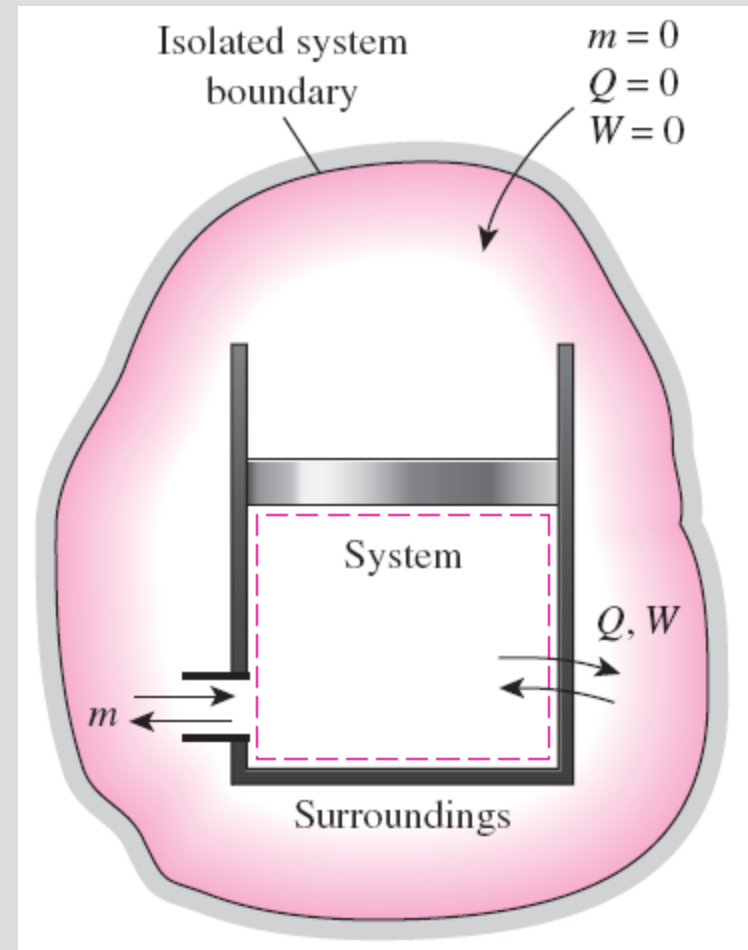
Ayrık bir sistemin entropi değişimi onun bileşenlerinin entropi değişimlerinin toplamıdır ve asla sıfırdan daha az olamaz.

$$\Delta S_{\text{isolated}} \geq 0$$

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} \geq 0$$

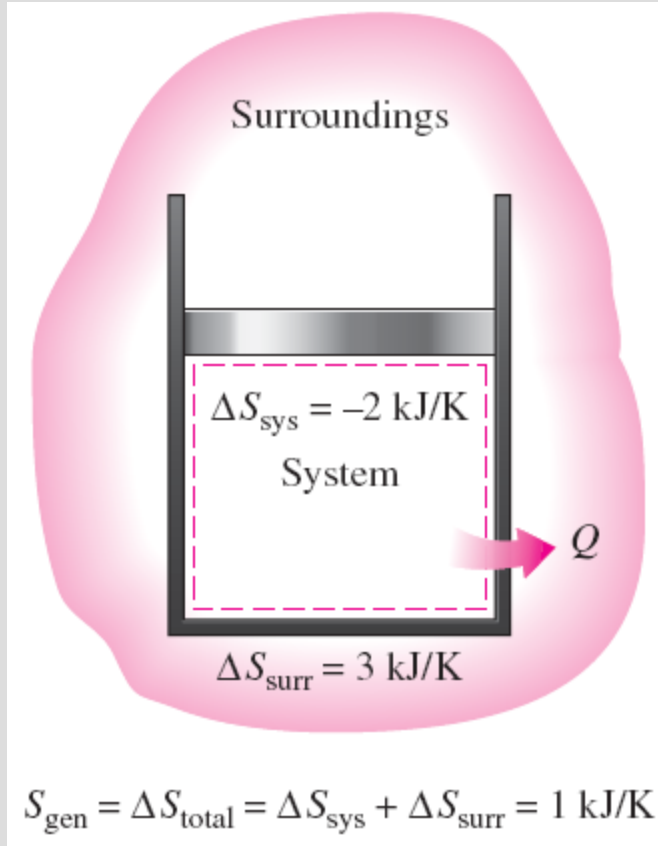
$$S_{\text{gen}} \begin{cases} > 0 & \text{Irreversible process} \\ = 0 & \text{Reversible process} \\ < 0 & \text{Impossible process} \end{cases}$$

Entropinin
artışı ilkesi



Bir sistem ve onun çevresindekiler ayrık bir sistemi oluşturur.

Entropi Üzerine Bazı Yorumlar

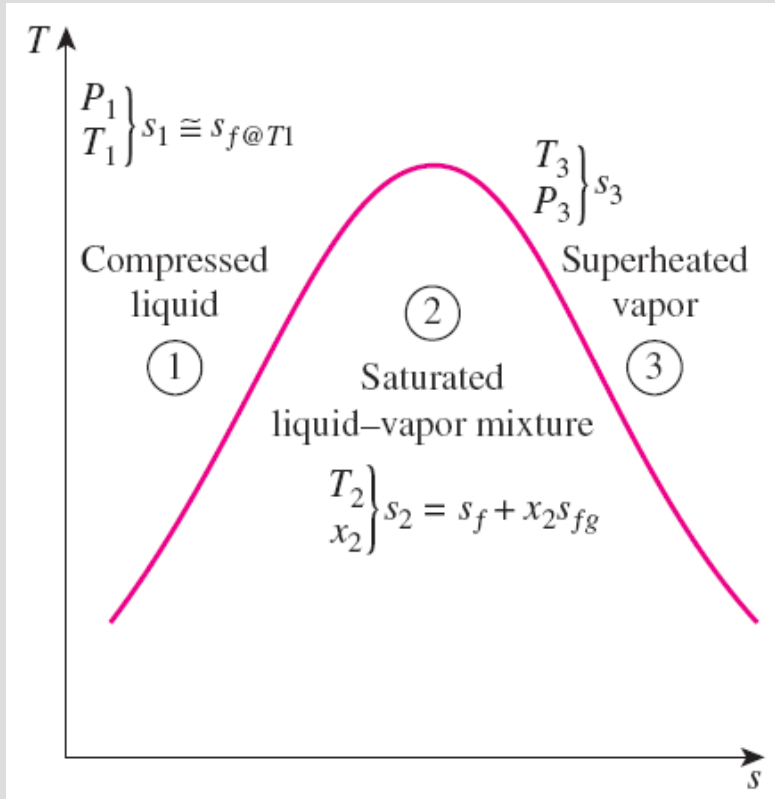


Bir sistemin entropi değişimi negatif olabilir ama entropi üretimi negatif olamaz.

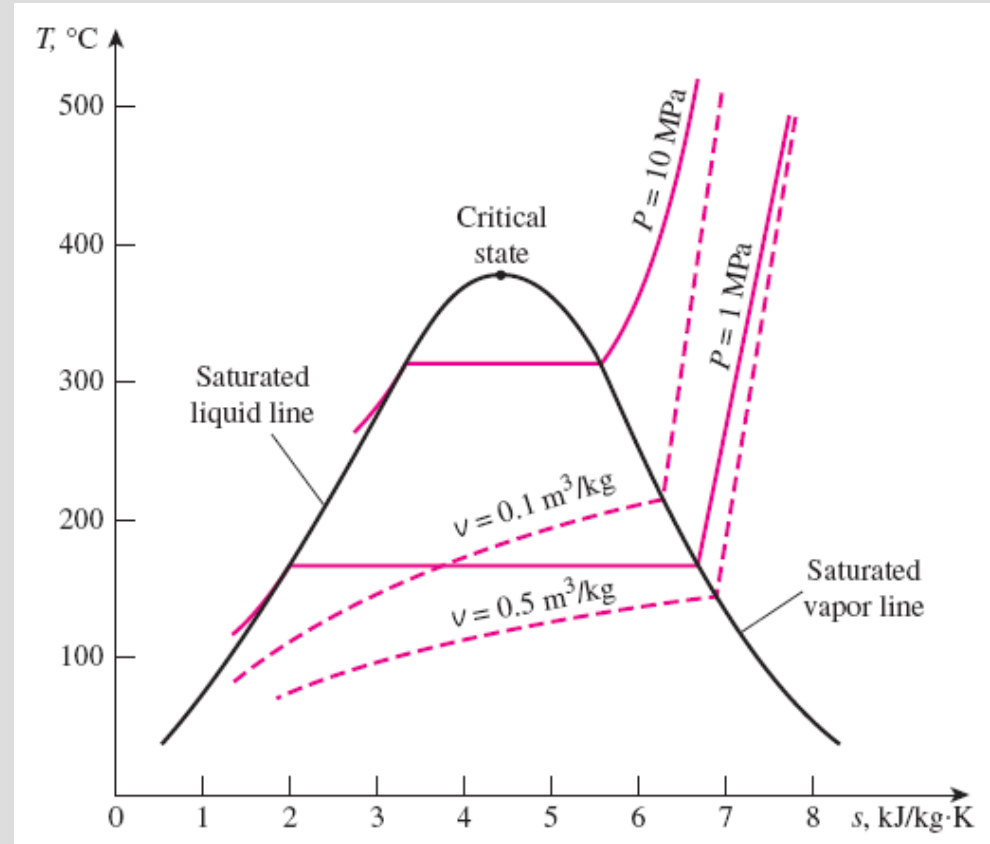
1. Hal değişimleri *herhangi* bir yönde değil, sadece *belirli* bir yönde gerçekleşebilir. Hal değişimi, entropinin artışı ilkesi ile uyumlu yönde ilerlemek zorundadır. Yani hal değişimi sırasında $S_{\text{üretim}} \geq 0$ olmalıdır. Bu ilkeyi sağlamayan bir hal değişimi gerçekleşemez.
2. Entropi *korunumu* söz konusu değildir, bu nedenle *entropinin korunumu ilkesi* diye bir kavram yoktur. Entropi, sadece ideal bir durum olan tersinir hal değişimleri sırasında korunur ve gerçek bütün hal değişimleri sırasında artar.
3. Tersinmezliklerin varlığı mühendislik sistemlerinin verimlerini azaltır ve *entropi üretimi* hal değişimi sırasında görülen tersinmezliklerin bir ölçüsüdür. Aynı zamanda, mühendislik sistemlerinin verimlerini saptamak için bir kriter olarak da kullanılır.

SAF MADDELERİN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

Entropi bir özelliktir ve bu nedenle bir sistemin entropisinin değeri, sistemin durumu sabit olduğunda sabittir.



Saf maddelerin entropileri tablolardan belirlenir (diğer özellikleri gibi).



Schematic of the T-s diagram for water.

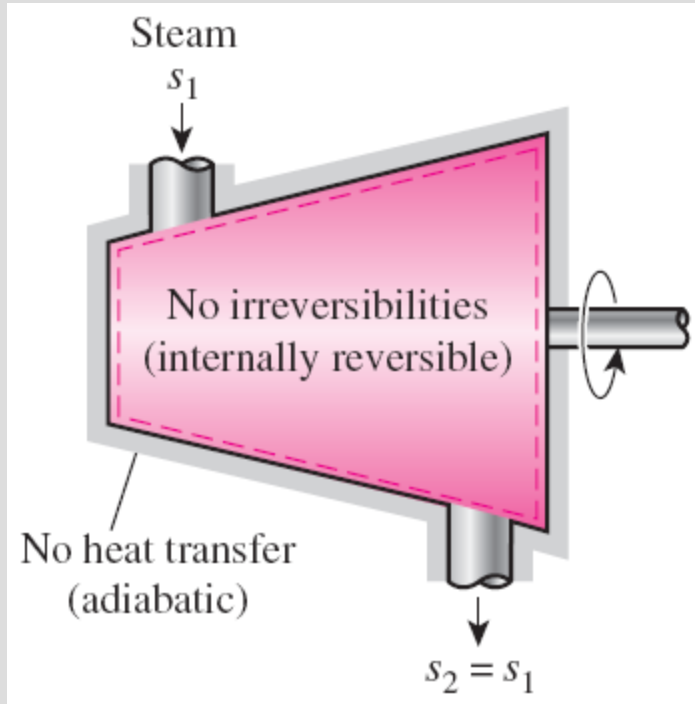
Entropy change

$$\Delta S = m\Delta s = m(s_2 - s_1) \quad (\text{kJ/K})$$

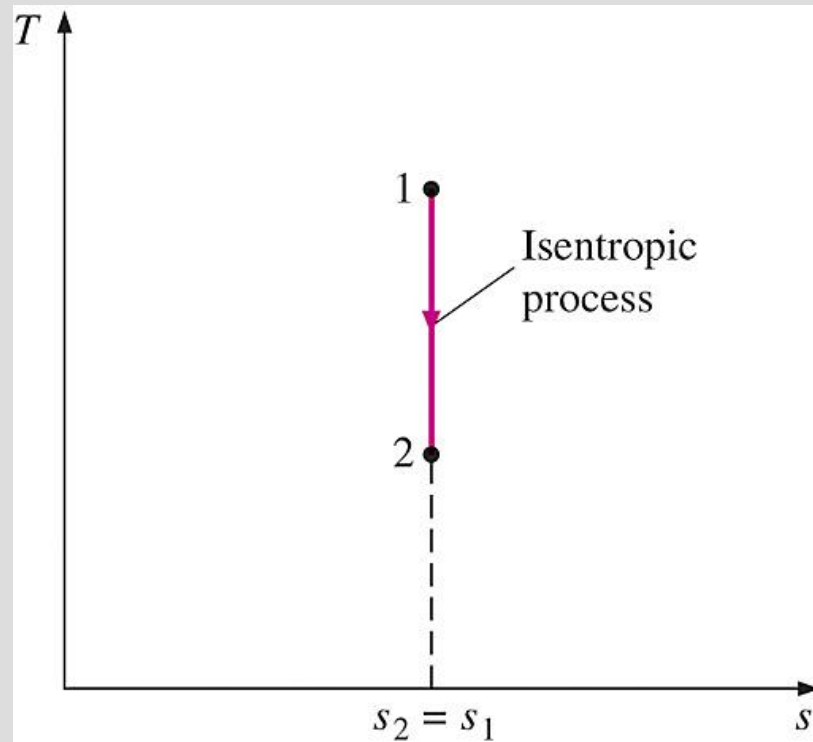
İZANTROPİK HAL DEĞİŞİMLERİ

Bir hal değişimi sırasında entropi sabit kalıyorsa, bu hal değişimine **izantropik hal değişimi** olarak isim verilir.

$$\Delta s = 0 \quad \text{or} \quad s_2 = s_1 \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

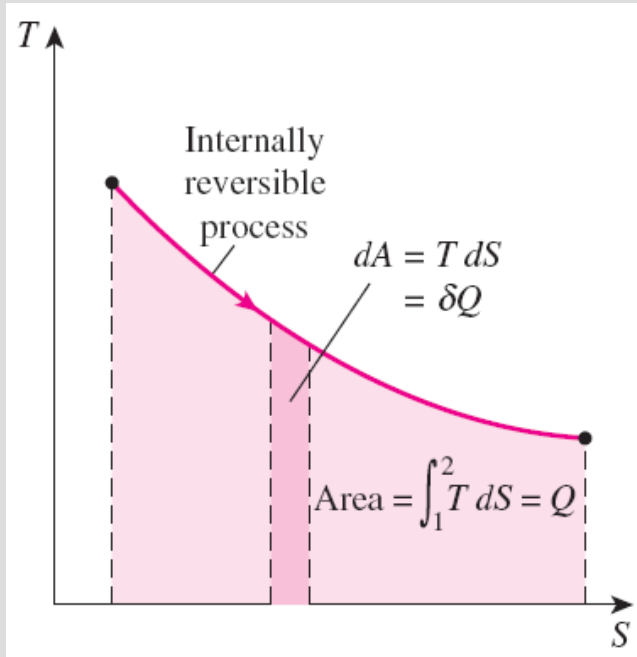


İçten tersinir ve adyabatik (izantropik) bir hal değişimi sırasında entropi sabit kalır.



$T-s$ diyagramında izantropik hal değişimi dikey bir doğru gibi görünür.

ENTROPİ İÇEREN ÖZELİK DİYAGRAMLARI



T-S diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan içten tersinir hal değişimleri için ısı geçişini gösterir.

$$\delta Q_{\text{int rev}} = T dS$$

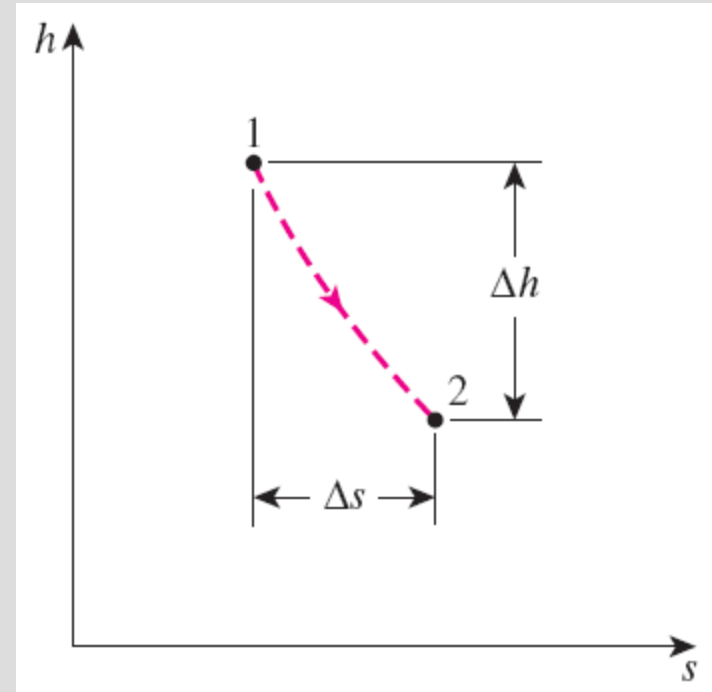
$$Q_{\text{int rev}} = \int_1^2 T dS$$

$$\delta q_{\text{int rev}} = T ds$$

$$q_{\text{int rev}} = \int_1^2 T ds$$

$$Q_{\text{int rev}} = T_0 \Delta S$$

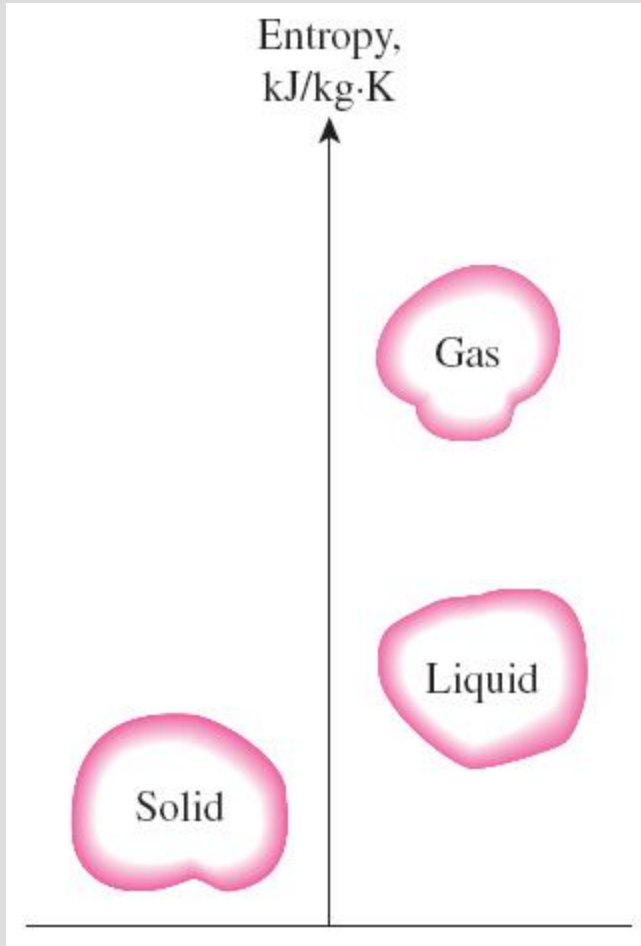
$$q_{\text{int rev}} = T_0 \Delta s$$



Sürekli akışlı adyabatik sistemler için, h - s diyagramında dikey uzunluk Δh için bir ölçüsüdür ve yatay uzunluk Δs tersinmezliklerin bir ölçüsüdür.

Mollier diagram: The h - s diagram

ENTROPİ NEDİR?



Bir maddenin moleküler düzensizliğinin (entropi) seviyesi o erirken yada buharlaşırken artar.

Boltzmann
relation

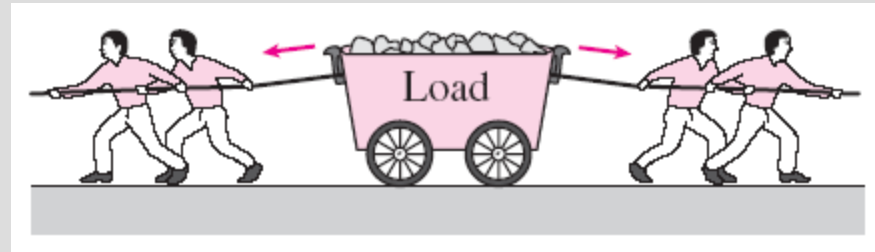
$$S = k \ln p$$

$$k = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

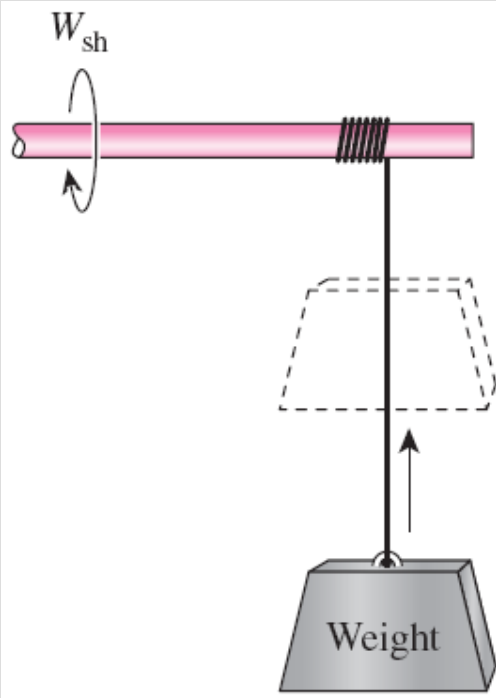
Pure crystal
 $T = 0 \text{ K}$
Entropy = 0



Sıfır mutlak sıcaklıkta saf kristal madde mükemmel düzendedir ve entropisi sıfırdır.
(termodinamiğin üçüncü yasası).



Düzensiz enerji ne kadar büyük olursa olsun, çok yararlı bir etki ortaya çıkmaz.

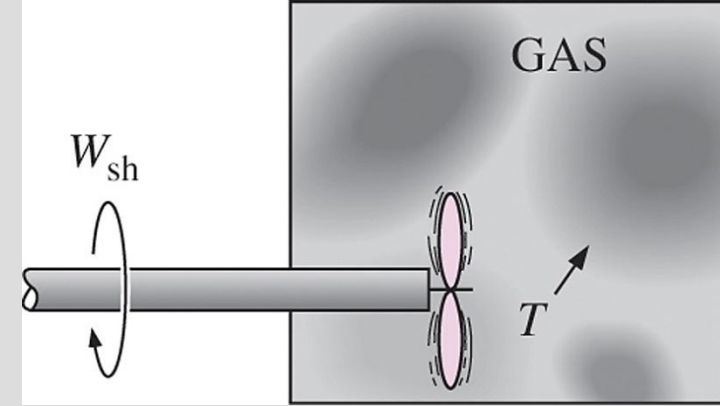


Sürtünmenin yokluğunda dönen bir mil tarafından bir ağırlığın kaldırılması herhangi bir düzensizlik (entropi) oluşmaz ve böylece enerji bu hal değişimi sırasında azalmaz.

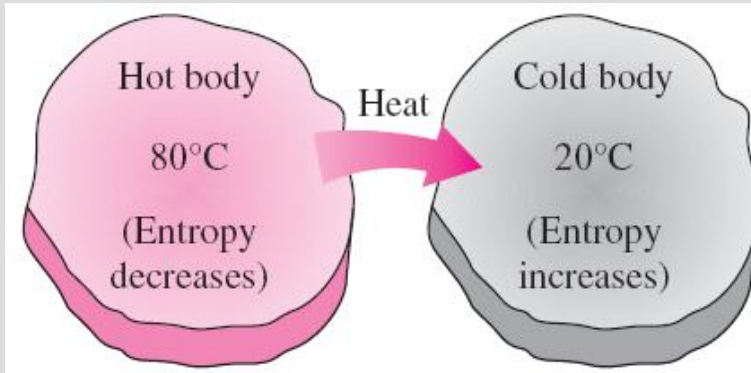


FIGURE 7-26

The use of entropy (disorganization, uncertainty) is not limited to thermodynamics.



Bir gazda yapılan dönen pervane işi gazın düzensizlik seviyesini (entropi) artırır, ve böylece enerji bu hal değişimi sırasında azalır.



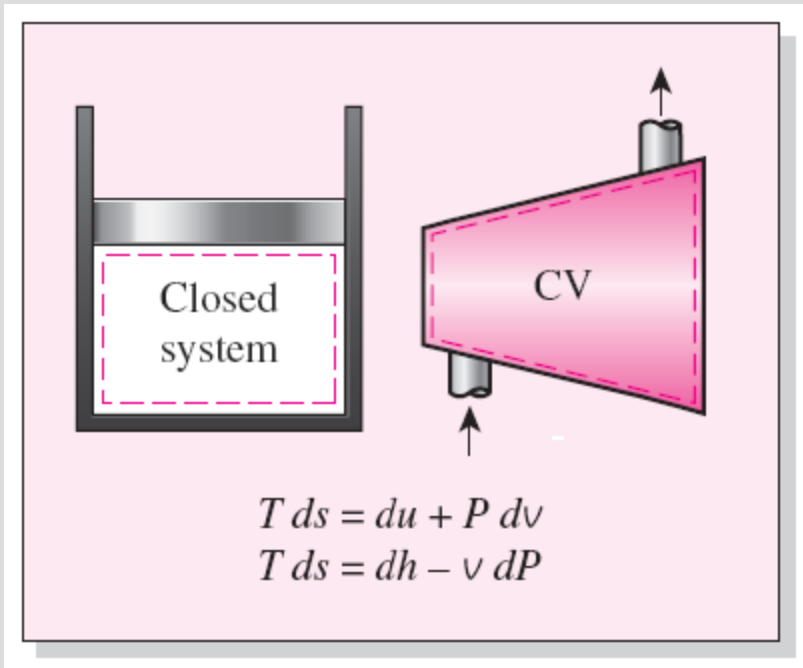
Isı transferi sırasında net entropi artar.(soğuk yüzeyin entropi artışı sıcak yüzeyin entropi azalmasından daha fazladır.)



FIGURE 7-27

As in mechanical systems, friction in the workplace is bound to generate entropy and reduce performance.

THE $T ds$ RELATIONS



$T ds$ bağıntıları hem tersinir hem de tersinmez işlemler için ve hem kapalı hem de açık sistemler için geçerlidir.

$$\delta Q_{\text{int rev}} - \delta W_{\text{int rev,out}} = dU$$

$$\delta Q_{\text{int rev}} = T dS$$

$$\delta W_{\text{int rev,out}} = P dV$$

$$T dS = dU + P dV \quad (\text{kJ})$$

$$T ds = du + P dv \quad (\text{kJ/kg})$$

birinci $T ds$ denklemi veya *Gibbs* denklemi

$$h = u + Pv$$

$$\left. \begin{array}{l} dh = du + P dv + v dP \\ T ds = du + P dv \end{array} \right\} T ds = dh - v dP$$

ikinci $T ds$ denklemi

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P dv}{T}$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{v dP}{T}$$

Diğer özellik terimlerinde entropideki diferansiyel değişimler

SIVI VE KATILARIN ENTROPİ DEĞİŞİMİ

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P dv}{T}$$

sıvı ve katılar için $dv \cong 0$ olduğundan

$$ds = \frac{du}{T} = \frac{c dT}{T}$$

since $c_p = c_v = c$ and $du = c dT$

Sıvı ve katıları yaklaşık olarak *sıkıştırılmaz* madde kabul edilebilirler. Çünkü sıvı ve katıların özgül hacimleri, bir hal değişimi sırasında neredeyse sabit kalmaktadır.

$$\text{Liquids, solids:} \quad s_2 - s_1 = \int_1^2 c(T) \frac{dT}{T} \cong c_{\text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

Sıkıştırılmaz bir maddenin izantropik hal değişimi için

$$\text{Isentropic:} \quad s_2 - s_1 = c_{\text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} = 0 \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1$$

THE ENTROPY CHANGE OF IDEAL GASES

Birinci $T ds$ bağıntısından

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{P dv}{T} \quad \begin{matrix} du = c_v dT \\ P = RT/v \end{matrix}$$

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

İkinci $T ds$ bağıntısından

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{v dP}{T}$$

$$dh = c_p dT \quad v = RT/P$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\begin{aligned} Pv &= RT \\ du &= C_v dT \\ dh &= C_p dT \end{aligned}$$

A broadcast
from channel IG.

Sabit Özgöl Isılar (Yaklaşık Çözüm)

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$



$$s_2 - s_1 = c_{v,avg} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$



$$s_2 - s_1 = c_{p,avg} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

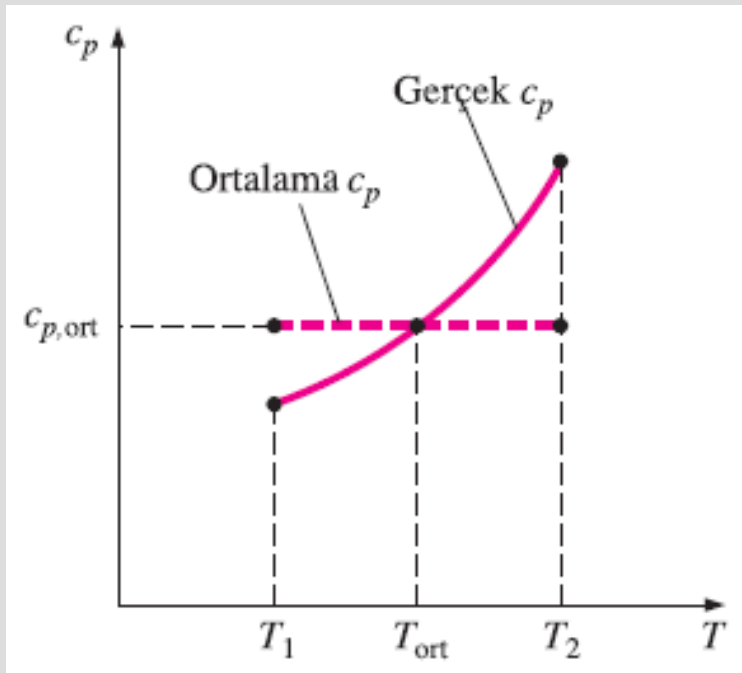
(kJ/kg · K)

İdeal gazın birim molu için entropi değişimleri

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{c}_{v,avg} \ln \frac{T_2}{T_1} + R_u \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K})$$

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{c}_{p,avg} \ln \frac{T_2}{T_1} - R_u \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K})$$

Sabit özgül ısılar varsayımı altında, özgül ısıların bazı ortalama değerlerde sabit olduğu varsayılır.



Değişken Özgül Isılar (Tam Çözüm)

Mutlak sıfır sıcaklığı referans noktası olarak seçeriz ve s° fonksiyonu tanımlarız

$$s^\circ = \int_0^T c_p(T) \frac{dT}{T}$$

$$\int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} = s_2^\circ - s_1^\circ$$

Birim kütle temelinde

$$s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

Birim mol temelinde

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{s}_2^\circ - \bar{s}_1^\circ - R_u \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kmol} \cdot \text{K})$$

<u>T, K</u>	<u>s°, kJ/kg·K</u>
.	.
.	.
.	.
300	1.70203
310	1.73498
320	1.76690
.	.
.	.
.	.
(Table A-17)	

İdeal bir gazın entropisi hem T hemde P 'ye bağlıdır. Fonksiyon s° entropinin yalnızca sıcaklıkla değişimine bağlıdır.

Air

$$T_1 = 290 \text{ K}$$
$$T_2 = 330 \text{ K}$$
$$s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$
$$= -0.3844 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$s_2 - s_1 = c_{p,\text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$
$$= -0.3842 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

FIGURE 7–35

For small temperature differences, the exact and approximate relations for entropy changes of ideal gases give almost identical results.

İdeal Gazların İzantropik Hal Değişimleri

Sabit Özgül Isılar (Yaklaşık Çözüm)

$$s_2 - s_1 = c_{v,avg} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

denklemini sıfıra
eşitleyerek, elde ederiz

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = -\frac{R}{c_v} \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{R/c_v}$$

$$R = c_p - c_v, k = c_p/c_v$$

and thus $R/c_v = k - 1$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \quad \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

*ideal gas
Valid for *isentropic process
*constant specific heats

İdeal gazın izantropik bağıntıları
yalnızca ideal gazların hal
değişimleri için geçerlidir.

$$TV^{k-1} = \text{constant}$$
$$TP^{(1-k)/k} = \text{constant}$$
$$PV^k = \text{constant}$$

Isentropic Processes of Ideal Gases

Değişken Özgül Isılar (Tam Çözüm)

$$0 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \longrightarrow s_2^\circ = s_1^\circ + R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Bağıl Basınç ve Bağıl Özgül Hacim

$$\frac{P_2}{P_1} = \exp \frac{s_2^\circ - s_1^\circ}{R} \exp(s^\circ/R) \text{ bağıl basınç } P_r \text{ 'dir.}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\exp(s_2^\circ/R)}{\exp(s_1^\circ/R)}$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{s=\text{const.}} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}}$$

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \longrightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_2}{T_1} \frac{P_{r1}}{P_{r2}} = \frac{T_2/P_{r2}}{T_1/P_{r1}}$$

$$\left(\frac{v_2}{v_1} \right)_{s=\text{const.}} = \frac{v_{r2}}{v_{r1}}$$

T/P_r Bağıl Özgül Hacim v_r 'dir.

P_r verisinin izantropik bir hal değişimi sırasında son sıcaklığın hesaplanması için kullanılması.

v_r verisinin izantropik bir hal değişimi sırasında son sıcaklığın hesaplanması için kullanılması

Hal değişimi: izantropik

Verilenler: P_1, T_1 ve P_2

Bulunan: T_2

T	P_r
.	.
.	.
.	.
T_2	$\leftarrow$ oku $P_{r2} = \frac{P_2}{P_1} P_{r1}$
.	.
.	.
T_1	$\rightarrow$ oku P_{r1}
.	.
.	.

Hal değişimi: izantropik

Verilenler: v_1, T_1 ve v_2

Bulunan: T_2

T	v_r
.	.
.	.
.	.
T_2	$\leftarrow$ oku $v_{r2} = \frac{v_2}{v_1} v_{r1}$
.	.
.	.
T_1	$\rightarrow$ oku v_{r1}
.	.
.	.

TERSİNİR SÜREKLİ AKIŞ İŞİ

$$\delta q_{\text{rev}} - \delta w_{\text{rev}} = dh + dke + dpe$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta q_{\text{rev}} = T ds \quad (\text{Eq. 7-16}) \\ T ds = dh - v dP \quad (\text{Eq. 7-24}) \end{array} \right\} \delta q_{\text{rev}} = dh - v dP$$

$$-\delta w_{\text{rev}} = v dP + dke + dpe$$

$$w_{\text{rev}} = - \int_1^2 v dP - \Delta ke - \Delta pe$$

$$w_{\text{rev}} = - \int_1^2 v dP$$

Kinetik ve potansiyel enerjiler önemsiz olduğunda

$$w_{\text{rev,in}} = \int_1^2 v dP + \Delta ke + \Delta pe$$

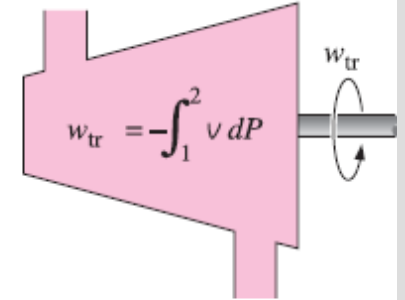
$$w_{\text{rev}} = -v(P_2 - P_1) - \Delta ke - \Delta pe$$

Bir sıvının bir borudaki sürekli akışı gibi, iş etkileşiminin olmadığı bir sistemde, iş terimi sıfırdır (**Bernoulli eşitliği**):

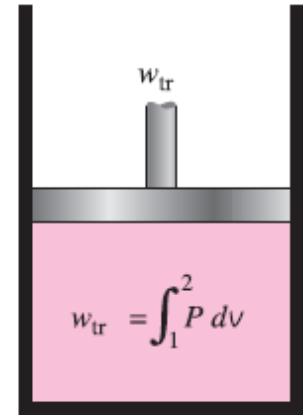
$$v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) = 0$$

$$w = - \int_1^2 v dP$$
$$W = - \int_1^2 V dP$$
$$\mathcal{W} = - \int_1^2 V dP$$

Daha geniş özgül hacim, sürekli akışlı bir sistem tarafından daha büyük iş üretir (yada tüketir).



(a) Sürekli akışlı sistem



(b) Kapalı sistem

Sürekli akışlı ve kapalı sistemler için tersinir iş bağıntısı

Sürekli Akışlı Düzeneklerde En Uygun İş Etkileşiminin Tersinir Bir Hal Değişimi Sırasında Gerçekleştiğinin Kanıtlanması

Isı girişi ve iş çıkışı pozitif alındığında :

$$\delta q_{\text{act}} - \delta w_{\text{act}} = dh + dke + dpe \quad \text{Actual}$$

$$\delta q_{\text{rev}} - \delta w_{\text{rev}} = dh + dke + dpe \quad \text{Reversible}$$

$$\delta q_{\text{act}} - \delta w_{\text{act}} = \delta q_{\text{rev}} - \delta w_{\text{rev}}$$

$$\delta w_{\text{rev}} - \delta w_{\text{act}} = \delta q_{\text{rev}} - \delta q_{\text{act}}$$

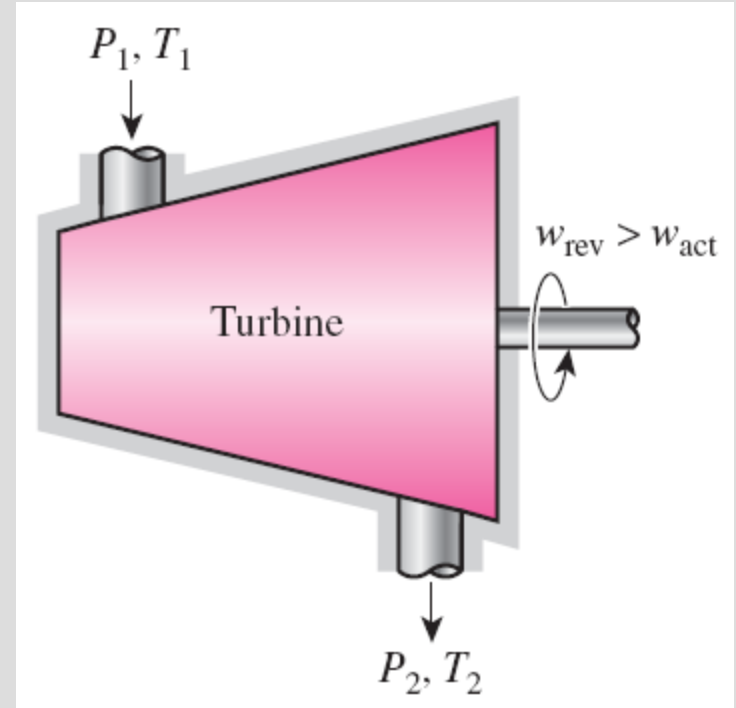
$$\delta q_{\text{rev}} = T ds \quad ds \geq \frac{\delta q_{\text{act}}}{T}$$

$$\frac{\delta w_{\text{rev}} - \delta w_{\text{act}}}{T} = ds - \frac{\delta q_{\text{act}}}{T} \geq 0$$

$$\delta w_{\text{rev}} \geq \delta w_{\text{act}}$$

$$w_{\text{rev}} \geq w_{\text{act}}$$

Böylece, türbin gibi iş yapan makinalarda hal değişimleri tersinir olduğu zaman daha çok iş yapılır, pompa veya kompresör gibi iş gerektiren makinalarda hal değişimleri tersinir olduğu zaman daha az iş gerekir.



Tersinir bir türbin, tersinmez olandan her ikisinde aynı son durum arasındalarsa daha fazla iş verir.

KOMPRESÖR İŞİNİN EN AZA İNDİRİLMESİ

$$w_{\text{rev,in}} = \int_1^2 v \, dP$$

Kinetik ve potansiyel enerjiler önemsiz olduğunda

Isentropic ($Pv^k = \text{constant}$):

$$w_{\text{comp,in}} = \frac{kR(T_2 - T_1)}{k - 1} = \frac{kRT_1}{k - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

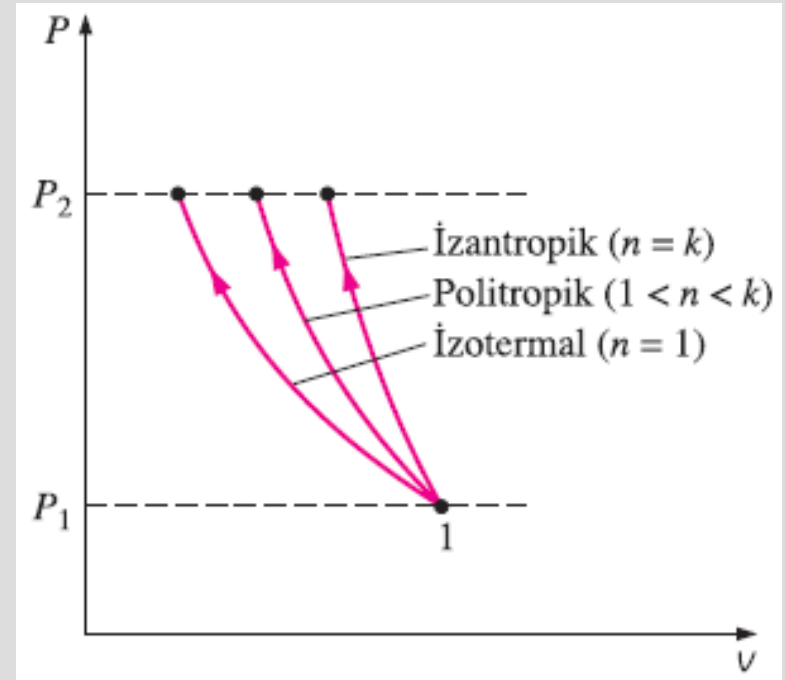
Polytropic ($Pv^n = \text{constant}$):

$$w_{\text{comp,in}} = \frac{nR(T_2 - T_1)}{n - 1} = \frac{nRT_1}{n - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

Isothermal ($Pv = \text{constant}$):

$$w_{\text{comp,in}} = RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Adyabatik sıkıştırma ($Pv^k = \text{sabit}$) en fazla işi gerektirir ve izotermal sıkıştırma ($T = \text{sabit}$) ise en azı gerektirir. **Neden?**

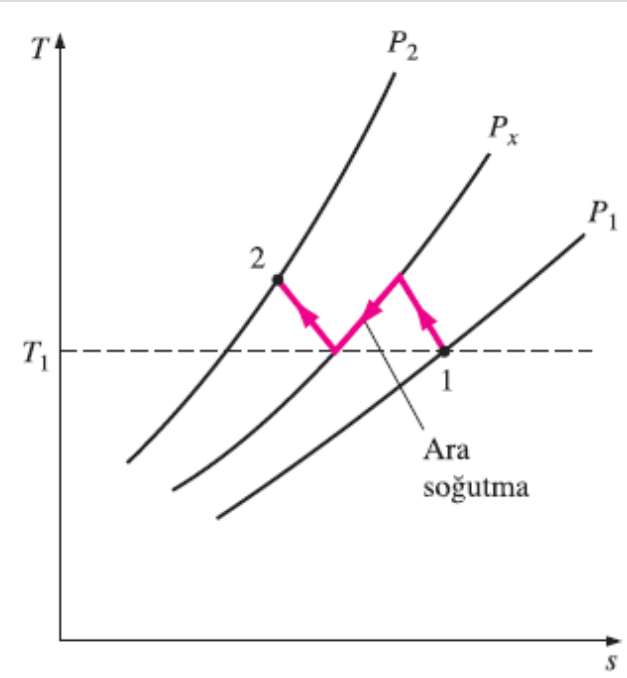
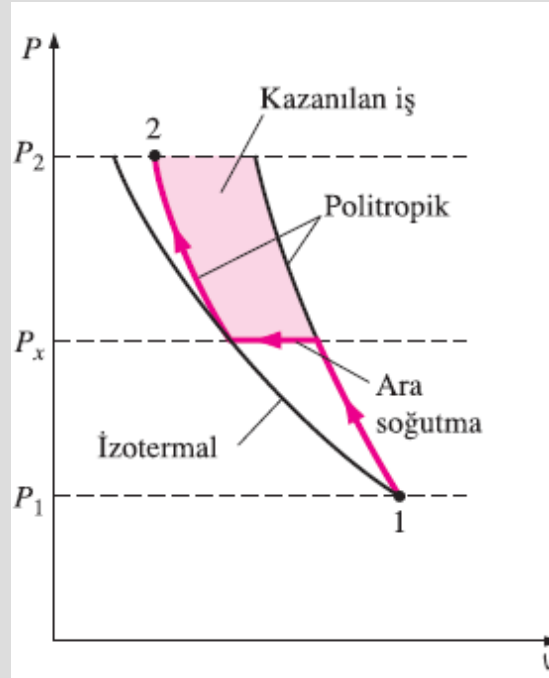


Aynı basınç limitleri arasında İzantropik, politropik ve izotermal kompresyon işinin P - v diyagramı.

Ara Soğutmalı Kademeli Sıkıştırma

Gaz birkaç kademede sıkıştırılır ve kademelerin arasında *ara soğutucu* adı verilen bir ısı değiştiricisinden geçirilerek soğutulur.

İki kademeli sürekli akışlı bir kompresyon için P - v ve T - s diyagramları.



$$W_{\text{komp. g}} = W_{\text{komp. I, g}} + W_{\text{komp. II, g}}$$

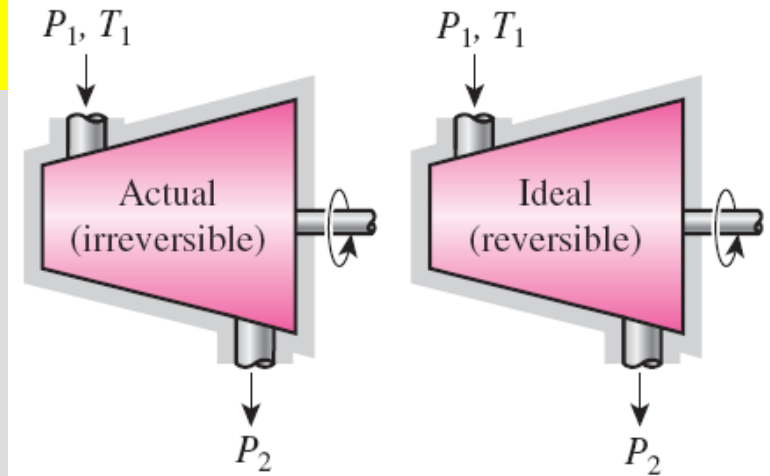
$$= \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] + \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_x} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

$$P_x = (P_1 P_2)^{1/2} \quad \text{or} \quad \frac{P_x}{P_1} = \frac{P_2}{P_x}$$

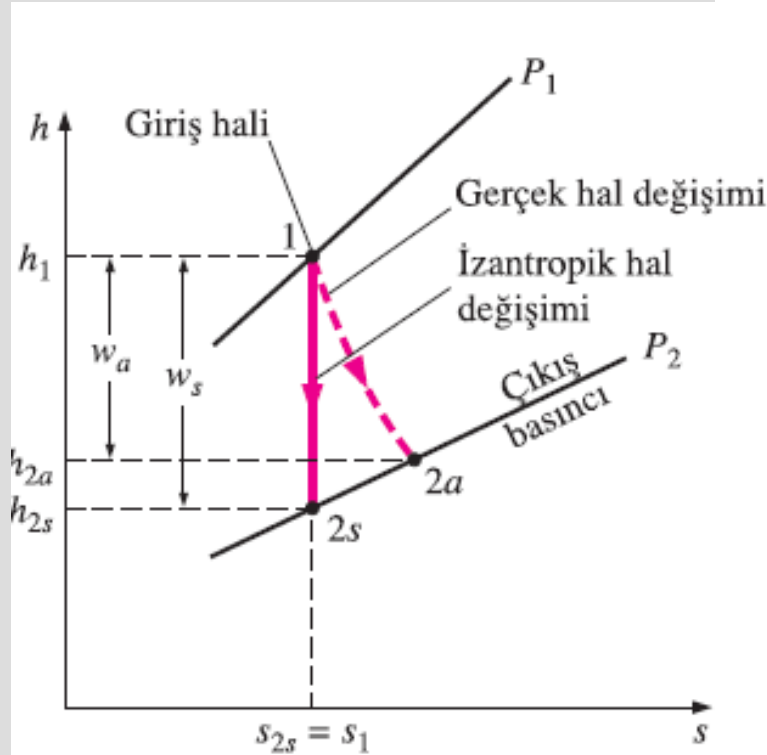
İki kademeli kompresyon sırasında en az iş için, her iki kademenin basınç oranlarının eşit olması gerekmektedir.

SÜREKLİ AKIŞLI DÜZENEKLERİN İZANTROPİK VERİMLERİ

İzantropik işlemler tersinmezlik gerektirmez ve **adyabatik düzenekler** için ideal model vazifesini görürler.



Türbinin izantropik verimi



$$\eta_T = \frac{\text{Gerçek türbin işi}}{\text{İzantropik türbin işi}} = \frac{w_a}{w_s}$$

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Adyabatik bir türbinin izantropik ve gerçek hal değişimi için h - s diyagramı.

Kompresörler ve Pompaların İzantropik Verimleri

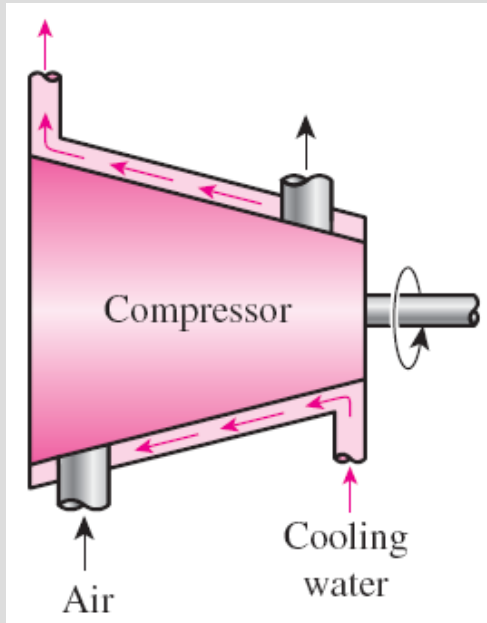
$$\eta_c = \frac{\text{Isentropic compressor work}}{\text{Actual compressor work}} = \frac{w_s}{w_a}$$

$$\eta_c \cong \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad \text{Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal ise}$$

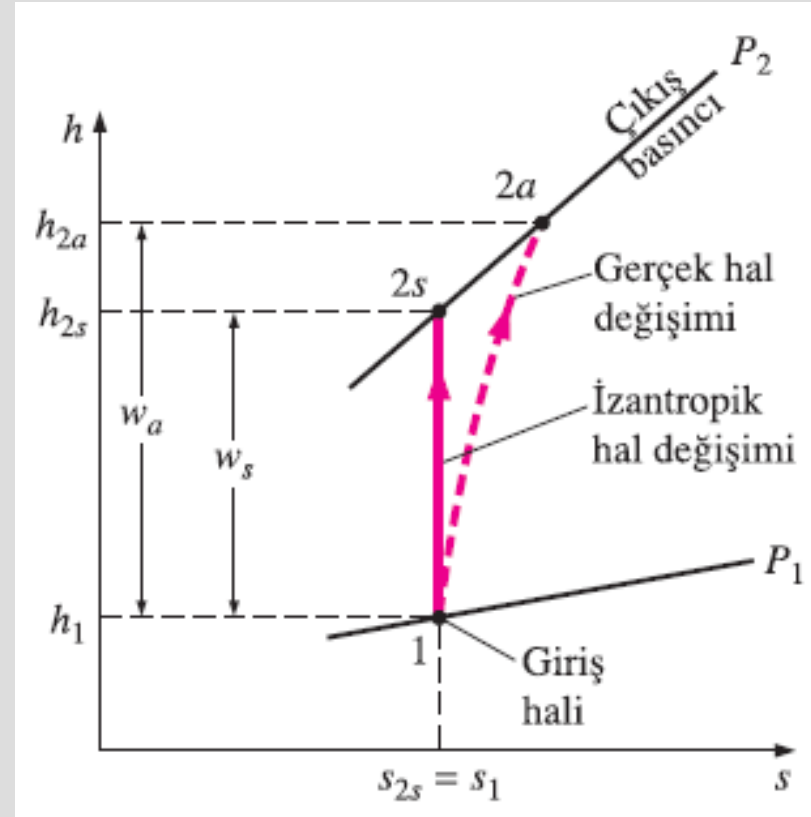
$$\eta_p = \frac{w_s}{w_a} = \frac{v(P_2 - P_1)}{h_{2a} - h_1} \quad \text{Pompa için}$$

$$\eta_c = \frac{w_t}{w_a} \quad \text{İzotermal verim}$$

Adyabatik bir kompresörün izantropik ve gerçek hal değişimi için h - s diyagramı.



Kompresörler iş girdisini en aza indirmek için bazen isteyerek soğutulurlar.



Adyabatik olmayan bir kompresör için izantropik verimi kullanabilir misiniz?

Adyabatik bir kompresör için izotermal verimi kullanabilir misiniz?

Lülelerin İzantropik Verimi

$$\eta_L = \frac{\text{Lüle girişindeki gerçek KE}}{\text{Lüle çıkışındaki izantropik KE}} = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2}$$

Lüleye giriş hızının lüleden çıkış hızına oranla çok küçük olduğu kabul edilirse, enerji dengesi

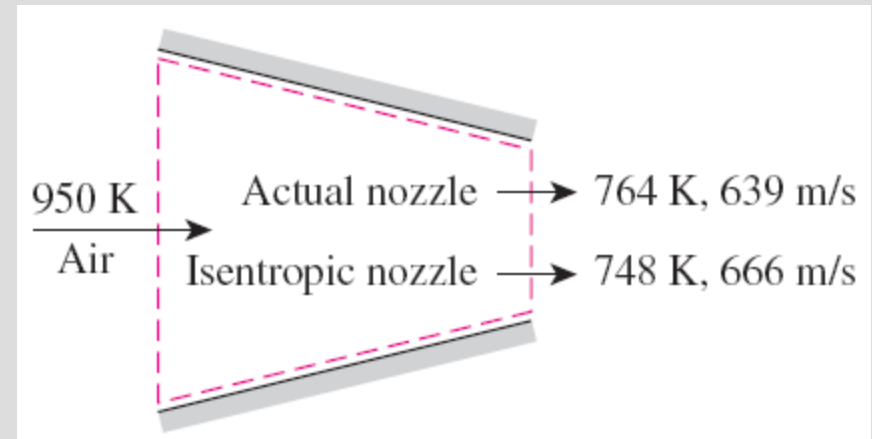
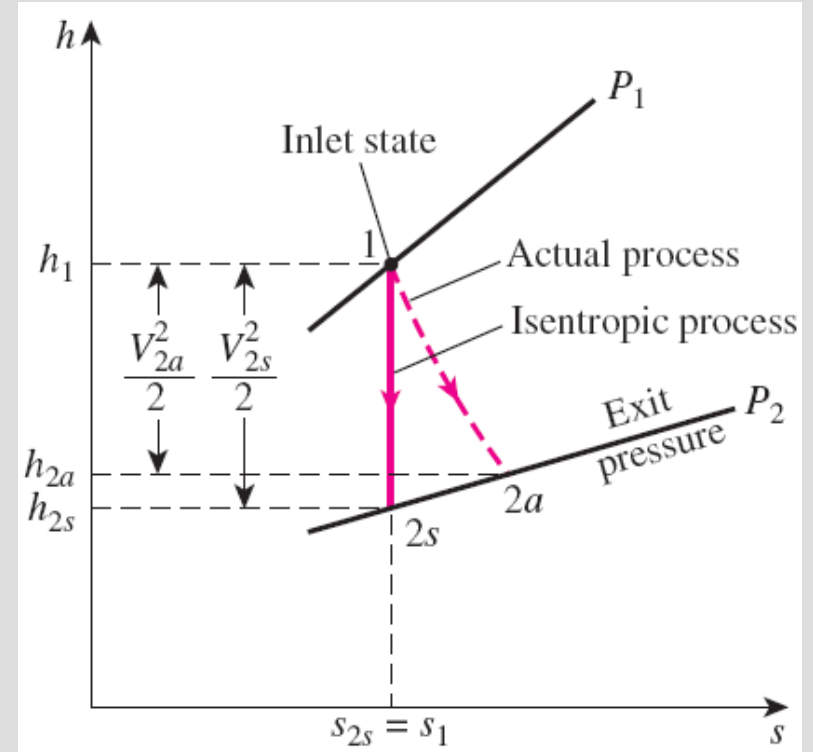
$$h_1 = h_{2a} + \frac{V_{2a}^2}{2}$$

Then,

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Bir maddenin gerçek bir lüleden daha yüksek sıcaklıkta (böylece daha düşük hızda) ayrılması sürtünmenin bir sonucudur.

lülenin izantropik ve gerçek hal değişimi için h - s diyagramı.



ENTROPİ DENGESİ

$$\left(\begin{array}{c} \text{Giren} \\ \text{toplam} \\ \text{enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Çıkan} \\ \text{toplam} \\ \text{entropi} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Üretilen} \\ \text{toplam} \\ \text{entropi} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Sistemdeki} \\ \text{toplam entropi} \\ \text{değişimi} \end{array} \right)$$

$$S_g - S_{\xi} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}}$$

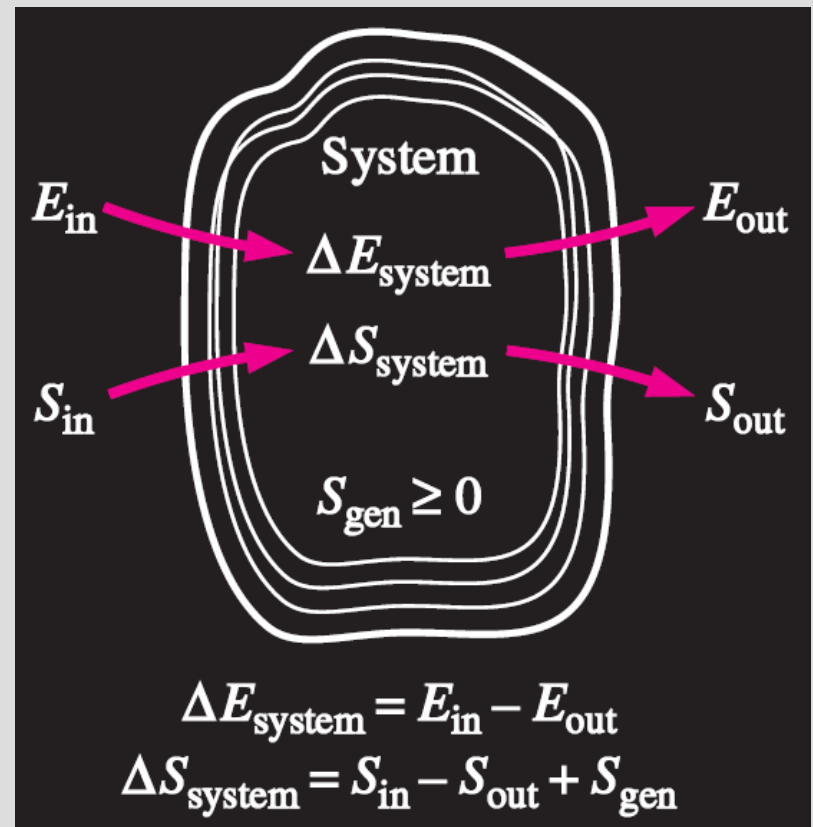
Bir sistemin entropi değişimi, ΔS_{system}

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_{\text{son}} - S_{\text{ilk}} = S_2 - S_1$$

Sistemin özellikleri kararlı olmadığında

$$S_{\text{system}} = \int s \, \delta m = \int_V s \rho \, dV$$

Bir sistem için enerji ve entropi dengeleri.



Entropi Geçişinin Mekanizmaları, S_{in} ve S_{out}

1 Isı Geçışı

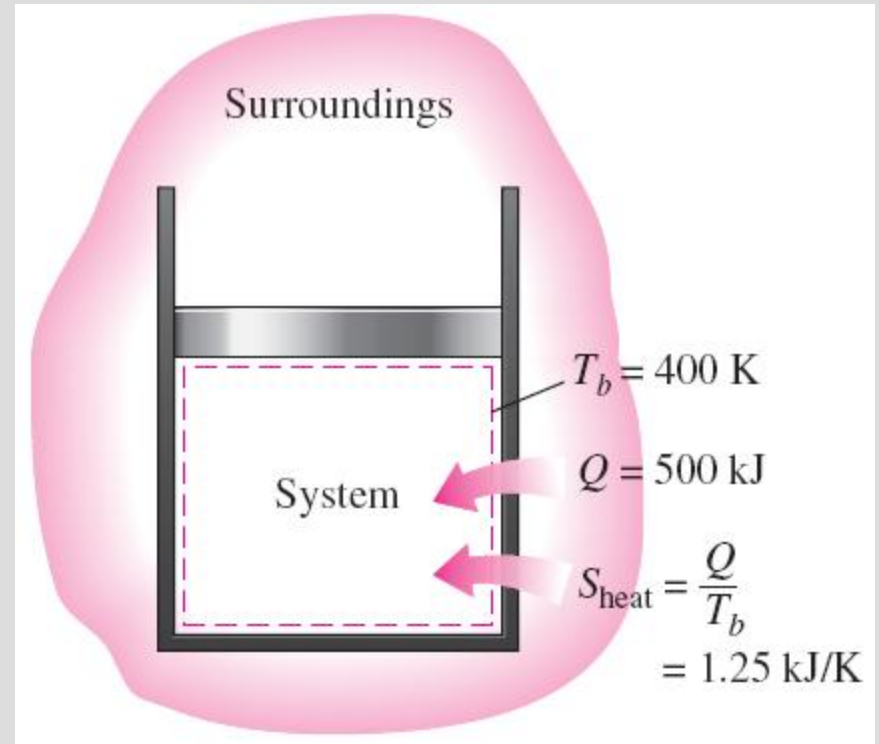
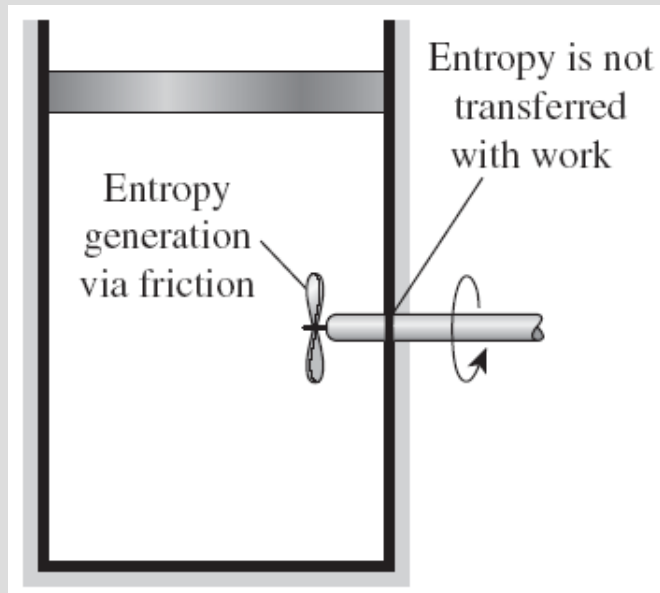
Isı geçişi tarafından entropi geçişi:

$$S_{\text{heat}} = \frac{Q}{T} \quad (T = \text{constant})$$

$$S_{\text{heat}} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \cong \sum \frac{Q_k}{T_k}$$

İş tarafından entropi geçişi:

$$S_{\text{work}} = 0$$



Isı geçişine daima Q/T miktarında entropi transferi tarafından eşlik edilir, orada sınır sıcaklığı T 'dir.

İş sistem sınırlarından geçerken entropi eşlik etmez. Fakat iş enerjinin daha az yararlı formunda iken sistem içinde entropi üretilebilir.

2 Mass Flow

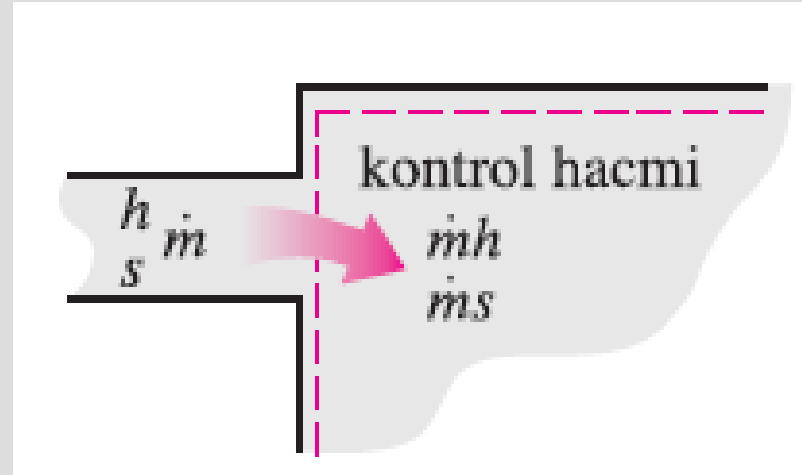
Entropy transfer by mass:

$$S_{\text{mass}} = ms$$

Hal değişimi esnasında
kütlenin özeliği değiştiğinde

$$\dot{S}_{\text{mass}} = \int_{A_c} s \rho V_n dA_c$$

$$S_{\text{mass}} = \int s \delta m = \int_{\Delta t} \dot{S}_{\text{mass}} dt$$



Kütle enerji olduğu kadar entropi de içerir, ve böylece sisteme yada sistemden kütle akışına enerji ve entropi geçişi tarafından eşlik edilir.

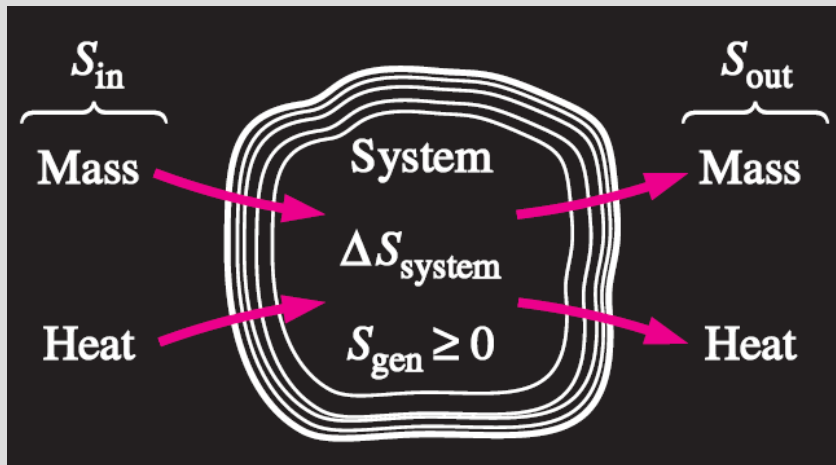
Entropi Üretimi, $S_{\text{üretim}}$

$$\underbrace{S_{\text{in}} - S_{\text{out}}}_{\text{Net entropy transfer by heat and mass}} + \underbrace{S_{\text{gen}}}_{\text{Entropy generation}} = \underbrace{\Delta S_{\text{system}}}_{\text{Change in entropy}} \quad (\text{kJ/K})$$

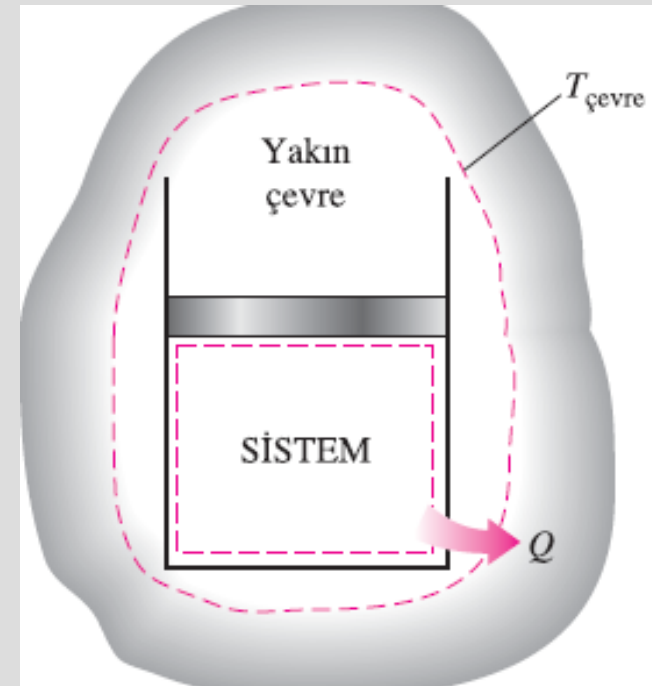
$$\underbrace{\dot{S}_{\text{in}} - \dot{S}_{\text{out}}}_{\text{Rate of net entropy transfer by heat and mass}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{gen}}}_{\text{Rate of entropy generation}} = \underbrace{dS_{\text{system}}/dt}_{\text{Rate of change in entropy}} \quad (\text{kW/K})$$

$$(S_{\text{in}} - S_{\text{out}}) + S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{system}} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

Sistem sınırları dışındaki entropi üretimi sistem ve onun yakın çevresini içeren genişletilmiş bir sistemde bir entropi dengesinin yazılması ile izah edilebilir.



Genel bir sistem için entropi geçiş mekanizması.



Kapalı Sistemler

$$\text{Kapalı sistem:} \quad \sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 \quad (\text{kJ/K})$$

Bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin entropi değişimi, ısı geçişi ile sistem sınırından geçen net entropi ile sistem sınırı içinde üretilen entropinin toplamına eşittir.

$$\text{Adiabatic closed system:} \quad S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{adiabatic system}}$$

$$\text{System + Surroundings:} \quad S_{\text{gen}} = \sum \Delta S = \Delta S_{\text{system}} + \Delta S_{\text{surroundings}}$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1) \quad \Delta S_{\text{çevre}} = Q_{\text{çevre}}/T_{\text{çevre}}$$

$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum m_g s_g - \sum m_{\dot{c}} s_{\dot{c}} + S_{\text{üretim}} = (S_2 - S_1)_{\text{KH}} \quad (\text{kJ/K})$$

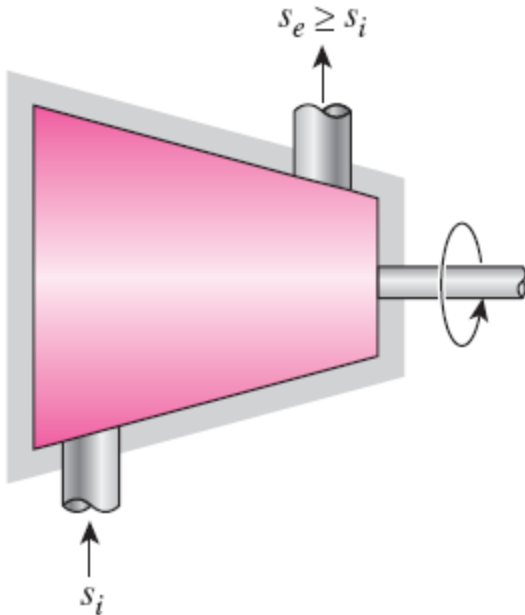
$$\sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_{\dot{c}} s_{\dot{c}} + \dot{S}_{\text{üretim}} = dS_{\text{CV}}/dt \quad (\text{kW/K})$$

Sürekli Akım: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_{\dot{c}} s_{\dot{c}} - \sum \dot{m}_g s_g - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$

Sürekli akım; tek akış: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_{\dot{c}} - s_g) - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$

Sürekli akım, tek akış, adyabatik: $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_{\dot{c}} - s_g)$

Bir hal değişimi sırasında kontrol hacmi içindeki entropi değişimi miktarı; ısı geçişi ile kontrol hacmi sınırında gerçekleşen entropi geçişinin miktarı ve kontrol hacmi içine kütle akışı ile entropi geçişinin net miktarı ile tersinmezliklerin bir sonucu olarak kontrol hacmi içindeki entropi üretimi miktarının toplamına eşittir.



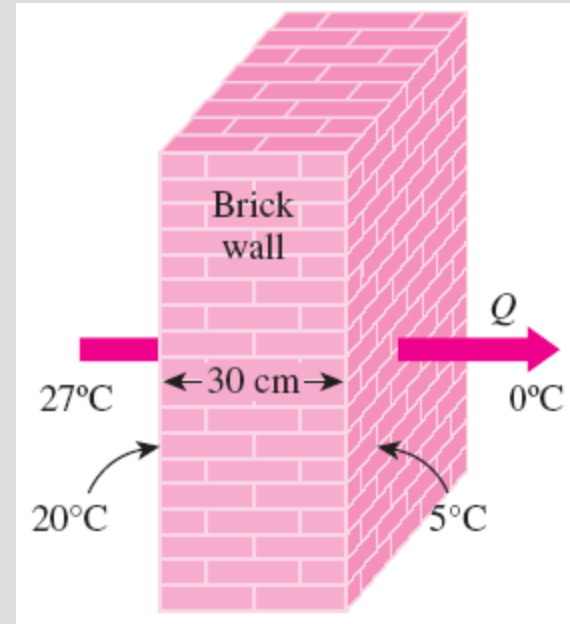
Bir maddenin entropisi tek-akışlı, adyabatik, sürekli akışlı düzeneklerin içinden akarken daima artar (yada tersinir bir hal değişimi durumunda sabit kalır).

Kontrol Hacimleri

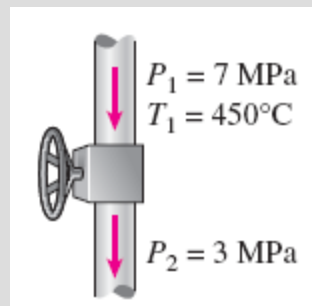
Bir kontrol hacminin entropi değişimi ısı transferi kadar kütle akışının da bir sonucudur.

EXAMPLES

Entropy balance for heat transfer through a wall



Entropy balance for a throttling process



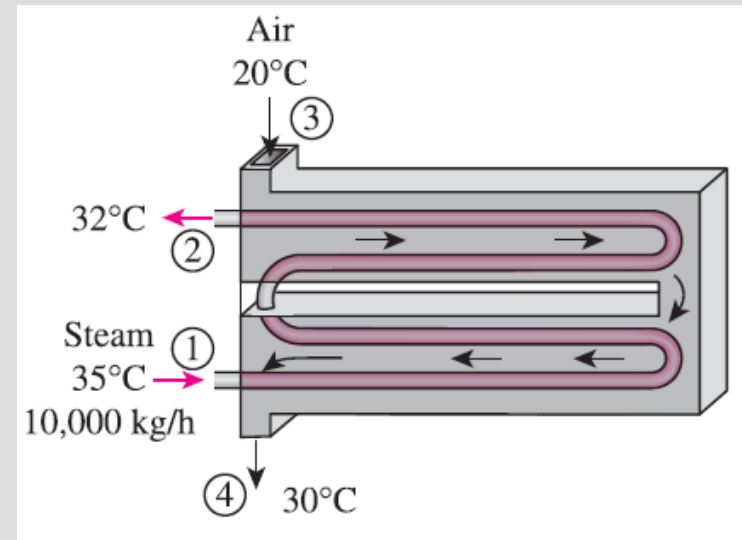
Entropy Generated when a Hot Block Is Dropped in a Lake



or $S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{system}} + \Delta S_{\text{lake}}$

$$\underbrace{S_{\text{in}} - S_{\text{out}}}_{\text{Net entropy transfer by heat and mass}} + \underbrace{S_{\text{gen}}}_{\text{Entropy generation}} = \underbrace{\Delta S_{\text{system}}}_{\text{Change in entropy}}$$

$$-\frac{Q_{\text{out}}}{T_b} + S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{system}}$$



Entropy Generation in a Heat Exchanger

$$\underbrace{\dot{S}_{\text{in}} - \dot{S}_{\text{out}}}_{\text{Rate of net entropy transfer by heat and mass}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{gen}}}_{\text{Rate of entropy generation}} = \underbrace{\Delta \dot{S}_{\text{system}}}_{\text{Rate of change in entropy}} \xrightarrow{0 \text{ (steady)}}$$

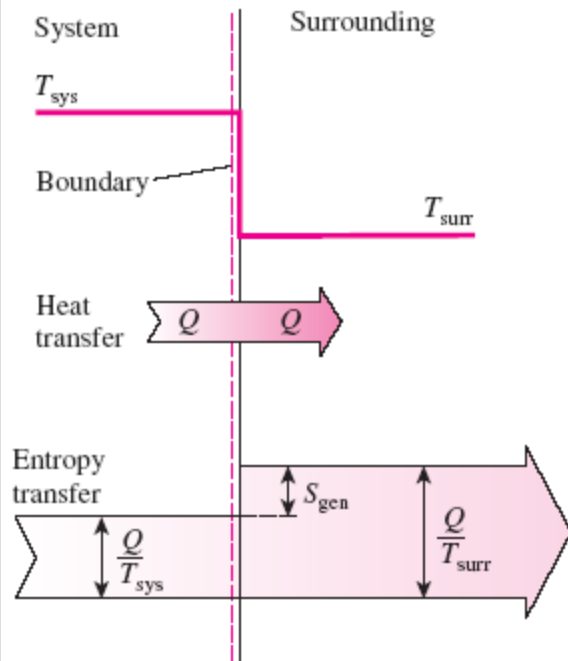
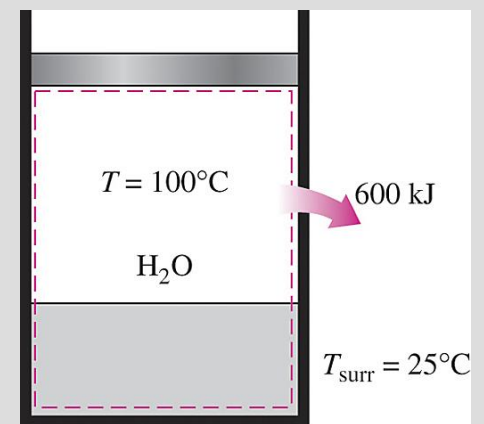
$$\dot{m}_{\text{steam}} s_1 + \dot{m}_{\text{air}} s_3 - \dot{m}_{\text{steam}} s_2 - \dot{m}_{\text{air}} s_4 + \dot{S}_{\text{gen}} = 0$$

$$\dot{S}_{\text{gen}} = \dot{m}_{\text{steam}} (s_2 - s_1) + \dot{m}_{\text{air}} (s_4 - s_3)$$

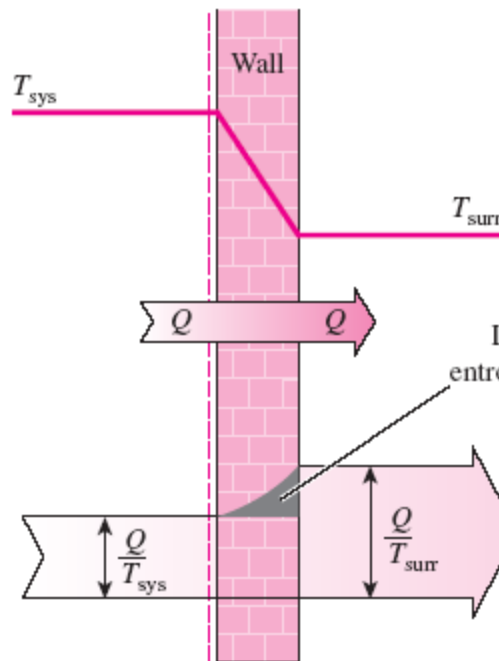
Entropy generation associated with a heat transfer process

$$\underbrace{S_{\text{in}} - S_{\text{out}}}_{\text{Net entropy transfer by heat and mass}} + \underbrace{S_{\text{gen}}}_{\text{Entropy generation}} = \underbrace{\Delta S_{\text{system}}}_{\text{Change in entropy}}$$

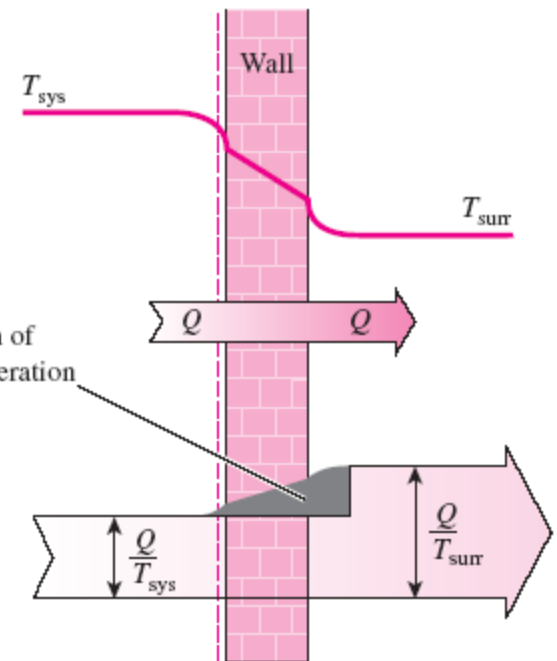
$$-\frac{Q_{\text{out}}}{T_b} + S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{system}}$$



(a) The wall is ignored



(b) The wall is considered



(c) The wall as well as the variations of temperature in the system and the surroundings are considered

Graphical representation of entropy generation during a heat transfer process through a finite temperature difference.

Summary

- Entropi
- Entropinin Artışı İlkesi
- Entropi üzerine bazı yorumlar
- Saf maddelerin entropi değişimi
- İzantropik hal değişimleri
- Entropi içeren özellik diyagramları
- Entropi nedir?
- $T ds$ bağıntıları
- Katı ve sıvıların entropi değişimi
- İdeal gazların entropi değişimi
- Tersinir sürekli akış işi
- Kompresör işinin azaltılması
- Sürekli akışlı düzeneklerin izantropik verimleri
- Entropi dengesi

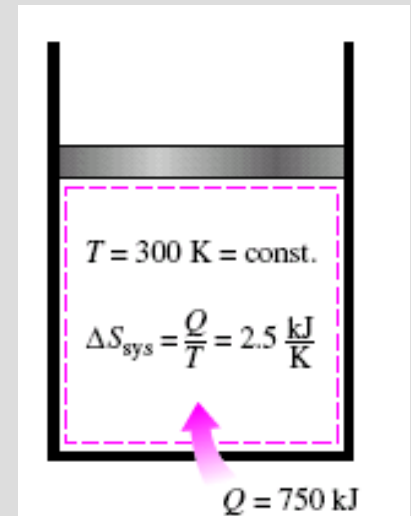
ÖRNEK

Bir hal değişimi sırasında, sistemden 300 K sıcaklıktaki çevre havaya, şekilde gösterildiği gibi 750 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu hal değişimi sırasında çevre havanın entropi değişimini hesaplayın

Çözüm

Çevre hava büyük miktarlarda ısı alışverişini sıcaklığı değişmeden yapabilmektedir. Bu nedenle, 300 K sıcaklıkta bir ısı enerji deposu olarak gözönüne alınabilir ve entropi değişimi:

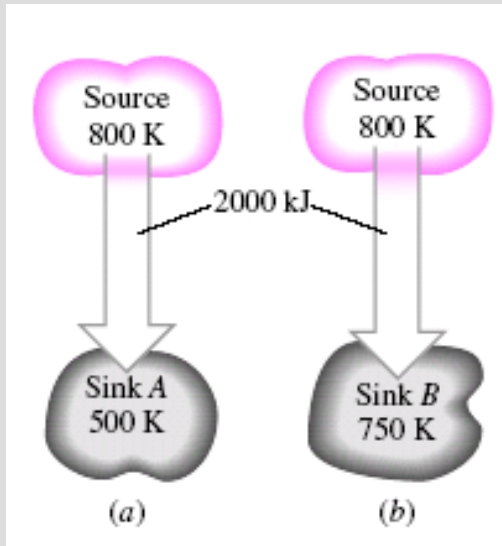
$$\Delta S_{\text{sys, isothermal}} = \frac{Q}{T_{\text{sys}}} = \frac{750 \text{ kJ}}{300 \text{ K}} = 2.5 \text{ kJ/K}$$



$Q_{\text{çevre}}$ ve $\Delta S_{\text{çevre}}$ artı değerlerdir, çünkü ısı geçişi çevreye olmaktadır.

ÖRNEK

800 K sıcaklıktaki bir ısı enerji deposundan (a) 500 K, (b) 750 K sıcaklığındaki bir ısı enerji deposuna 2000 kJ ısı ısı geçişi olmaktadır. Hangi işlemin daha tersinmez olduğunu belirleyin.



(a) For the heat transfer process to a sink at 500 K:

$$\Delta S_{\text{source}} = \frac{Q_{\text{source}}}{T_{\text{source}}} = \frac{-2000 \text{ kJ}}{800 \text{ K}} = -2.5 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{sink}} = \frac{Q_{\text{sink}}}{T_{\text{sink}}} = \frac{2000 \text{ kJ}}{500 \text{ K}} = +4.0 \text{ kJ/K}$$

and

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{source}} + \Delta S_{\text{sink}} = (-2.5 + 4.0) \text{ kJ/K} = +1.5 \text{ kJ/K}$$

(b) Repeating the calculations in part (a) for a sink temperature of 750 K, we obtain

$$\Delta S_{\text{source}} = -2.5 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{sink}} = +2.7 \text{ kJ/K}$$

and

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{total}} = (-2.5 + 2.7) \text{ kJ/K} = +0.2 \text{ kJ/K}$$

İkinci şıktaki ısı geçişi için toplam entropi değişimi daha azdır, bu nedenle tersinmezlik daha azdır. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü ısı enerji depoları arasındaki sıcaklık farkı daha küçüktür. Bu hal değişimleriyle ilgili tersinmezlikler iki ısı enerji deposu arasında bir Carnot ısı makinesini çalıştırarak yokedilebilir, bu durumda $\Delta S_{\text{top}} = 0$ olur.

ÖRNEK

Sabit hacimli kapalı bir kapta başlangıçta 20 °C sıcaklık ve 140 kPa basınçta 5 kg soğutucu akışkan-134a bulunmaktadır. Daha sonra soğutucu akışkandan basıncı 100 kPa olana kadar ısı çekilmekte ve bu arada soğutucu akışkan bir döner kanatla karıştırılmaktadır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkan-134a'nin entropi değişimini hesaplayın.

Çözüm

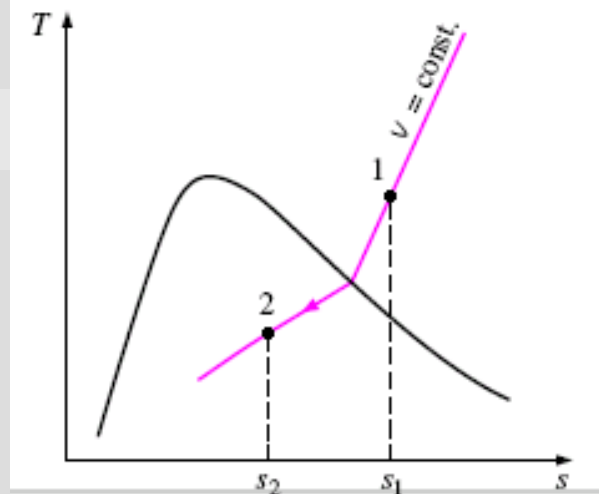
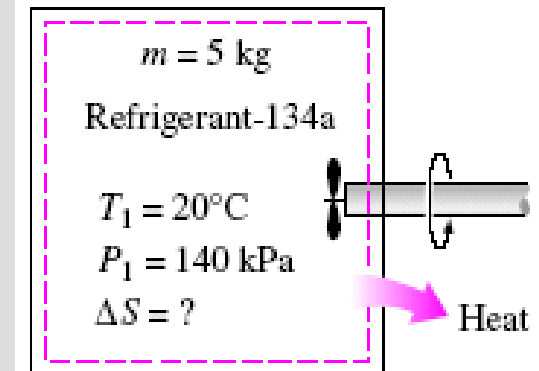
$$\text{State 1:} \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ kPa} \\ T_1 = 20^\circ\text{C} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} s_1 = 1.0624 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ v_1 = 0.16544 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\}$$

$$\text{State 2:} \quad \left. \begin{array}{l} P_2 = 100 \text{ kPa} \\ (v_2 = v_1) \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} v_f = 0.0007259 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_g = 0.19254 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.16544 - 0.0007259}{0.19254 - 0.0007259} = 0.859$$

$$s_2 = s_f + x_2 s_{fg} = 0.07188 + (0.859)(0.87995) = 0.8278 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

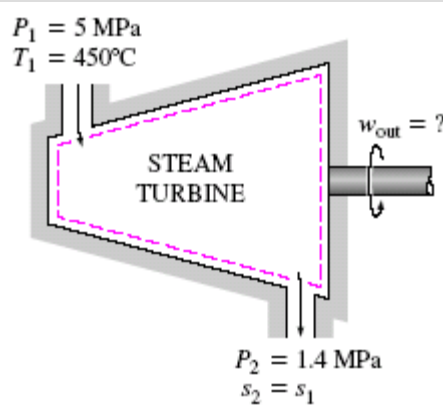
$$\begin{aligned} \Delta S &= m(s_2 - s_1) = (5 \text{ kg})(0.8278 - 1.0624) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ &= -1.173 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$



ÖRNEK

Su buharı sürekli akışlı adyabatik bir türbine 5 MPa basınç ve 450 °C sıcaklıkta girmekte ve 1.4 MPa basınçta çıkmaktadır. Akışın tersinir, kinetik ve potansiyel enerji değişimlerinin ihmal edilebilir olduğunu kabul ederek, türbindeki akış sırasında buharın birim kütlesi tarafından yapılan işi hesaplayın.

Çözüm



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

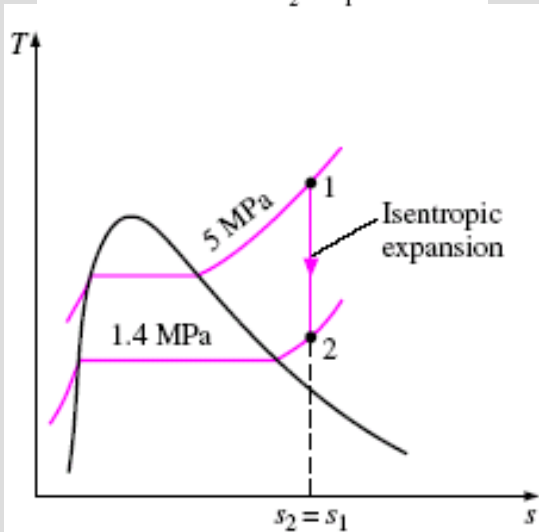
$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{\text{out}} + \dot{m}h_2 \quad (\text{since } \dot{Q} = 0, \text{ ke} \approx \text{pe} \approx 0)$$

$$\dot{W}_{\text{out}} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

State 1:	$P_1 = 5 \text{ MPa}$ $T_1 = 450^\circ\text{C}$	$h_1 = 3317.2 \text{ kJ/kg}$ $s_1 = 6.8210 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$
State 2:	$P_2 = 1.4 \text{ MPa}$ $s_2 = s_1$	$h_2 = 2967.4 \text{ kJ/kg}$

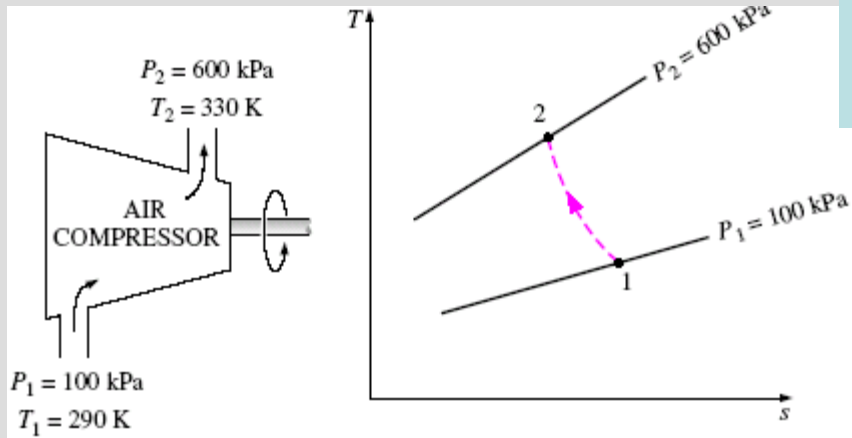
$$w_{\text{out}} = h_1 - h_2 = 3317.2 - 2967.4 = 349.8 \text{ kJ/kg}$$



ÖRNEK

Azot gazı sürekli akışlı açık bir sistemde, 100 kPa basınç ve 17 °C sıcaklıktan 600 kPa basınç ve 57 °C sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma işlemi sırasında azotun entropi değişimini, (a) azot tablosundaki özellik değerlerini kullanarak, (b) ortalama özgül ısıları kullanarak hesaplayın.

Verilen koşullarda azot mükemmel gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığında sıcaklığı yüksek, basıncı düşüktür (azot için, $T_{cr} = -147$ °C ve $P_{cr} = 3390$ kPa). Bu nedenle mükemmel gaz kabulü altında çıkarılan entropi değişimi bağıntıları bu probleme uygulanabilir.



(a) Azot tablosunda (Tablo A-18) verilen özellikler birim-mol için verilmiştir. Verilen sıcaklıklardaki s° değerleri tablodan okunur ve denkleme konursa,

$$\begin{aligned} s_2 - s_1 &= s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= [(1.79783 - 1.66802) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}] - (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{600 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \\ &= -0.3844 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

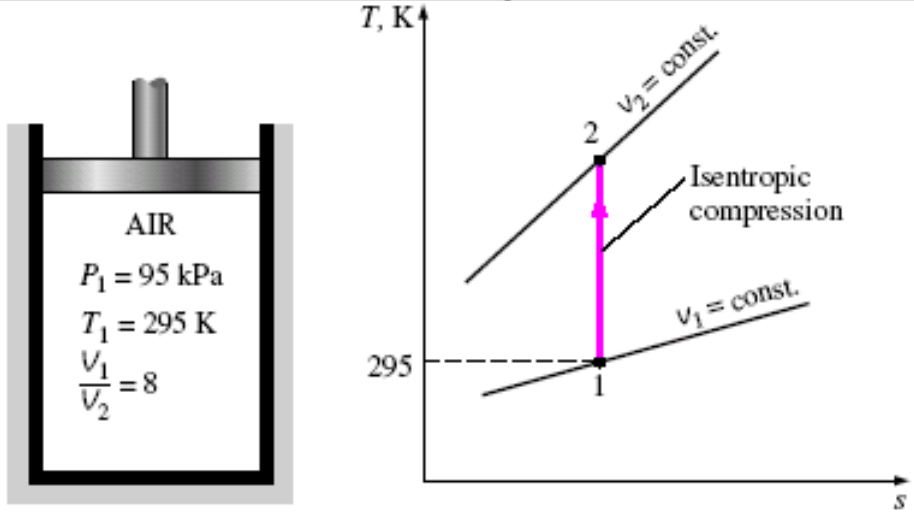
b) Bu kez C_p değeri sabit kabul edilsin ve ortalama sıcaklık olan 37 °C sıcaklıktaki C_p değeri (Tablo A-26) kullanılsın.

$$\begin{aligned} s_2 - s_1 &= c_{p,av} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= (1.006 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{330 \text{ K}}{290 \text{ K}} - (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{600 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \\ &= -0.3842 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

ÖRNEK

Hava, adyabatik bir piston-silindir düzeneğinde tersinir bir hal değişimiyle sıkıştırılmaktadır. Başlangıçta havanın sıcaklığı 22°C, basıncı 95 kPa'dir. Piston-silindir düzeneğinin hacimsel sıkıştırma oranı $V_1/V_2 = 8$ olduğuna göre, havanın son haldeki sıcaklığını hesaplayın.

Verilen koşullarda hava mükemmel bir gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığında, sıcaklığı yüksek, basıncı düşüktür. Bu nedenle mükemmel gazlar için geliştirilen izantropik bağıntılar bu probleme uygulanabilir.



For closed systems: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{v_2}{v_1}$

At $T_1 = 295 \text{ K}$: $v_{r1} = 647.9$

$$v_{r2} = v_{r1} \left(\frac{v_2}{v_1} \right) = (647.9) \left(\frac{1}{8} \right) = 80.99 \rightarrow T_2 = 662.7 \text{ K}$$

İkinci çözüm yolu Son haldeki sıcaklık, havanın özgül ısısını sabit kabul ederek hesaplanabilir:

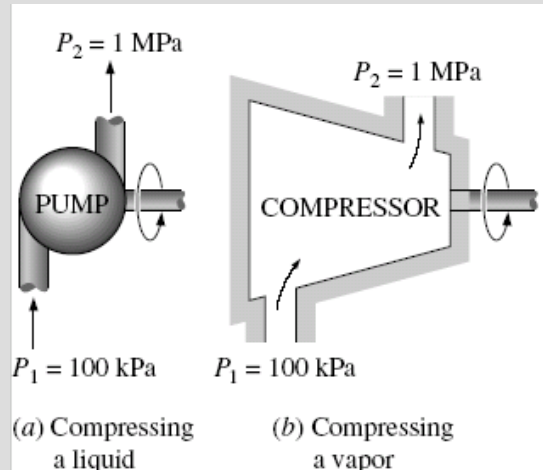
$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$T_2 = (295 \text{ K})(8)^{1.391-1} = 665.2 \text{ K}$$

ÖRNEK

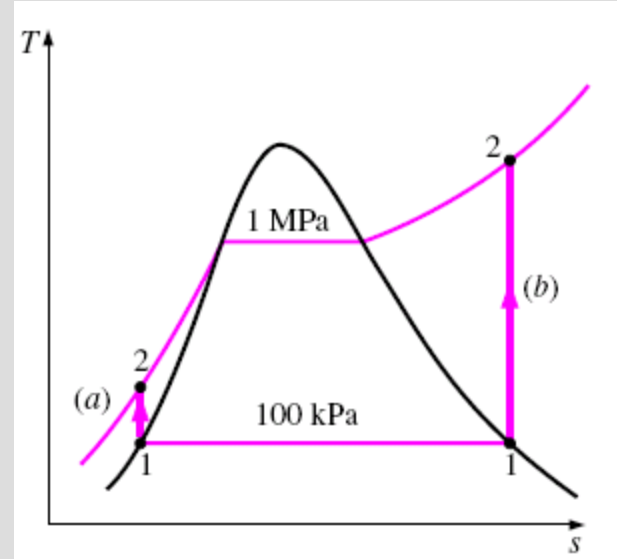
Suyu 100 kPa basınçtan 1 MPa basınca sürekli akışlı bir sistemde izantropik olarak sıkıştırmak için gerekli işi, suyun ilk halde (a) doymuş sıvı, (b) doymuş buhar olduğunu kabul ederek hesaplayın. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal edin.

Aracı akışkan sıvı olduğu için pompadaki işin çok daha az olması beklenmektedir. Sıkıştırmanın tersinir olduğu, kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edilebileceği problemde belirtilmiştir.



(a) Bu durumda su başlangıçta doymuş sıvı halindedir, özgül hacmi Tablo A-5' ten bulunabilir:

$$v_1 = v_{f@ 100 \text{ kPa}} = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg}$$



$$\begin{aligned} w_{\text{rev, in}} &= \int_1^2 v \, dP \cong v_1(P_2 - P_1) \\ &= (0.001043 \text{ m}^3/\text{kg})[(1000 - 100) \text{ kPa}] \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) \\ &= 0.94 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

(b) Bu kez su başlangıçta doymuş buhar halindedir ve sıkıştırma sırasında buhar halinde kalır. Bir gazın özgül hacmi sıkıştırma sırasında önemli ölçüde değiştiği için,

$$\left. \begin{array}{l} T ds = dh - v dP \quad (\text{Eq. 7-24}) \\ ds = 0 \quad (\text{isentropic process}) \end{array} \right\} v dP = dh$$

$$w_{\text{rev, in}} = \int_1^2 v dP = \int_1^2 dh = h_2 - h_1$$

$$\text{State 1:} \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = 100 \text{ kPa} \\ (\text{sat. vapor}) \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} h_1 = 2675.0 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 7.3589 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \right\} \quad (\text{Table A-5})$$

$$\text{State 2:} \quad \left. \begin{array}{l} P_2 = 1 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} \quad h_2 = 3194.5 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-6})$$

Thus,

$$w_{\text{rev, in}} = (3194.5 - 2675.0) \text{ kJ/kg} = \mathbf{519.5 \text{ kJ/kg}}$$

ÖRNEK

Hava sürekli akışlı, tersinir bir kompresörde 100 kPa basınç ve 300 K sıcaklıktan, 900 kPa basınca sıkıştırılmaktadır. Akışkanın birim kütlesi için sıkıştırma işini, sıkıştırmanın (a) $k = 1.4$ olmak üzere izantropik, (b) $n = 1.3$ olmak üzere politropik, (c) sabit sıcaklıkta, (d) $n=1.3$ olmak üzere tersinir, iki kademeli ve arasoğutmalı olması durumunda hesaplayın.

Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığı zaman sıcaklığı yüksek ve basıncı düşüktür.

(a) Isentropic compression with $k = 1.4$:

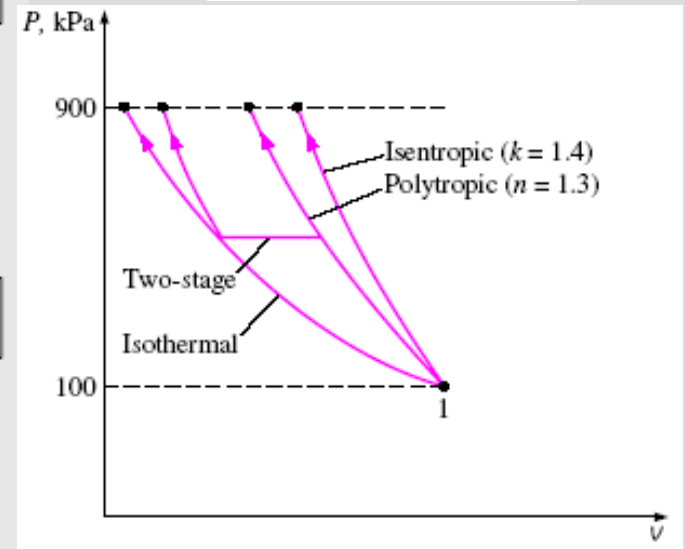
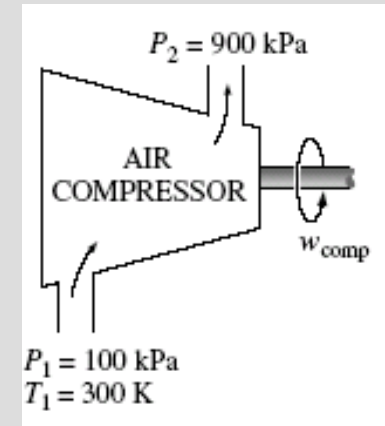
$$\begin{aligned}w_{\text{comp, in}} &= \frac{kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \\&= \frac{(1.4)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{1.4 - 1} \left[\left(\frac{900 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{(1.4-1)/1.4} - 1 \right] \\&= \mathbf{263.2 \text{ kJ/kg}}\end{aligned}$$

(b) Polytropic compression with $n = 1.3$:

$$\begin{aligned}w_{\text{comp, in}} &= \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \\&= \frac{(1.3)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{1.3 - 1} \left[\left(\frac{900 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{(1.3-1)/1.3} - 1 \right] \\&= \mathbf{246.4 \text{ kJ/kg}}\end{aligned}$$

(c) Isothermal compression:

$$\begin{aligned}w_{\text{comp, in}} &= RT \ln \frac{P_2}{P_1} = (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K}) \ln \frac{900 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \\&= \mathbf{189.2 \text{ kJ/kg}}\end{aligned}$$



(d) Ideal two-stage compression with intercooling ($n = 1.3$): In this case, the pressure ratio across each stage is the same, and its value is

$$P_x = (P_1 P_2)^{1/2} = [(100 \text{ kPa})(900 \text{ kPa})]^{1/2} = 300 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{comp, in}} &= 2w_{\text{comp I, in}} = 2 \frac{nRT_1}{n-1} \left[\left(\frac{P_x}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \\ &= \frac{2(1.3)(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{1.3-1} \left[\left(\frac{300 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{(1.3-1)/1.3} - 1 \right] \\ &= \mathbf{215.3 \text{ kJ/kg}} \end{aligned}$$

Yukarıdan görüleceği gibi, sabit sıcaklıkta sıkıştırma en az işi, izantropik sıkıştırma da en çok işi gerektirmektedir, iki kademeli politropik sıkıştırma kullanıldığı zaman kompresör işi azalmaktadır. Kademe sayısı arttıkça, kompresör işi sabit sıcaklıkta sıkıştırma için bulunan değere yaklaşacaktır.

ÖRNEK

Su buharı sürekli akışlı bir adyabatik türbine 3 MPa basınç ve 400 °C sıcaklıkta girmekte, 50 kPa basınç ve 100 °C sıcaklıkta çıkmaktadır. Türbinin gücü 2 MW olup buharın türbindeki kinetik enerji değişimi ihmal edilebilir, (a) Türbinin adyabatik verimini, (b) türbinde akan su buharının kütle debisini hesaplayın.

Çözüm

(a) Türbin adyabatiktir, ayrıca akışın kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim ihmal edilebilecek

$$\text{State 1: } \left. \begin{array}{l} P_1 = 3 \text{ MPa} \\ T_1 = 400^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 3231.7 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6.9235 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \quad (\text{Table A-6})$$

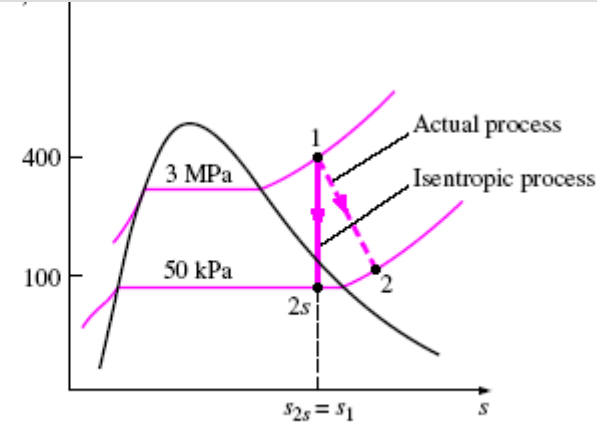
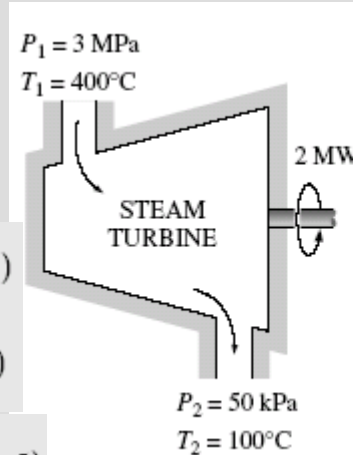
$$\text{State 2a: } \left. \begin{array}{l} P_{2a} = 50 \text{ kPa} \\ T_{2a} = 100^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_{2a} = 2682.4 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-6})$$

$$\text{State 2s: } \left. \begin{array}{l} P_{2s} = 50 \text{ kPa} \\ (s_{2s} = s_1) \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} s_f = 1.0912 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ s_g = 7.5931 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \quad (\text{Table A-5})$$

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.9235 - 1.0912}{6.5019} = 0.897$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s}h_{fg} = 340.54 + 0.897(2304.7) = 2407.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3231.7 - 2682.4}{3231.7 - 2407.9} = \mathbf{0.667, \text{ or } 66.7\%}$$



(b) Türbinden geçen su buharının kütle debisi sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu denkleminde belirlenebilir

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

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{a,out} + \dot{m}h_{2a}$$

$$\dot{W}_{a,out} = \dot{m}(h_1 - h_{2a})$$

$$2 \text{ MW} \left(\frac{1000 \text{ kJ/s}}{1 \text{ MW}} \right) = \dot{m}(3231.7 - 2682.4) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \mathbf{3.64 \text{ kg/s}}$$

ÖRNEK

Hava, sürekli akışlı bir adyabatik kompresörde 100 kPa basınç ve 12 °C sıcaklıktan, 800 kPa basınca sıkıştırılmaktadır. Havanın kütle debisi 0.2 kg/s'dir, kompresörün adyabatik verimi yüzde 80'dir. (a) Havanın çıkış sıcaklığını ve (b) kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

(a) Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kal

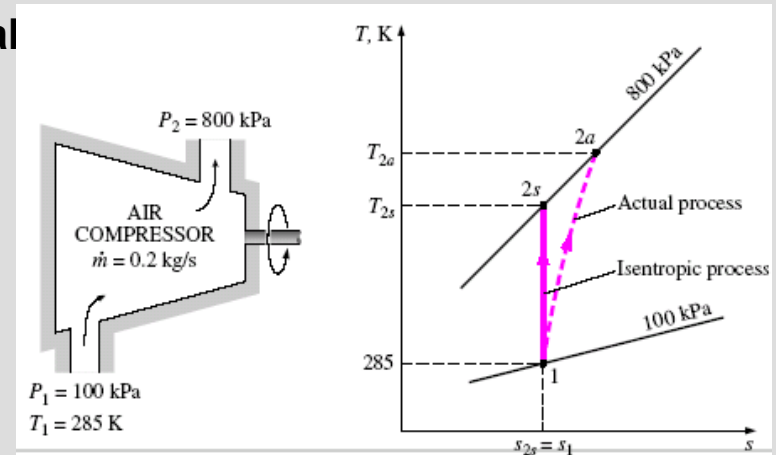
$$T_1 = 285 \text{ K} \rightarrow h_1 = 285.14 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-21})$$
$$(P_{r1} = 1.1584)$$

$$P_{r2} = P_{r1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 1.1584 \left(\frac{800 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right) = 9.2672$$

$$P_{r2} = 9.2672 \rightarrow h_{2s} = 517.05 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Table A-21})$$

$$\eta_c \equiv \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \rightarrow 0.80 = \frac{(517.05 - 285.14) \text{ kJ/kg}}{(h_{2a} - 285.14) \text{ kJ/kg}}$$

$$h_{2a} = 575.03 \text{ kJ/kg} \rightarrow T_{2a} = 569.5 \text{ K} \quad (\text{Table A-21})$$



(b) Kompresörün gerektirdiği güç, sürekli akışlı açık sistemler için enerjinin korunumu denklemini kullanarak hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \dot{E}_{in} &= \dot{E}_{out} \\ \dot{m}h_1 + \dot{W}_{a,in} &= \dot{m}h_{2a} \\ \dot{W}_{a,in} &= \dot{m}(h_{2a} - h_1) \\ &= (0.2 \text{ kg/s})[(575.03 - 285.14) \text{ kJ/kg}] \\ &= 58.0 \text{ kW} \end{aligned}$$

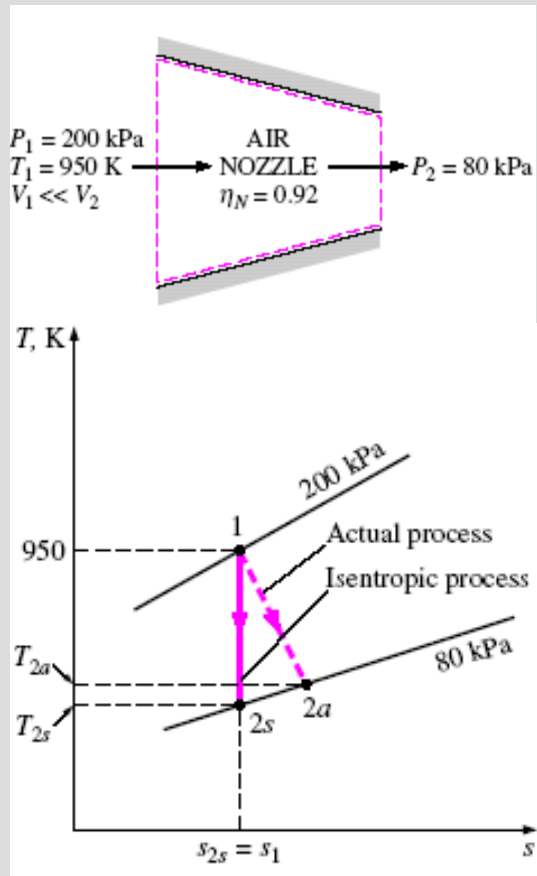
ÖRNEK

200 kPa basınç ve 950 K sıcaklıktaki hava adyabatik bir lüleye düşük bir hızda girmekte ve 80 kPa basınçta çıkmaktadır. Lülenin adyabatik verimi yüzde 92 olduğuna göre, (a) olabilecek en yüksek çıkış hızını, (b) çıkış sıcaklığını ve (c) çıkış hızını hesaplayın.

Çözüm

Verilen koşullarda hava mükemmel gaz kabul edilebilir, çünkü kritik nokta değerleriyle karşılaştırıldığı zaman sıcaklığı yüksek, basıncı ise düşüktür

(a) Lüle çıkışında en yüksek hız, lüledeki hal değişiminde tersinmezliklerin olmaması durumunda gerçekleşebilir.



$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_{2s}}{P_1} \right)^{(k-1)/k}$$

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_{2s}}{P_1} \right)^{(k-1)/k} = (950 \text{ K}) \left(\frac{80 \text{ kPa}}{200 \text{ kPa}} \right)^{0.354/1.354} = 748 \text{ K}$$

$$e_{\text{in}} = e_{\text{out}}$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_{2s} + \frac{V_{2s}^2}{2}$$

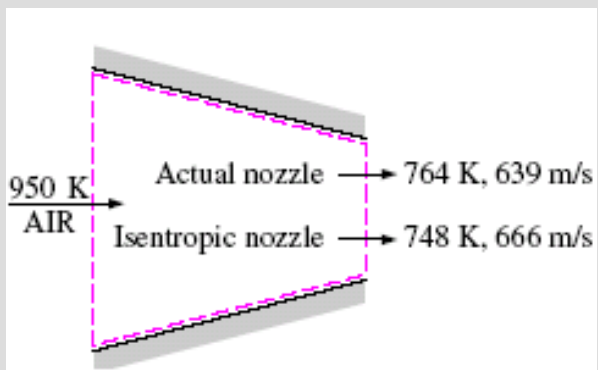
$$\begin{aligned} V_{2s} &= \sqrt{2(h_1 - h_{2s})} = \sqrt{2c_{p, \text{av}}(T_1 - T_{2s})} \\ &= \sqrt{2(1.099 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(950 - 748) \text{ K}} \left(\frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{1 \text{ kJ/kg}} \right) \\ &= 666 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(b) Havanın gerçek çıkış sıcaklığı, yukarıda verilen izantropik çıkış sıcaklığından daha yüksek olacaktır. Özgül ısılar sabit kabul edilirse,

$$\eta_N \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{c_{p,av}(T_1 - T_{2a})}{c_{p,av}(T_1 - T_{2s})}$$

$$0.92 = \frac{950 - T_{2a}}{950 - 748} \rightarrow T_{2a} = 764 \text{ K}$$

(c) Havanın gerçek çıkış hızı, adyabatik lüle veriminin tanımından bulunur



$$\eta_N = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2} \rightarrow V_{2a} = \sqrt{\eta_N V_{2s}^2} = 639 \text{ m/s}$$