[H&S] Kap.11. (1. hovedsetning.) Kretsprosesser.

Forelest tidligere:

11.1 Energibevarelse: 1. hovedsetning	Y&F 19.1-4
11.3 Arbeid og (p,V)-diagram	Y&F 19.2
11.5 Gassers C_p og C_V	Y&F 19.7

Foreleses nå:

11.2 Reversible prosesser	Y&F 20.1
11.4 Kretsprosesser, inkl. 11.7 Carnotprosessen	Y&F 20.6
11.6 Adiabatiske prosesser	Y&F 19.8

Reversible prosesser:

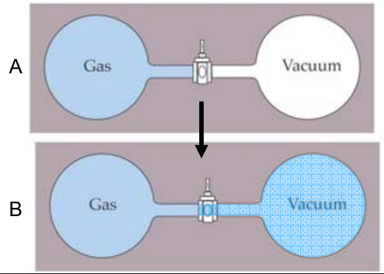
Termisk likevekt under hele prosessen

Langsomt og kontrollert

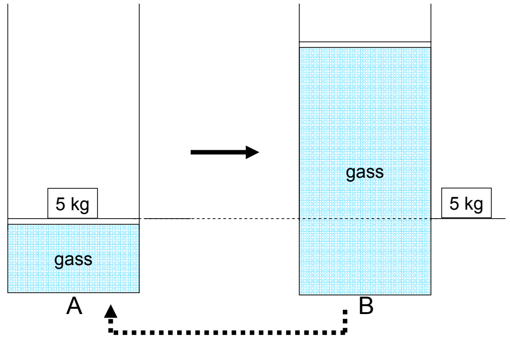
Irreversible prosesser:

Ikke termisk likevekt under prosessen

Raskt og "spontant", eksempel:



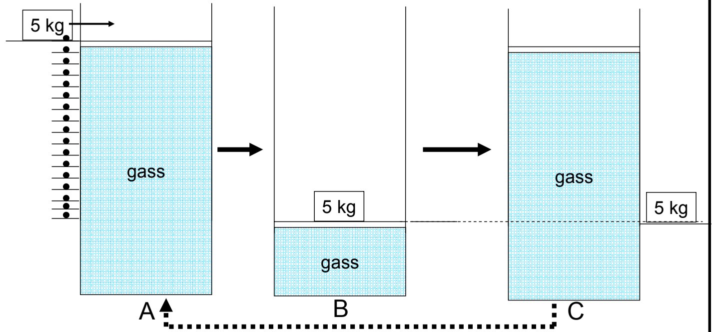
Irreversibel prosess.



Retur til A kun ved å påføre arbeid (løfte opp 5kg-loddet)

Ang. spørsmål forrige tirsdag:

Irreversibel prosess 2

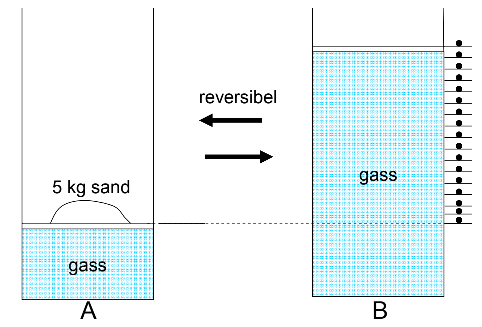


Retur til A kun ved å påføre arbeid (løfte opp 5kg-loddet)

Reversibel ved å fordele 5kg på "hyller".

Reversibel prosess:

∞ mange hyller med infinitesimale sandkorn



Retur til A ved å skyve sandkornene tilbake
(ingen arbeid påført)

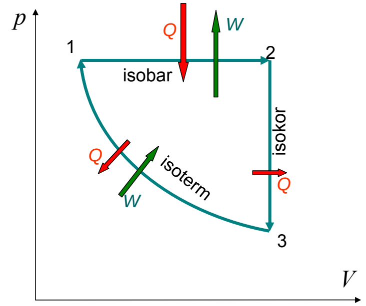
Kretsprosess: Start = Slutt

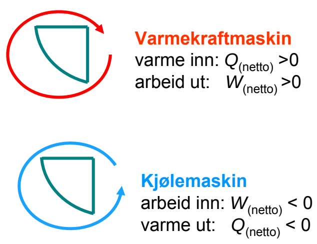
$U_1 = U_1$

$\Delta U = 0$

$Q_{(netto)} = W_{(netto)}$

Eksempel:





Adiabatiske prosesser [H&S 11.6, Y&F 19.8]

- Ingen varmeutveksling med omgivelser: $Q = 0$

  1. lov: $\boxed{\Delta U = Q - W = -W}$

  Dvs. alt arbeid gjøres på bekostning av indre energi

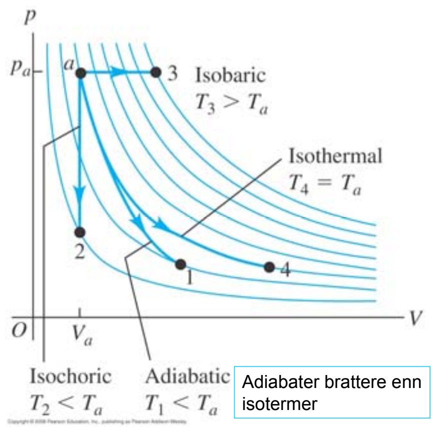
- Adiabatlikningen ideell gass:

  $\boxed{pV^{\gamma} = \text{konstant}}$

  $TV^{\gamma-1} = \text{konstant}$

  $T^{\gamma} p^{1-\gamma} = \text{konstant}$

Adiabatisk prosess i tilstandsdiagram

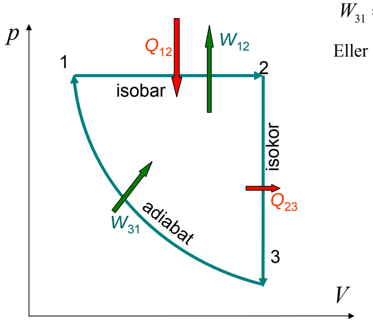


Y&F Figure 19.16

Eks 1. Kretsprosess med adiabat

$\Delta U = 0$

$Q_{(\text{netto})} = W_{(\text{netto})}$



$$W_{31} = -C_V n(T_1 - T_3) = -\frac{3}{2}nRT_1\left(1-\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

Eller mer arbeidssomt:

$$W_{31} = \int_3^1 p dV = p_1 V_1^{\gamma}\int_3^1 V^{-\gamma}\mathrm{d}V$$

$$= p_1 V_1^{\gamma}\frac{1}{1-\gamma}\left[V_1^{1-\gamma} - V_3^{1-\gamma}\right]$$

$$= p_1 V_1 \frac{1}{1-\gamma}\left[1-\left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{1-\gamma}\right]$$

$$= -\frac{3}{2}nRT_1\left(1-\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

Eks 2. Adiabatlikning i atmosfæren

Luft stiger 100 m og utvider seg adiabatisk.
Hvor mye synker tempen?

Oppgitt: $T_0 = 0\ ^{\text{o}}\text{C} = 273\ \text{K}$
$p_0 = 1{,}00\ \text{atm} = 760\ \text{mm Hg}$
$\Delta p = -0{,}013\ \text{atm} = -10\ \text{mm Hg}$ per 100 m opp
Toatomig gass: $\gamma = 7/5$

$$T^{\gamma}p^{1-\gamma} = T_0^{\gamma}p_0^{1-\gamma}$$

$$T\,p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_0 p_0^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T = T_0\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 273{,}0\,\text{K}\cdot\left(\frac{750}{760}\right)^{\frac{2}{7}} = 272{,}0\,\text{K}$$

Dvs. $\Delta T = -1$ K per 100 m høyde
Mer realistisk:
$\Delta T = -1$ K per 150 m høyde

Varmekraftmaskiner

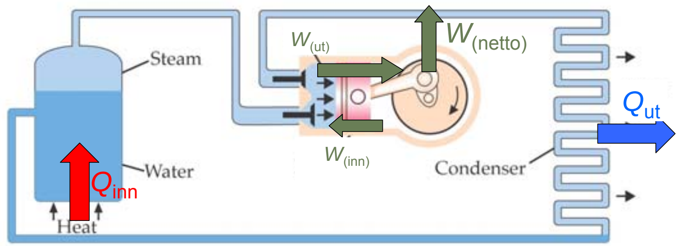
- 1698: Thomas Savery: Heissystem i gruver
- 1712: Thomas Newcomen: Dampmaskin (ineffektiv)
- 1765: James Watt: Mer effektiv dampmaskin
- 1769: Første dampdrevne kjøretøy
- 1803: Første dampdrevne lokomotiv
- 1829: George Stephensons "The rocket"
- 1876: Nikolaus A. Otto: 4-taktsmotor (bensin)

- 1824: Sadi Carnot: Carnotsyklus
  (teoretisk optimale maskin)

Prinsipp dampmaskin

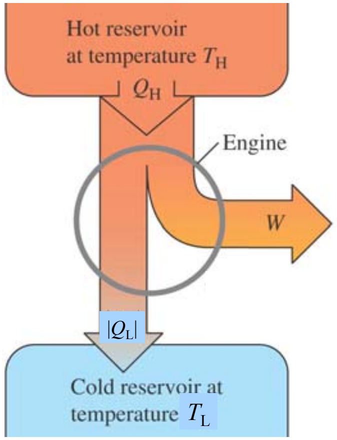
Virkningsgrad:

ε = nytte/kostnad $= W/Q_{\text{inn}}$



Simulering dampmaskin: http://www.howstuffworks.com/steam1.htm

Energiflytdiagram i varmekraftmaskin (Carnot)



Virkningsgrad:

ε_C = nytte/kostnad

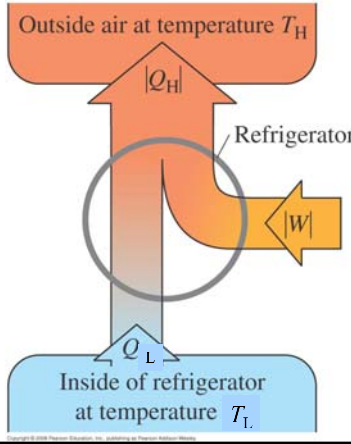
$= W/Q_H = 1 - |Q_L|/Q_H$

Ideell gass:

$\varepsilon_C = 1 - T_L/T_H$

Y&F Figure 20.3

Energiflytdiagram i kjølemaskin (Carnot)



Effektfaktor:

$\eta_{K,C}$ = nytte/kostnad

$= |Q_L| / |W|$

Ideell gass:

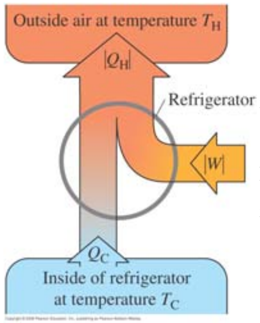
$\eta_{K,C} = T_L/(T_H - T_L)$

Y&F Figure 20.8

Energiflytdiagram i varmepumpe (Carnot)

Eksempel:

T_H:
20°C
=293K



Effektfaktor:

$\eta_{V,K}$ = nytte/kostnad

$= |Q_H| / |W|$

Ideell gass:

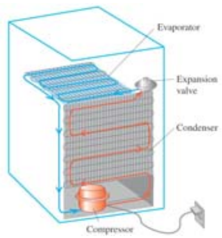
$\eta_{V,C} = T_H/(T_H - T_C)$

T_L: 0°C =273 K	-20°C =253 K	18°C =297 K
η = 293/20 =15	7,5	150 !
Reell COP= 3 – 4	2-2,5	??

Reelt er T_H (varmen inne i varmeveksleren) høyere enn innetemp, f. eks. 35-40°C

Y&F Figure 20.8

Kjøleskap = kjølemaskin

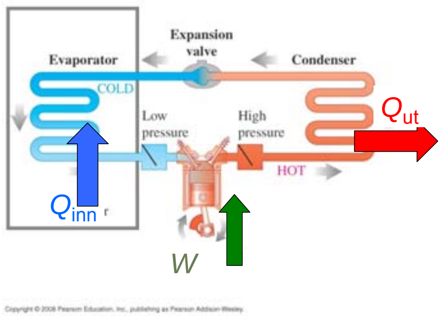


Effektfaktor:

η = nytte/kostnad

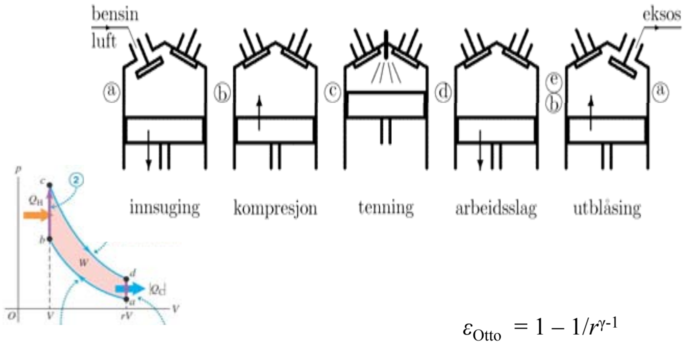
$= |Q_{inn}| / |W|$

Prinsipp:



Otto-syklus.

Nikolaus A. Otto bygde i 1876
den første fungerende 4-taktsmotor (bensinmotor)



$\varepsilon_{Otto} = 1 - 1/r^{\gamma-1}$

Med $r = V_2/V_1$ = kompresjonsforhold

[H&S] Kap.11: 1. hovedsetning. Kretsprosesser.

Gjennomgått i kap. 8+9:
11.1 Energibevarelse: 1. hovedsetning
11.3 Arbeid og (p,V)-diagram
11.5 Gassers C_p og C_V
Nå:
Reversible prosesser:
Termisk likevekt under hele prosessen: kurver på likevektsflater.
Langsomt og kontrollert. Tilnærmet umulig i praksis, men likevel svært viktig.
Kretsprosess: Start = Slutt $\Delta U = 0$ $Q_{(netto)} = W_{(netto)}$
Virkningsgrad ε = nytte/kostnad $= W/Q_{inn}$
Kjølefaktor (effektfaktor): η_K = nytte/kostnad $= |Q_{inn}| / |W|$
Isokor: V=konst. W=0; $Q = \Delta U = C_V \Delta T$
Isobar: p=konst. $W=p(V_2-V_1)$; $Q = C_p (T_2-T_1)$
Isoterm: T=konst. $W=nRT \ln(V_2/V_1)$ Id.gass: $\Delta U = 0$; $Q = W$
Adiabat: Ingen varmeutveksling med omgivelser: $Q = 0$ => $\Delta U = -W$
Dvs. alt arbeid gjøres på bekostning av indre energi.
$W = -\Delta U = -C_V n (T_2-T_1) = -1/(\gamma-1)(p_2V_2 - p_1V_1)$
Prosesslikninger id. gass: pV^γ = konst. $TV^{\gamma-1}$ = konst. $T^\gamma p^{1-\gamma}$ = konst.
Carnotprosessen:
Mest effektive prosess mellom to temperaturer T_H og T_L,
To isotermer og to adiabater.
$\varepsilon_C = \varepsilon_{max} = 1 - T_L/T_H$
$\eta_K = \eta_{max} = T_L/(T_H-T_L)$

"Varmens mekaniske ekvivalent" gir lite varme:

Eks:

1000 m vannfall for 1 liter vann (1 kg) gir utløst høydeenergi:

$V = mgh$

$= 1 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 \cdot 1000 \text{ m}$

$= 9{,}8 \text{ kJ}$

Hvis denne energien brukes til å varme opp vannet:

Varmekap $= C = 4{,}2$ kJ/(kg K)

=> Temp.økning $= \Delta T = 9{,}8/4{,}2$ K $= 2{,}4$ K

M.a.o.:
3°C avkjøling gir ut mer energi enn fall 1000 m

Høyverdig energi

(≈100% utnyttelse til mekanisk energi):

- Oppspent fjær
- Pot.en. i vannmagasin
- Elektrisk energi i batteri og lignende

Lavverdig energi

(0-60% utnyttelse til mekanisk energi):

- Varme, f.eks. i vannet i vannmagasin eller i sjøvann
  Store mengder, men vanskeligere å overføre til mekanisk energi.
  - Mulighetene beskrevet i **2. hovedsetning**
  - Gjøres i **varmekraftmaskin**
  - Mulighetene måles med **entropi**