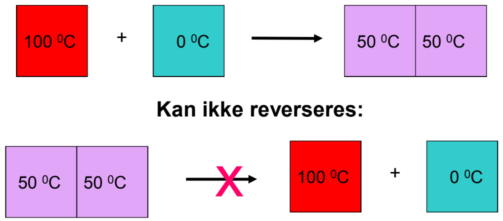
Kretsprosesser. 2. hovedsetning

Reversible og irreversible prosesser (20.1)
Adiabatisk prosess (19.8)
Kretsprosesser:
- varmekraftmaskiner (20.2+3)
- kjølemaskiner (20.4)

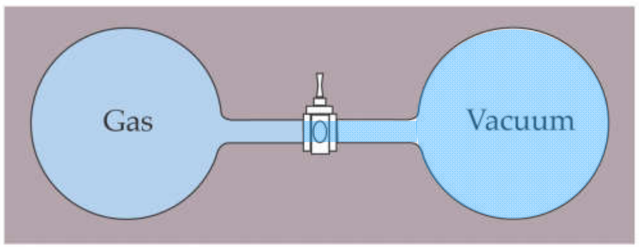
Carnotsyklusen (20.6)
Eks: Ottosyklus (20.3)
2. hovedsetning (20.5)
- Carnots teorem og Carnots (u)likhet

Entropi (20.7)
Entropien mikroskopisk forklart (20.8)

Irreversibel prosess:

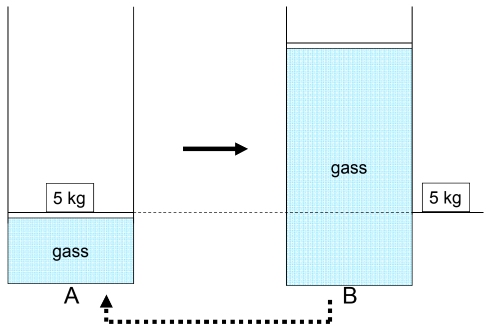


Åpne krana => irreversibel prosess.



La oss se på mer kontrollert gassutvidelse.

Irreversibel prosess.

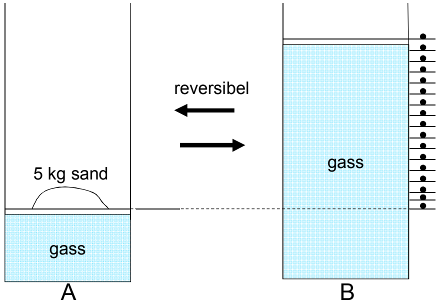


A -> B: Skyve av lodd

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

Reversibel prosess:

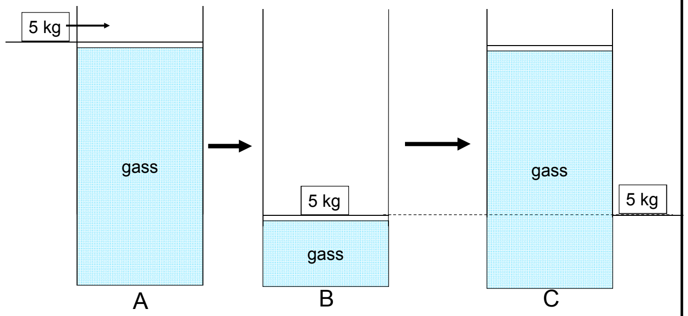
∞ mange hyller med infinitesimale sandkorn



A -> B: Skyve av ett og ett sandkorn (uten å løfte, null arbeid)

B -> A ved å skyve sandkornene tilbake, ett for ett (null arbeid)

Irreversibel prosess



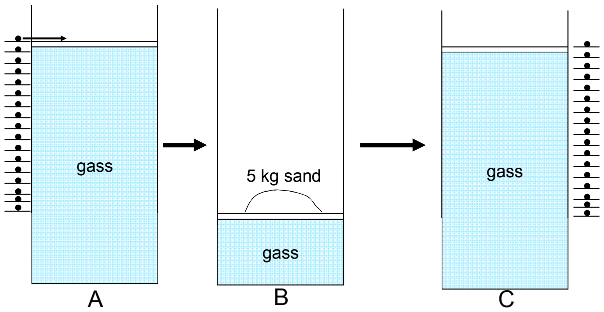
A -> B: Skyve inn lodd

B -> C: Skyve av lodd

Tilstand C ≠ tilstand A !

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

Reversibel prosess



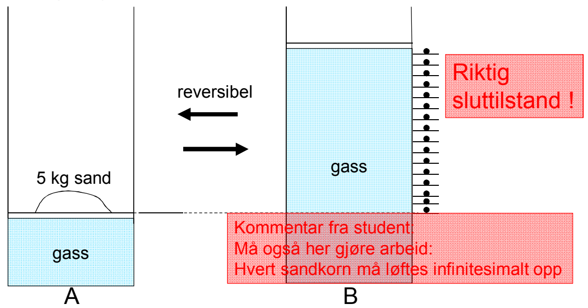
A -> B: Skyve sandkorn inn, ett for ett

B -> C: Skyve sandkorn ut , ett for ett

Tilstand C = tilstand A !

Reversibel prosess:

∞ mange hyller med infinitesimale sandkorn



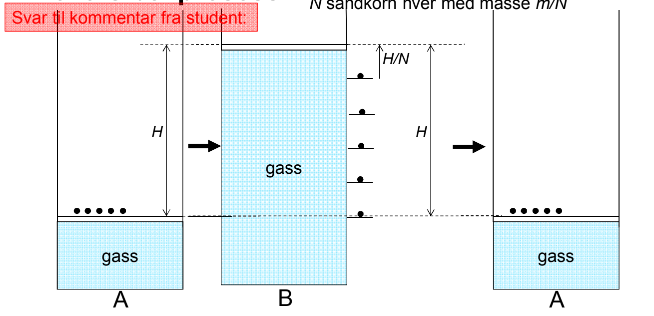
A -> B: Skyve av ett og ett sandkorn (uten å løfte, null arbeid)

B -> A ved å skyve sandkornene tilbake, ett for ett (null arbeid)

Reversibel prosess:

Svar til kommentar fra student:

Totalmasse m = 5 kg fordelt på N sandkorn hver med masse m/N



Eks. N=5 sandkorn med tyngde mg/N:

For retur til A må hvert sandkorn heves H/N, dvs. tilført arbeid:

$W = \Sigma_1^N\, mg/N \cdot H/N = N \cdot mgH/N^2 = mgH/N$

Infinitesimalt: når $N \to \infty$ vil $W \to 0$

Reversibel prosess:

= Prosess som kan reverseres slik at system og omgivelser er tilbake til starttilstanden.

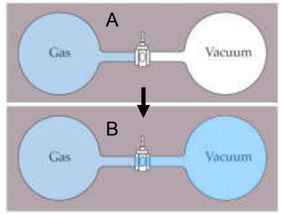
Termodynamiske krav:

- Termisk likevekt under hele prosessen
- Langsomt og kontrollert
- Varme overføres over infinitesimale dT

100 % rev. pros. praktisk umulig, likevel er analyse av rev. pros. svært viktig!

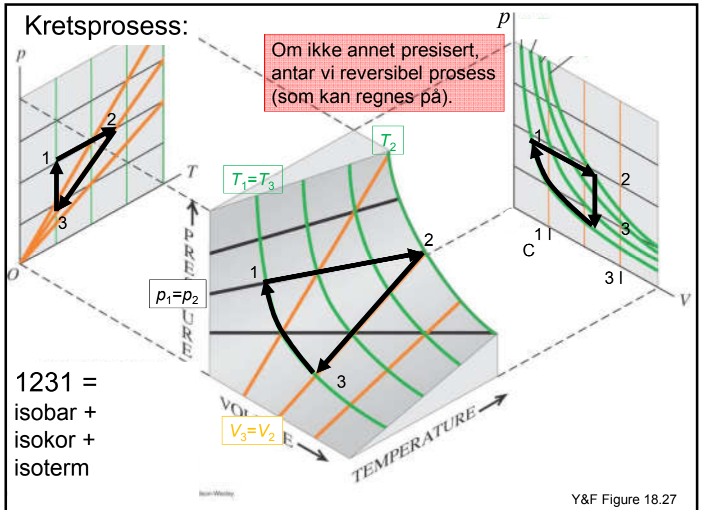
Irreversibel prosess:

- Ikke termisk likevekt under prosessen
- Raskt og "spontant", eksempel:



Kretsprosess:

Om ikke annet presisert, antar vi reversibel prosess (som kan regnes på).



1231 =
isobar +
isokor +
isoterm

Y&F Figure 18.27

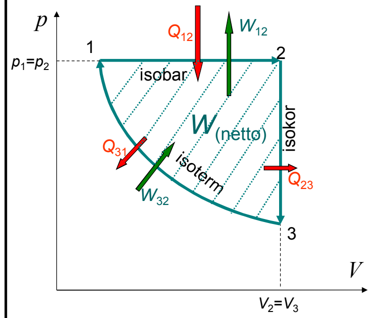
Kretsprosess: Start = Slutt

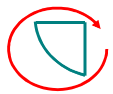
$U_1 = U_1$

$\Delta U = 0$

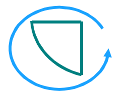
$Q_{(netto)} = W_{(netto)}$

Eks. 1:





Varmekraftmaskin
varme inn: $Q_{(netto)} > 0$
arbeid ut: $W_{(netto)} > 0$



Kjølemaskin
arbeid inn: $W_{(netto)} < 0$
varme ut: $Q_{(netto)} < 0$

Adiabatiske prosesser ideell gass

Adiabatlikningen $pV^{\gamma} = \boxed{\text{konstant}}$
bevises v.h.a:

- 1. hovedsetning: $\mathrm{d}Q = \mathrm{d}U + p\mathrm{d}V = 0$
- Varmekapasiteter ideell gass:
  - Konst. volum: $C_V = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}T)_V \cdot 1/n = \mathrm{d}U/\mathrm{d}T \cdot 1/n$
  - Konst. trykk: $C_p = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}T)_p \cdot 1/n = (\mathrm{d}U + p\,\mathrm{d}V)/\mathrm{d}T \cdot 1/n = C_V + R$
- Gassloven $pV = nRT$
- Definerer adiabatkonstanten $\gamma = C_p/C_V$

Adiabatiske prosesser [Y&F 19.8, H&S 11.6 L&H&L 15.3]

- Ingen varmeutveksling med omgivelser: $Q = 0$

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

  Dvs. alt arbeid gjøres på bekostning av indre energi
- Reversibel, adiabatisk prosess: alltid likevekt
- Adiabatlikningen ideell gass:

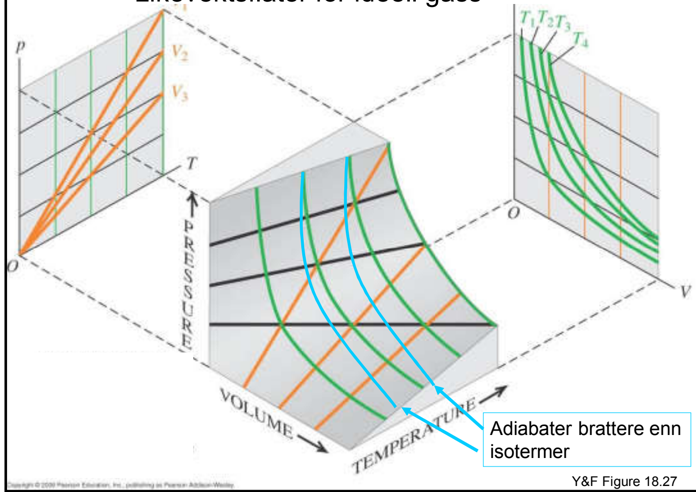
  $\boxed{pV^{\gamma} = \text{konstant}}$ $\quad \gamma = C_p/C_V$

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

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

  Se formelark.
  Utledes fra $pV = nRT$
  i Øving 10, opg 7.

Likevektsflater for ideell gass

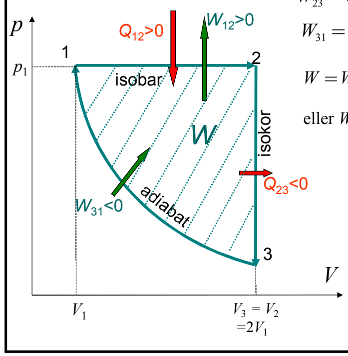


Y&F Figure 18.27

Eks. 2. Kretsprosess med adiabat, enatomig gass

$\Delta U = 0$

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



$$T_2 = 2T_1$$

$$T_3 = T_1\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} = T_1 \cdot 0{,}630$$

$$W_{12} = p_1V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

$$W_{31} = -\Delta U_{13} = -C_V n(T_1 - T_3) = -\frac{3}{2}nRT_1\left(1-\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

$$W = W_{12} + W_{31} = nRT_1\frac{1}{2}\left(3\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} - 1\right) = nRT_1 \cdot 0{,}445$$

eller W_{31} mer arbeidssomt:

$$W_{31} = \int_3^1 p\mathrm{d}V = p_1V_1^{\gamma}\int_3^1 V^{-\gamma}\mathrm{d}V$$

$$= p_1V_1^{\gamma}\frac{1}{1-\gamma}\left[V_1^{1-\gamma} - V_3^{1-\gamma}\right]$$

$$= p_1V_1\frac{1}{1-\gamma}\left[1-\left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{1-\gamma}\right]$$

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

Eks. 2. Kretsprosess med adiabat, enatomig gass

$\Delta U = 0$

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

$$T_2 = 2T_1$$

$$T_3 = T_1\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} = T_1 \cdot 0{,}630$$

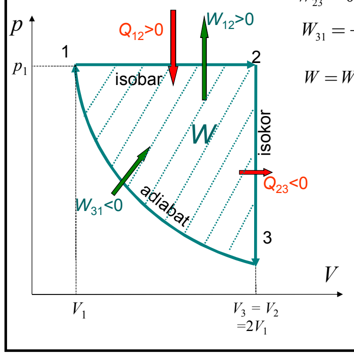
$$W_{12} = p_1 V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

Svaret for W_{13} feil på tavla sist fredag. Rett her:

$$W_{31} = -\Delta U_{13} = -C_V n(T_1 - T_3) = \boxed{-\frac{3}{2}nRT_1\left(1-\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)}$$

$$W = W_{12} + W_{31} = \boxed{nRT_1\frac{1}{2}\left(3\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} - 1\right)} = nRT_1 \cdot 0{,}445$$



$$Q_{12} = C_p n(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}nRT_1$$

$$Q_{23} = C_V n(T_3 - T_2) = -\frac{3}{2}nRT_1\left(2-\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = nRT_1\frac{1}{2}\left(3\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} - 1\right) = W$$

(Hovedbudskap *Q*=*W* var rett, men tilsnikelse ved utregning.)

Eks. 3. Adiabatlikning i atmosfæren = Øving 10, opg. 5

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

Oppgitt: $T_0 = 0\ ^\circ\text{C} = 273$ K
$p_0 = 1{,}00$ atm $= 760$ mm Hg
$\Delta p = -0{,}013$ atm $= -10$ 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