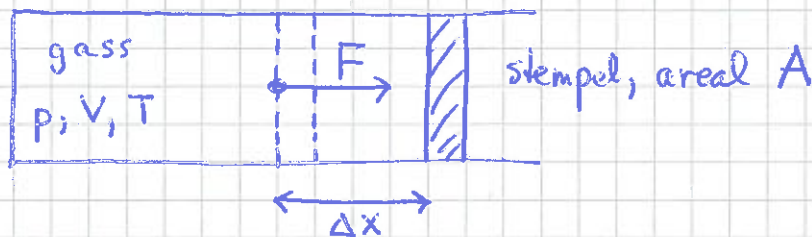
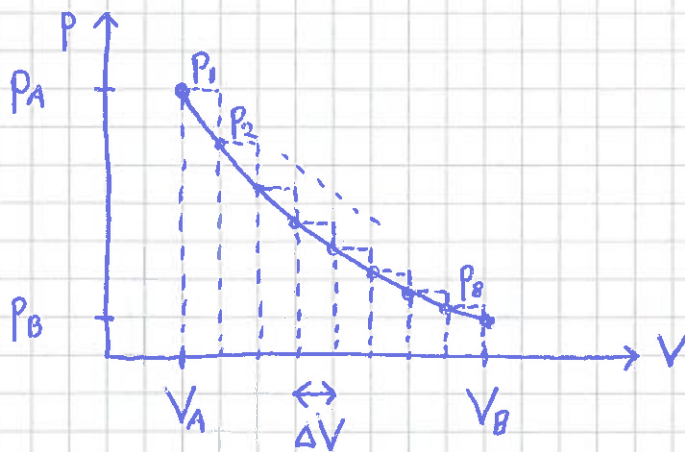


Arbeid i termodynamikk

Arbeidet som systemet (gassen) utfører på omgivelsene (stampelet) når gassen utvider seg ($V \rightarrow V + \Delta V$):

$$\Delta W = F \cdot \Delta x = p \cdot A \cdot \Delta x = p \cdot \Delta V$$

hvis trykket endrer seg underveis:



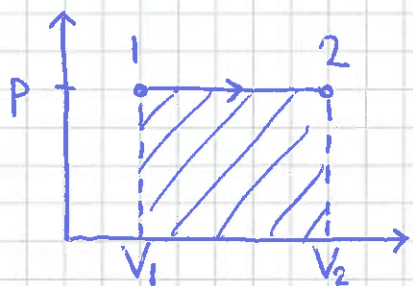
$$W \approx p_1 \Delta V + p_2 \Delta V + \dots + p_8 \Delta V = \sum_i p_i \cdot \Delta V$$

Når $\Delta V \rightarrow 0$: $W = \int_{V_A}^{V_B} p(V) dV = \text{arealet under kurven } p(V)$

$W > 0$ når gassen ekspanderer

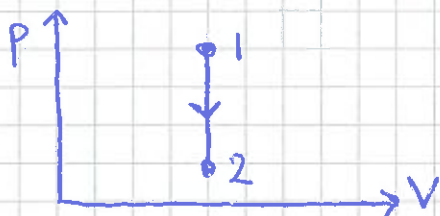
$W < 0$ —||— komprimeres

Isobar prosess:



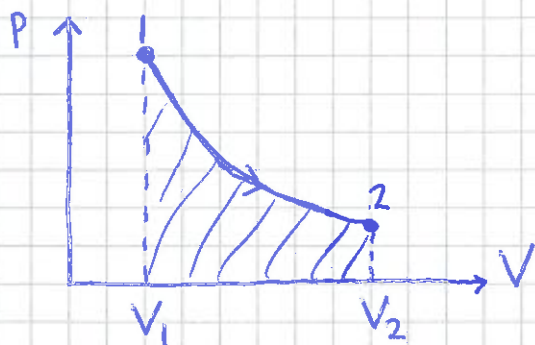
$$W = p \cdot (V_2 - V_1)$$

Isoker prosess:



$$\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$$

Isoterm prosess; ideell gass:



$$pV = nRT$$

$$\Rightarrow p(V) = nRT \cdot \frac{1}{V}$$

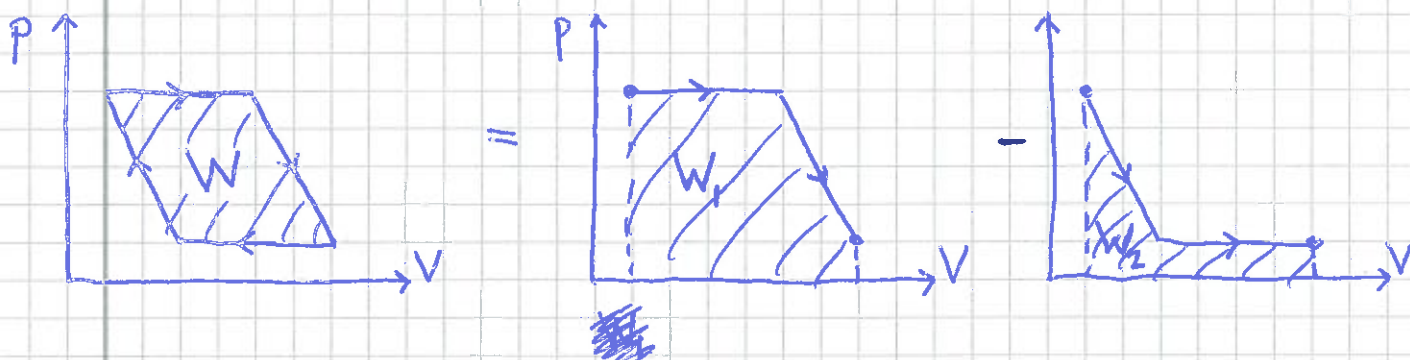
$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Naturlig logaritme: Hvis $y = e^x$, så er $x = \ln y$
($e \approx 2.72$)

Adiabatisk prosess; ideell gass: ($\gamma = \frac{C_p}{C_v} > 1$; adiabat-konstanter)

$$W = \frac{nRT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] ; T_1 = \text{starttemperaturer} \\ (T_2 < T_1)$$

Kretsprosess :



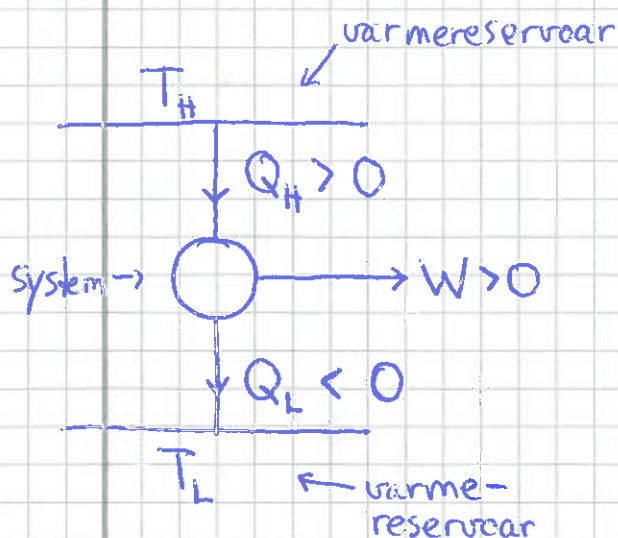
⇒ utført arbeid W pr syklus av kretsprosessen
= omskiftet areal

Med klokka: $W > 0$ (netto arbeid på omgivelsene)

Mot "": $W < 0$ (—"—" på systemet)

Varmekraftmaskiner (f.eks. forbrenningsmotor)

Omdanner varme (evt. andre "kjemisk" energi) til arbeid:



- varme Q_H overføres fra varmeres. med (høy) temp. T_H til systemet
- nyttig arbeid W utføres av syst. på omgivelsene
- varme Q_L overføres til varmeres. med (lav) temp. T_L fra systemet

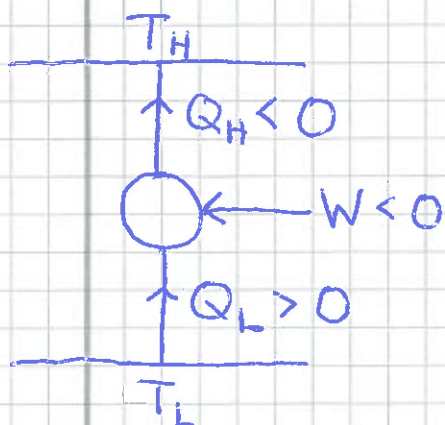
$$\text{Virkningsgrad} = \frac{\text{Nytte}}{\text{Kostnad}}$$

$$\text{Her: } \eta = W/Q_H$$

Kjøleskap, varmepumpe

(48)

Omdanner arbeid W til varme:



- varme Q_L overføres fra lavtemp.reservoaret til systemet
- arbeid W utføres på systemet
- varme Q_H overføres til høyt temp. res. fra systemet

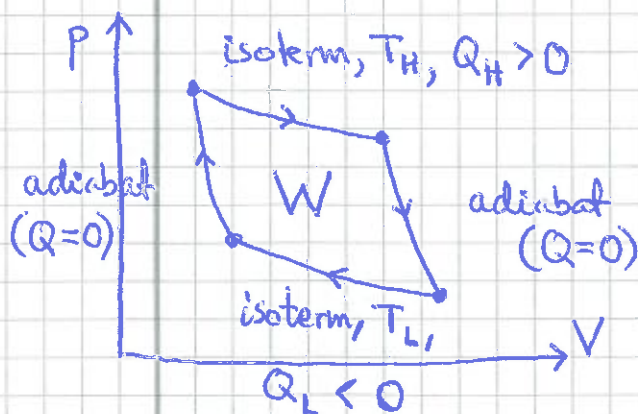
Effektfaktor (virkningsgrad):

Kjøleskap: Nytte = Q_L , Kostnad = $|W| \Rightarrow \epsilon_K = \left| \frac{Q_L}{W} \right|$

Varmepumpe: Nytte = $|Q_H|$, Kostnad = $|W| \Rightarrow \epsilon_V = \left| \frac{Q_H}{W} \right|$

Carnot-prosessen

Reversibel kretsprosess, to isotermer og to adiabater.



$$\Delta U = 0 \text{ for hele kretsprosessen} \Rightarrow W = Q_H + Q_L = Q_H - |Q_L|$$

$$\text{Virkningsgrad: } \eta_c = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H} < 1$$

$$\text{Det kan vises at } \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} = 0, \text{ slik at } \frac{Q_L}{Q_H} = -\frac{T_L}{T_H}$$

$\Rightarrow \eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H} =$ optimal teoretisk virkn.grad
for en varmekraftmaskin

Carnot-kjøleskap:

$$\varepsilon_K = \left| \frac{Q_L}{W} \right| = \left| \frac{Q_L}{Q_H + Q_L} \right| = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Carnot-varmepumpe:

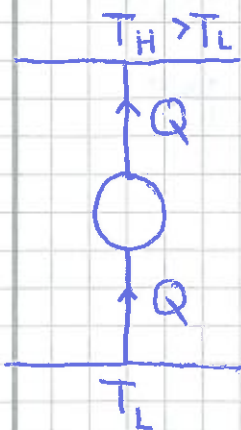
$$\varepsilon_V = \left| \frac{Q_H}{W} \right| = \left| \frac{Q_H}{Q_H + Q_L} \right| = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

Termodynamikkens 2. lov

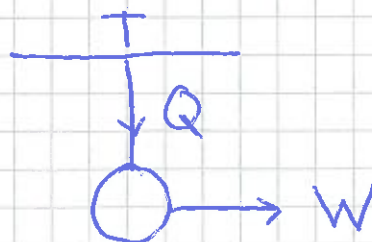
Clausius (1850): Varme går ikke av seg selv fra
lav til høyere temperatur.

Kelvin (1851): Varme kan ikke omformes fullstendig
til arbeid.

Skjematisk (og mer presist):



... er umulig.



... er umulig. Dvs:

$\eta = W/Q = 1$ er umulig;

i tråd med at $\eta_{\max} = \eta_c < 1$.

Altså: 2. lov er en enferingssak, og setter begrensning på hva som er mulige prosesser, selv om 1. lov, energibevarelse, er oppfylt.

(50)

Entropi

$\Delta S \stackrel{\text{def}}{=} \frac{Q}{T}$ = endring i entropien S til et system som tilføres varme Q ved temperatur T

Enhet: $[S] = \text{J/K}$

Eks: ΔS i Carnot-prosessen

$$\Delta S_{\text{system}} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} = 0 \quad (\text{systemets } \Delta S)$$

$$\Delta S_H = -\frac{Q_H}{T_H} < 0 \quad (\text{høytemp. reservoars } \Delta S)$$

$$\Delta S_L = -\frac{Q_L}{T_L} > 0 \quad (\text{Lav } \text{---} \text{---} \text{---} \Delta S)$$

$$\Rightarrow \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{system}} + \Delta S_H + \Delta S_L = 0$$

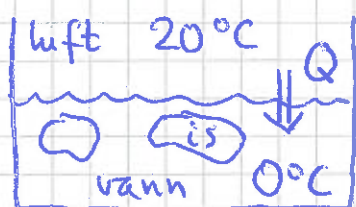
for denne idealiserke, reversible prosessen, med null temp. forskjell mellom system og reservoar når varme overføres. Uendelig langsom teoretisk idealisering!

Virkelige prosesser er irreversible, og varme overføres ved en viss temp. forskjell mellom system og reservoar. Da er

$$\underline{\Delta S_{\text{total}} > 0}$$

alltid!

①



50 g is smelter uten at temperaturen i luft eller is/vann endrer seg.

Bestem $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{isvann}} + \Delta S_{\text{luft}}$
 ($l_{\text{sm}} = 334 \text{ kJ/kg}$)

②



Finn $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{inne}} + \Delta S_{\text{ute}}$

③

Vís at termodynamikkens 1. lov kan skrives på formen

$$T \cdot \Delta S = \Delta U + p \cdot \Delta V$$

(Som er veldig kjekt, fordi ligningen nå inneholder bare tilstandsfunksjoner, og ikke prosessvariablene ΔQ og ΔW .)