

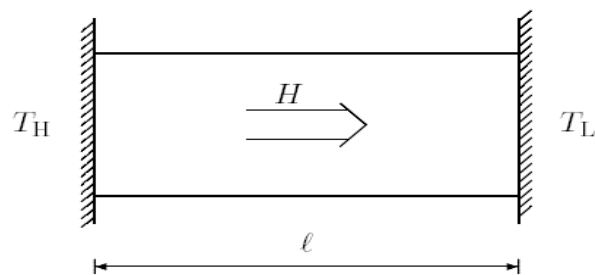
Termisk lengdeutvidelseskoeffisient α : $\alpha \cdot \Delta T = \frac{\Delta L}{L}$, eks. $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Varmekapasitet C: $Q = mC\Delta T$ eks. $C_{\text{vann}} = 4186 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,

(varmekapasitet kan oppgis pr. kg, eller pr. mol (ett mol er $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ partikler), eller pr. partikkel)

Latent varme L: $Q = mL$ eks. $L_{\text{is}} = 333.5 \text{ kJ/kg}$ er smeltevarmen til is (varmen som må tilføres for å smelte 1kg is til vann)

Varmestrøm H: $H = \frac{dQ}{dt}$



$$H = \lambda \cdot A \frac{(T_H - T_L)}{l},$$

λ = varmeledningsevnen og A er stavens tverrsnitt-areal

eks. $\lambda_{Al} = 205 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Varmestrømtetthet J_Q : $J_Q = \frac{dH}{dA} = -\lambda \frac{dT}{dx}$, Fouriers lov for varmestrømning

Varmestråling, radians R: $R = \varepsilon\sigma T^4$ er utstrålt effekt pr. flate [W/m^2] (Stefan-Boltzmanns lov)

ε = emissiviteten ($0 < \varepsilon < 1$) og $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ er Stefan-Boltzmanns konstant

Kinetisk gassteori: $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$ sammenheng mellom mikroskopisk (molekylær) kinetisk energi og temperatur

Varmelæras 1. hovedsetning: $dQ = dU + dW$ **varme er energi, og total energi er bevart**

dU er endring i indre energi (kinetisk og potensiell energi til molekylene) og dW er arbeid utført på omgivelsene

Ekvipartisjonsprinsippet: Den indre energien fordeler seg likt med $\frac{1}{2}k_B T$ på hver tilgjengelige frihetsgrad.

Varmekapasitet C_v (konstant volum) er: $C_v = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_v = n_f \cdot \frac{1}{2}k_B = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$ (siden $dW = 0$, 1. hovedsetning)

Varmekapasitet C_p (konstant trykk) er: $C_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_p = (n_f + 2) \cdot \frac{1}{2}k_B$

hvor n_f er antall tilgjengelige frihetsgrader (translasjon, rotasjon og vibrasjon)

Antall frihetsgrader kan estimeres v.h.a. $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{n_f + 2}{n_f}$ (eks. $\gamma = 5/3$ for en-atomig gass)

Adiabatisk prosess: $dQ = 0 = dU + pdV$ (prosess hvor det ikke foregår varmeutveksling med omgivelsene).
eks. komprimering av bensin/luft blanding i en motor som foregår så raskt at varmeutveksling med omgivelsene kan neglisjeres.

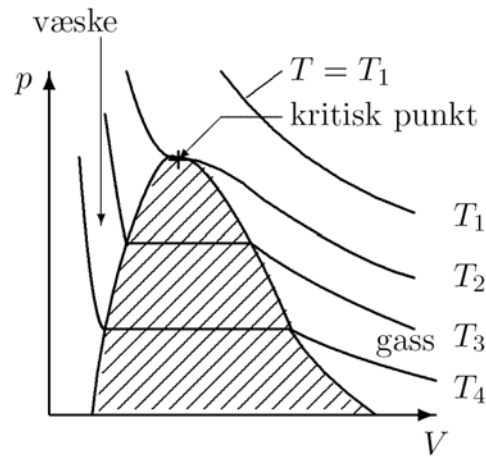
$$pV^\gamma = konst$$

$$p^{1-\gamma}T^\gamma = konst$$

$$TV^{\gamma-1} = konst$$

adiabat-ligningene for ideell gass, hvor $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

Gass/væske likevekt, kritisk punkt.

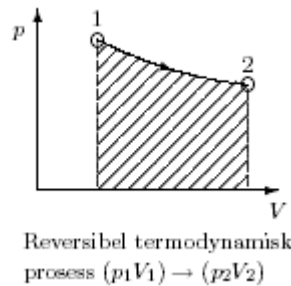


pV diagram hvor isotermer ($T = \text{konstant}$) er inntegnet. For temperaturer over T_2 (det kritiske punkt) finnes kun gassfase.

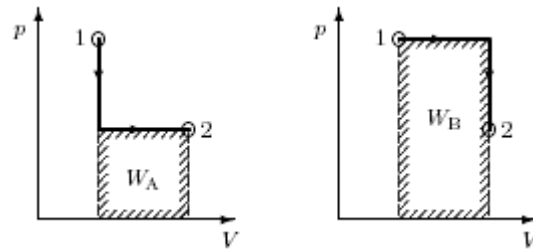
eksempel

Gass	$T_{\text{kritisk}}[\text{K}]$	$p_{\text{kritisk}}[\text{atm}]$
He	5.3	2.3
H ₂	33	13
N ₂	126	35
O ₂	154	51
H ₂ O	647	218

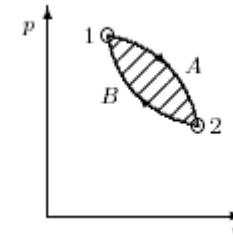
Termodynamiske kretsprosesser



Arbeidet utført: $W_{12} = \int_1^2 p dV$
er lik skravert areal



Arbeidet avhenger av veien

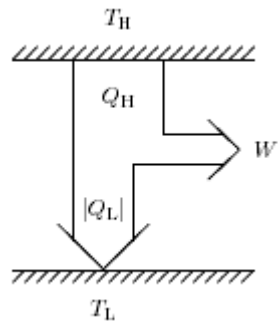


Arbeidet utført ved en kretsprosess

$$W = \oint p dV = W_{12}^A - W_{12}^A$$

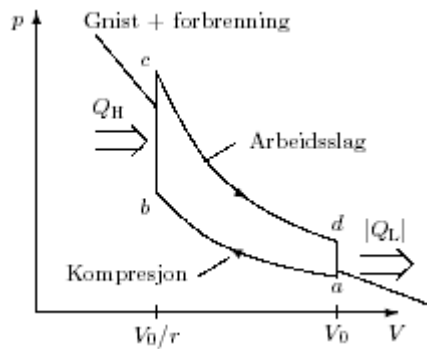
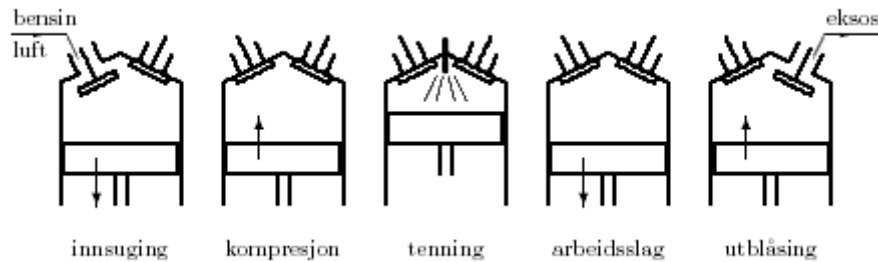
En irreversibel prosess medfører tapt arbeid (sammenlignet med en reversibel prosess).

Varmestrømdiagram



Termisk virkningsgrad
$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_L|}{Q_H} = \frac{Q_H + Q_L}{Q_H}$$
 er arbeid utført pr. varme tilført

Otto syklus



Otto-syklus.

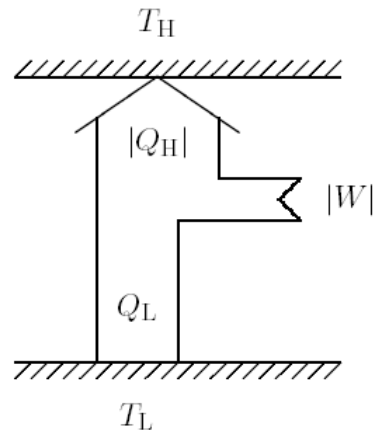
Utblåsing+innsuging (egen syklus som ikke er vist)

- a-b: adiabatisk kompresjon av bensin/luft blandingen
- b-c: forbrenning (konstant volum)
- c-d: arbeidsslag (adiabatisk ekspansjon)
- d-a: utblåsing, og påfølgende innsuging (ikke vist)

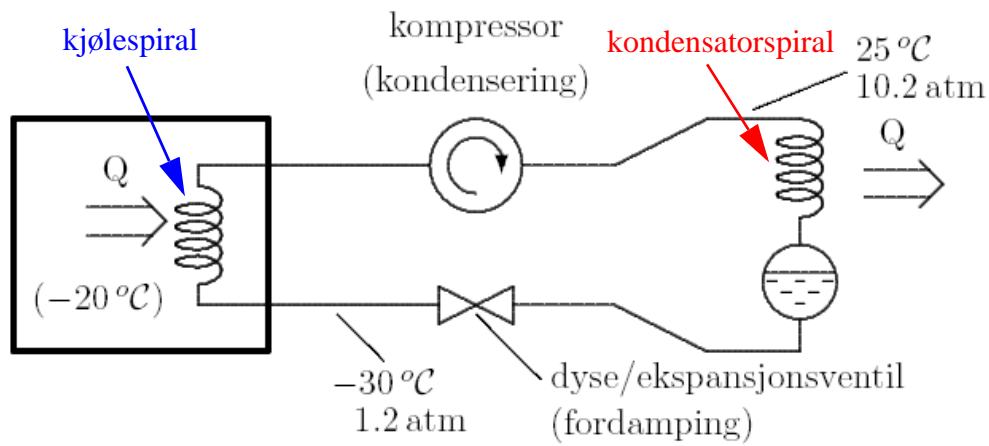
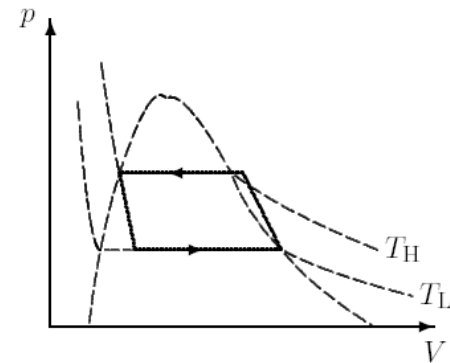
Kompresjonen r er forholdet mellom største og minste volum

Virkningsgrad
$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H + Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Kjølemaskin og varmepumpe



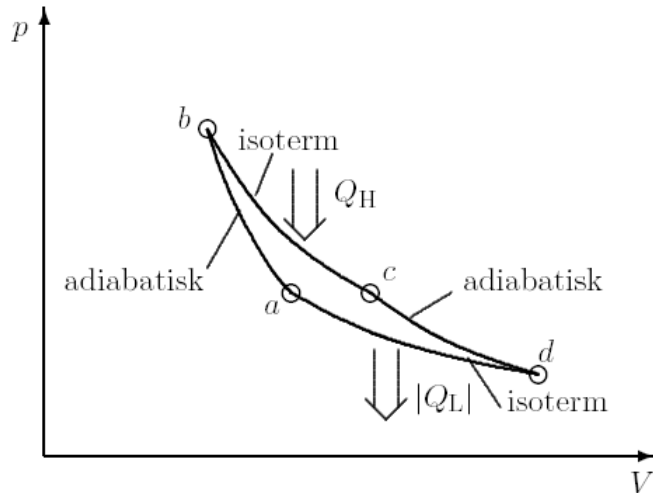
Kjølefaktor $K = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L}$



Kjølemedium f.eks. NH₃

- gass/væske likevekt på høy og lav T sider
- i kondensatorspiralen avgis varme når gass går til væske
- i dysa ekspanderer væske/damp adiabatisk
- i kjølespiralen opptas varme når væske fordampes til gass
- i kompressoren komprimeres dampen adiabatisk

Carnot-prosessen



Carnot-prosessen er den teoretisk mest effektive termodynamiske kretsprosess.

- prosessen må være reversibel
- siden varmeledning drevet av ΔT er en irreversibel prosess betyr det at varmeoverføring må skje ved $T = \text{konst}$ (isoterm)
- trinn i prosessen hvor ΔT ikke er null må være adiabatisk ($dQ = 0$)

Virkningsgrad
$$e = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Varmelæras 2. hovedsetning

Varme kan ikke i sin helhet overføres til arbeid

Alternative formuleringer:

- det er umulig å flytte varme fra et kaldt til et varmt reservoar uten å utføre arbeid
- det er umulig å transformere varme til arbeid uten spillvarme
- det er umulig å lage en kretsprosess som er mer effektiv enn Carnot-prosessen
- perpetum mobile av 2.art er umulig (dvs. maskin som gir arbeid fra varme uten kaldt reservoar)

Entropi S

- er et mål for uorden, $dS = \frac{dQ_{reversibel}}{T}$. For alle kretsprosesser gjelder $\sum \frac{\Delta Q}{T} \leq 0$, hvor likhet gjelder for reversible prosesser.

For et lukket (isolert) system gjelder: $\frac{dS}{dt} \geq 0$, dvs. at **entropien for et lukket system vil aldri avta**