

8 Termofysikk IIStoffmengde

$$\text{mol} = 6,02 \cdot 10^{23}$$

symbol: n

SI-enhet

antall atomer i 12 gram ^{12}C (med masse 12 u)

$$\text{Dvs. } \text{mol} = \frac{1\text{g}}{u} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{kg}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{kg}} = 6,02 \cdot 10^{23}$$

eks. 8.1 Har 3,0 mol O_2 -gass

a) Antall atomer = ?

$$3,0 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = \underline{1,8 \cdot 10^{24}} \quad (1,806 \cdot 10^{24})$$

b) Massen til gassen:

$$\text{ett molekyl } \text{O}_2 : \underbrace{2 \cdot 16,00 \text{u}}_{\text{fra tabell}} \quad \text{gir } 1,806 \cdot 10^{24} \cdot \underbrace{32,00 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}_{\text{}} \text{kg} = \underline{96\text{g}}$$

c) Massen til ett mol O_2

$$6,02 \cdot 10^{23} \cdot 32,00 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{kg} = \underline{32\text{g}}$$

Massen til 1 mol av et stoff har samme verdi i gram som molekylmassen målt i u. $\text{g/mol} = \text{u}$

Likt trykk og lik temp. gir likt volum for ulike gasser.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad \text{kalles avogadrotallet}$$

$$N = N_A \cdot n \quad \text{og} \quad M = N_A \cdot m_{\text{molekyl}}$$

\uparrow antall molekylene \uparrow stoffmengde i mol \uparrow molan masse

eks 8.2 a) molar masse til vann, H_2O :

$$m_{H_2O} = 16,00u + 2 \cdot 1,008u = 18,016u$$

$$\text{gir } M = N_A \cdot m_{H_2O} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 18,016u \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ = 1,804 \cdot 10^{-2} \text{ kg/mol} = \underline{18 \frac{g}{mol}}$$

b) antall molekyler i 2,0 mol vann :

$$N = N_A \cdot n = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 2,0 \text{ mol} = \underline{1,2 \cdot 10^{24}}$$

c) massen til vannet

$$m = M n = 1,804 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 2,0 \text{ mol} = \underline{36g}$$

Mer om termodynamiske prosesser

(tilstandsending for gassen)

Tilstandslikningen for en idealgass med volum V , trykk p og temperatur T er

$$pV = NkT$$

↑ ↑
antall boltzmann-
molekyler konstanten
i gassen

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

$$\text{eller } pV = nRT$$

↑ ↑ den
gassens molar
stoffmengde gasskonstanten

$$R = 8,31 \frac{J}{K \cdot mol}$$

$$pV = NkT = N_A \cdot n k T = n \cdot N_A \cdot k \cdot T = nRT \quad \text{der } R = N_A k$$

eks 8.4 a) Volum V av ett mol O_2 -gass ved $p = 101,3 \text{ kPa}$ og $20^\circ C$

$$pV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1,00 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{J}{\text{mol} \cdot K} \cdot (273 + 20) K}{101,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = \underline{2,40 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3}$$

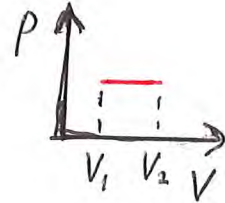
dvs 24,0 liter.

b) Volumet av ett mol luft ved samme p og T er ↔ ↗ 2

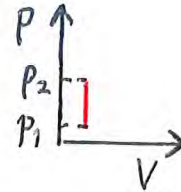
Partialtrykk får vi i blandinger av gasser,
eks. $p_{N_2} \approx 80 \text{ kPa}$ og $p_{O_2} \approx 20 \text{ kPa}$ i lufta når
 $p \approx 100 \text{ kPa}$.

Fire termodynamiske prosesser:

$p = \text{konst.} \Rightarrow$ Isobar pros. \rightarrow



$V = \text{konst.} \Rightarrow$ Isokor pros. \rightarrow

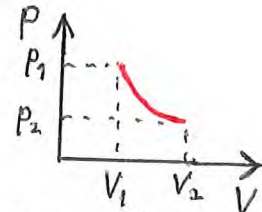


$T = \text{konst.} \Rightarrow$ Isoterm pros. \rightarrow

$$pV = nRT$$

$$p = \frac{nRT}{V} \quad \left(p \propto \frac{1}{V} \right)$$

proport
hyperbøl



(Varme omformes til arbeid)

eks 8.5 Idealgass med $V = 30,0 \text{ L}$, $p = 200 \text{ kPa}$, $T = 722 \text{ K}$
+ friksjonsfritt stempel.

a) Stoffmengde: $p_1 V_1 = nRT_1$

$$n = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{200 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 30,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 722 \text{ K}} = 1,0000 \text{ mol} = \underline{1,00 \text{ mol}}$$

b) Isobar prosess gir $p = 200 \text{ kPa}$ når $V = 15,0 \text{ L}$. Finn T_2 !

Tilstand	p/kPa	V/L	T/K
1	200	30	722
	200	15	361

$$p_2 V_2 = nRT_2$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = \frac{200 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 15,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1,0000 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} = 361,01 \text{ K} = \underline{361 \text{ K}}$$

c) $p_3 = 400 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ og isokor prosess gir $V_3 = V_2$. Finn T_3 !

$$p_3 V_3 = n R T_3$$

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{n R} = \frac{400 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 15,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1,0000 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} = 722,02 \text{ K} = \underline{722 \text{ K}}$$

Tilstand	P/kPa	V/L	T/K
3	400	15	722

d) $V_4 = 30,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ mens $T_4 = T_3$. Finn p_4 !

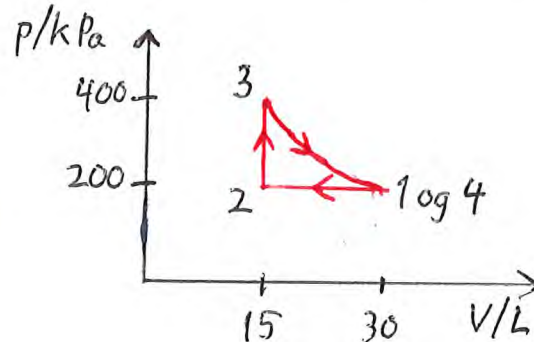
$$p_4 V_4 = n R T_4$$

$$p_4 = \frac{n R T_4}{V_4} = \frac{1,0000 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 722,02 \text{ K}}{30,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = \underline{200 \text{ kPa}}$$

Tilstand	P/kPa	V/L	T/K
4	200	30	722

e) Tegn de tre termodynamiske prosessene i et p-V-diagram.

syklisk prosess
(i motorer) →



Adiabatisk prosess \Rightarrow gassen hverken mottar eller avgir varme.

Adiabatlikningen:

$$p_2 V_2^\gamma = p_1 V_1^\gamma$$

γ er
adiabatkonstanten

$\gamma = 1,67$ for enatomige idealgasser

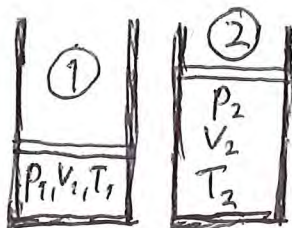
$\gamma = 1,40$ for toatomige ——— " ———

Tilstandslikningen gjelder i tillegg.

eks 8.6 Luft med temp. 17°C og $V = 1,000\text{ m}^3$ utvider seg adiabatisk fra $p_1 = 100,0\text{ kPa}$ til $p_2 = 90,0\text{ kPa}$.

a) Finn Luftas stoffmengde.

$$p_1 V_1 = n R T_1$$
$$n = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{100,0 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 1,000 \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot 290 \text{ K}} = 41,495 \text{ mol} = \underline{41,5 \text{ mol}}$$



b) Hvor mye øker luftas volum?

Luft vil si O_2 og $\text{N}_2 \Rightarrow \gamma = 1,40$

$$p_2 V_2^\gamma = p_1 V_1^\gamma$$

$$V_2^\gamma = \frac{p_1}{p_2} \cdot V_1^\gamma$$

$$V_2 = \left(\frac{p_1}{p_2} \cdot V_1^\gamma \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot V_1$$

$$V_2 = \left(\frac{100,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}}{90,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}} \right)^{\frac{1}{1,40}} \cdot 1,000 \text{ m}^3 = 1,0781 \text{ m}^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = (1,0781 - 1,000) \text{ m}^3 = \underline{78,1 \text{ L}}$$

c) Finn den prosentvise endringen i luftas tetthet.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\frac{m}{V_2}}{\frac{m}{V_1}} = \frac{m}{V_2} \cdot \frac{V_1}{m} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1,000 \text{ m}^3}{1,0781 \text{ m}^3} = 0,92755$$

$$\Delta \rho = 1,00 - 0,92755 = 0,07245, \text{ dvs } \underline{7,25\%}$$

d) Finn endringen i temp. $T_1 = (17 + 273) \text{ K} = 290 \text{ K}$

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$\frac{T_2}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{p_1 V_1}$$

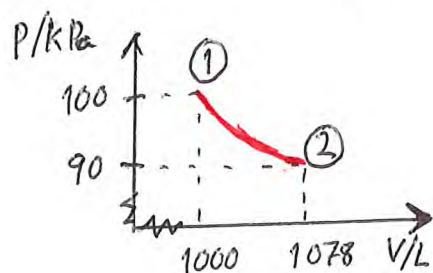
$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \cdot T_1 = \frac{90,0 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 1,0781 \text{ m}^3}{100,0 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 1,000 \text{ m}^3} \cdot 290 \text{ K} = 281,38 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 281,38 \text{ K} - 290 \text{ K} = \underline{-8,6^{\circ}\text{C}}$$

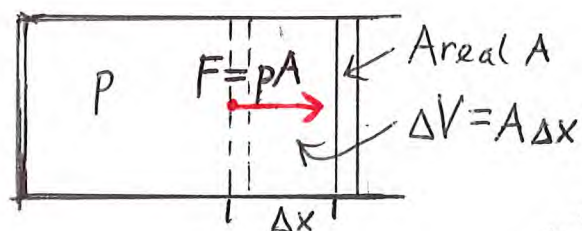
e) Tegn p-V-diagram for prosessen.

$$pV^\gamma = p_1 V_1^\gamma$$

$$p = \frac{p_1 V_1^\gamma}{V^\gamma} = \frac{\text{konstant}}{V^{1,40}} = \frac{100,0 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot (1,00 \text{ m}^3)^{1,40}}{V^{1,40}}$$



Arbeid ved ekspansjon⁽⁺⁾ og kompresjon⁽⁻⁾ av en gass

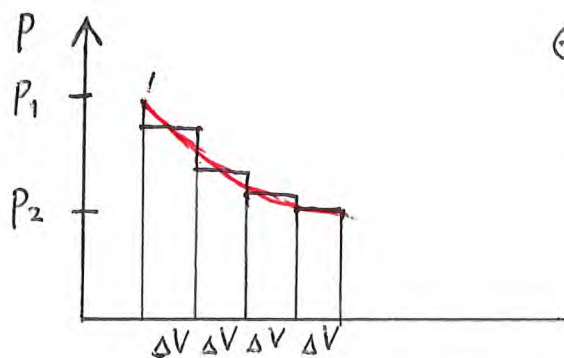


Arbeidet som gassen gjør på stempelen:

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

når p er konstant.

$$W = p_1 \Delta V + p_2 \Delta V + \dots + p_n \Delta V \quad \text{når } p \text{ endrer seg.}$$



Generelt:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

der V_1 er startvolum og V_2 er sluttvolum og p er trykket.

Isobar prosess: $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p \int_{V_1}^{V_2} dV = p [V]_{V_1}^{V_2} = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$

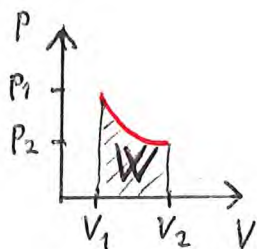
↑
på omgivelsene ved ekspansjon.
 ΔV er negativt ved kompresjon.

Isokor prosess: $W = 0$

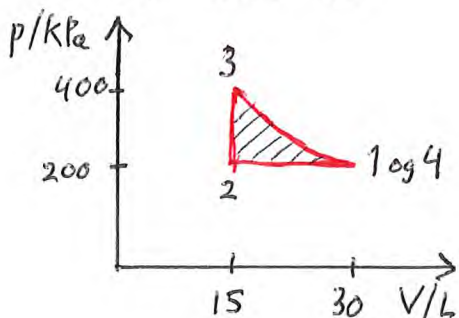
Isoterm prosess: $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{nRT}{V} \right) dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV$

$$= nRT [\ln V]_{V_1}^{V_2} = nRT (\ln V_2 - \ln V_1)$$

$$= nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$



eks 8.8 Finn samlet arbeid utført av en hel syklus i eks. 8.5



Må summere arbeidene.

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34}$$

$$= p_1 \Delta V + 0 + nRT \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right)$$

$$= 200 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot (15,0 - 30,0) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$+ 0 + 1,00 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 722 \text{ K} \cdot \ln \left(\frac{30,0 \text{ m}^3}{15,0 \text{ m}^3} \right)$$

$$= -3,00 \text{ kJ} + 0 + 4,16 \text{ kJ} = \underline{1,16 \text{ kJ}}$$

Arbeid i adiabatisk prosess:

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} nRT_1 \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right)$$

utledet på
RST-nett.

Hvis gassen komprimeres, blir arbeidet W som gassen utfører negativt.

eks. 8.9 Adiabatisk fra $p_1 = 100 \text{ kPa}$, $V_1 = 1000 \text{ L}$ og $T_1 = 290 \text{ K}$
Fra (Luft) til $p_2 = 90 \text{ kPa}$, $V_2 = 1078 \text{ L}$ og $T_2 = 281 \text{ K}$

eks 8.6

gir $W = \left(\frac{1}{1,40 - 1} \right) \cdot 41,495 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 290 \text{ K} \left(1 - \frac{1,00 \text{ m}^3}{1,0781 \text{ m}^3} \right)^{1,40 - 1}$

der vi fant $n = 41,495 \text{ mol}$ for lufta.

$$= \underline{7,41 \text{ kJ}}$$

Varmetransport

overføring av indre energi fra legeme med høy temp.
til legeme med lavere temp. ved hjelp av

- 1) varmeføring (eks. kokeplate varmer vann)
- 2) konveksjon (eks. strøm med varm luft)
- 3) fordampning (eks. svette kjøler kroppen)
- 4) varmestraåling (eks. sola varmer oss)

- 1) Atomene overfører E_k ved kollisjonen
elektroner || raskere,
(i metaller)

Få koll. i gasser \Rightarrow isolerer bra.

- 2) Viktig i væsker og gasser.
Havstrømmer / Lufstrømmer.

$T \text{ lav} \Rightarrow \text{stor tetthet}$
 $T \text{ høy} \Rightarrow \text{lav tetthet}$

} gir strømminger i væsker og gasser.

Overført varmee energi er tilnærmet proporsjonal med arealet av systemet og ΔT mellom dette og omgivelsene.

- 3) Svette tilføres varme fra kroppen.
Fordamping brukes til avkjøling av bygg og industrianlegg

- 4) Bakken sender ut termisk stråling til atmosfæren.
(Gir rim om morgenen)