

Norges
teknisk–naturvitenskapelige
universitet
Institutt for kjemisk
prosessteknologi

TKP4120

Prosessteknikk

Vår 2013

Løsningsforslag — Øving 3

- 1 a) For å beregne temperaturendring i grader E per grader Celsius, må temperaturspennet identifiseres for begge skalaer og forholdet mellom dem beregnes. Derfor:

$$\Delta T_E = T_{E,2} - T_{E,1} = (1000 - 0)^\circ E = 1000^\circ E \quad (1a)$$

$$\Delta T_C = T_{C,2} - T_{C,1} = (78.5 - (-116))^\circ C = 194,5^\circ C \quad (1b)$$

Forholdet mellom $^\circ C$ og $^\circ E$ blir derfor:

$$\frac{\Delta T_E}{\Delta T_C} = \underline{5,14^\circ E/^\circ C} \quad (2)$$

- b) Avstanden fra frysepunktet til etanol til det absolutte nullpunkt er

$$(-273.15 - (-116))^\circ C = -157.2^\circ C \quad (3)$$

I grader E tilsvarer dette:

$$-157,2^\circ C \cdot 5,14 \frac{^\circ E}{^\circ C} = \underline{-808^\circ E} \quad (4)$$

- c) Tilstandsligningen for ideell gass er $pV = nRT$. *Tilstanden* til gassen (pV) endrer seg ikke selv om temperaturskalaen endres. Ideell gasslov kan derfor, med den nye temperaturskalaen som referanse, uttrykkes som gitt i ligning (5).

$$pV = nR_E T_E \quad (5)$$

Substituerer pV og får uttrykket

$$nRT = nR_E T_E \quad (6)$$

Løser for R_E og finner $R_E = RT/T_E = 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 1 \text{ K} / 5,14^\circ E = 1,617 \text{ J mol}^{-1} \text{ }^\circ E$. Vi må definere E -skalaen til å starte i det absolutte nullpunkt om vi skal kunne regne direkte med den på samme måte som man bruker kelvin, altså ved å sette antall $^\circ E$ direkte inn uten å regne om til kelvin, slik vi må gjøre med $^\circ C$.

- 2 Den støkiometrisk balanserte reaksjonsligningen er gitt i ligning (7).



Fra oppgaveteksten er det spesifisert at $n_{\text{H}_2} = 2$. Dermed er det lurt å justere reaksjonsligningen litt:



Setter opp en liten tabell for mol-regnskapet før og etter at reaksjonen har gått.

Tabell 1: Mol-regnskap for reaksjonen i ligning (8)

Forbindelse	n_{pre}	n_{post}
H_2	2	0
N_2	1	1/3
NH_3	0	4/3

Ser at totalt antall mol etter at reaksjonen har gått er $n_{\text{tot}} = 5/3$. For å finne partialtrykkene til komponentene må vi finne molfraksjonene av komponentene, samt totaltrykket i beholderen.

$$x_{\text{H}_2} = 0 \quad (9a)$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{1/3}{5/3} = 1/5 \quad (9b)$$

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{4/3}{5/3} = 4/5 \quad (9c)$$

Totaltrykket i beholderen beregnes fra ideell gass:

$$p_{\text{tot}} = \frac{nRT}{V} = \frac{5/3 \cdot 273,15R}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 1,69 \text{ bar} \quad (10)$$

Partialtrykket til en komponent i en gassblanding er gitt ved $p_i = x_i p_{\text{tot}}$, hvilket gir partialtrykkene

$$p_{\text{H}_2} = 0 \quad (11a)$$

$$p_{\text{N}_2} = 0,338 \text{ bar} \quad (11b)$$

$$p_{\text{NH}_3} = 1,352 \text{ bar} \quad (11c)$$

- 3 a) Archimedes' lov er gitt i ligning (12).

$$m_o = m_l - m_b - m_g \quad (12)$$

hvor m_o er oppdrift, m_l er masse luft fortrenget, m_b er ballongens masse og m_g er massen til gassen i ballongen. Gassmengden beregnes fra ideell gasslov hvor antallet mol uttrykkes ved masse og molar masse ($n = m/M$).

$$m = \frac{pV}{RT}M \quad (13)$$

Dermed kan løfteevnen (oppdriften) til ballongen uttrykkes som

$$m_o = \frac{p_l V_l}{RT_l} M_l - \frac{p_g V_g}{RT_g} M_g - m_b \quad (14a)$$

$$= \frac{pVM}{R} \left(\frac{1}{T_l} - \frac{1}{T_g} \right) - m_b = \underline{231 \text{ kg}} \quad (14b)$$

b) Ved endret verdi for M_g blir løfteevnen

$$m_o = \frac{pV}{R} \left(\frac{M_l}{T_l} - \frac{M_g}{T_g} \right) - m_b = \underline{200 \text{ kg}} \quad (15)$$

c) Benytter samme uttrykk som i ligning (14a), men med verdiene $p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $T_l = 223,15 \text{ K}$ og $T_g = 523 \text{ K}$. Finner da $\underline{m_o = 157 \text{ kg}}$.

d) Benytter igjen ligning (14a), men løser denne med hensyn på volum. Her er $V_g = V_l = V$.

$$V = \frac{(m_o + m_b)RT}{(p_l M_l - p_g M_g)} = \underline{338 \text{ m}^3} \quad (16)$$

4 Gassen følger tilstandsligningen

$$p(V - b) = RT \quad (17)$$

hvor b er en gitt parameter.

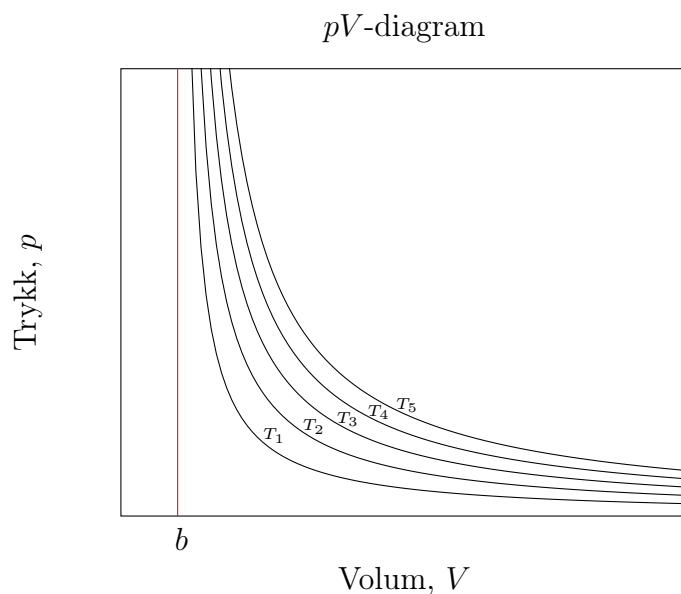
- a) Isothermer i et pV -diagram skal skisseres. Bestemmer p som funksjon av V ved konstant T , $p_T = p_T(V)$. Manipulerer ligning (17) til:

$$p = \frac{RT}{V - b} \quad (18)$$

Observerer at ved konstant T vil:

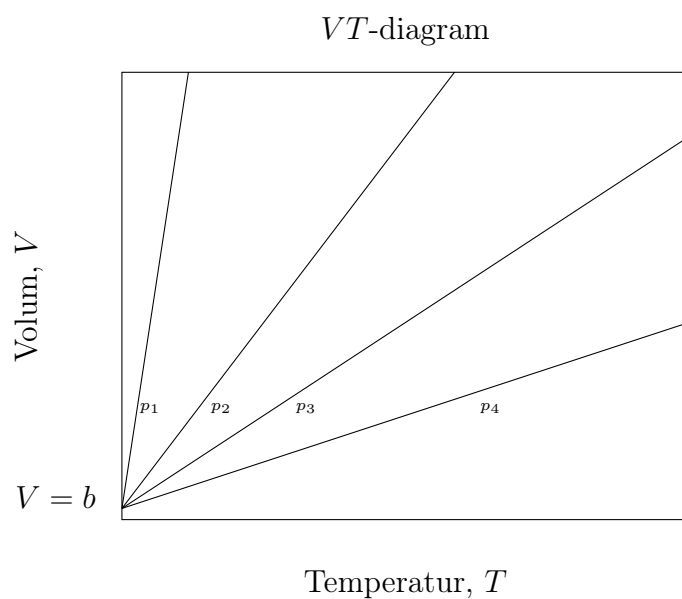
- $p \rightarrow \infty$ når $(V - b) \rightarrow 0$, det vil si, når $V \rightarrow b$.
- $p \rightarrow 0$ når $V \rightarrow \infty$

En skisse av isotermer i pV -diagrammet er gitt i figur 1. Her er $T_1 < T_2 < \dots < T_5$.



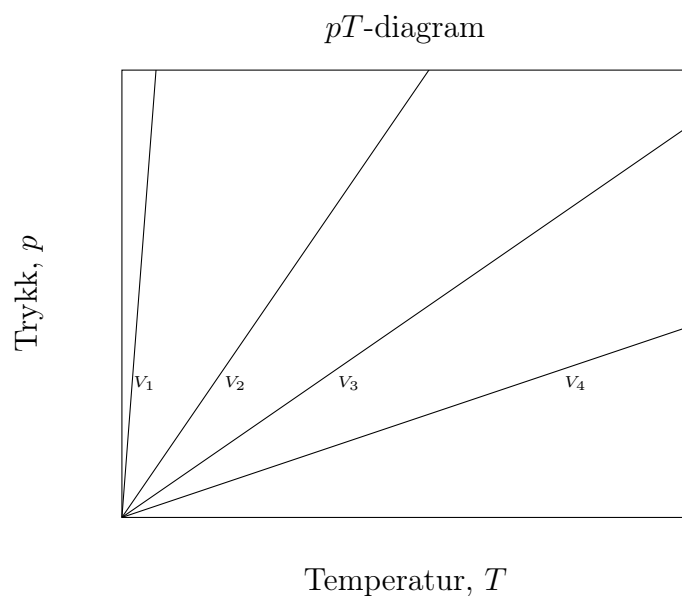
Figur 1: Isothermer i et pV -plot

- b) Isobarer i et VT -diagram skal skisseres. Bestemmer V som funksjon av T ved konstant p : $V_p(T) = RT/p + b$. Observerer at stigningstallet til grafene er gitt fra forholdet T/p og at samtlige grafer skjærer y -aksen i punktet $V = b$. I figuren er $p_1 < \dots < p_4$.



Figur 2: Isobarer i et VT -plot.

- c) Isochorer i et pT -diagram skal skisseres. Bestemmer p som funksjon av T ved konstant V : $p_V(T) = RT/(V - b)$. Observerer at stigningstallet til grafene er gitt av forholdet $T/(V - b)$. I figur 3 er $V_1 < \dots < V_4$



Figur 3: Isochorer i et pT -plot.