PROSESSTEKNIKK ØVING 2

Øving 28.1.99

Løsninger

Oppgave 1

a) Utført arbeid (-*w*) er gitt av

$$-w = \int_{start}^{slutt} p_{ytre}\, dV \qquad (1)$$

der p_{ytre} er summen av omgivelsenes trykk og den eventuelle motkraften som kan gi et arbeid. Når volumendringen skjer reversibelt, balanserer p_{ytre} med trykket p i gassen. Ved så lavt trykk som her er det rimelig å anta at N_2 er en ideell gass, og p som funksjon av V (for ett mol gass) er gitt av

$$p = \frac{RT}{V} \qquad (2)$$

Lign. (2) innsatt i (1) gir

$$\underline{\underline{-w}} = RT \int_{V(p=20\,\mathrm{bar})}^{V(p=1\,\mathrm{bar})} \frac{dV}{V} = RT \ln \frac{V(p=1\,\mathrm{bar})}{V(p=20\,\mathrm{bar})}$$

$$= 8.314\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}} \times 293\,\mathrm{K} \ln \frac{20}{1} = \underline{\underline{7298\,\mathrm{J\,mol^{-1}}}}$$

b) Eneste forskjellen fra a) er at p_{ytre} nå ikke balanserer p, slik at vi må benytte lign. (1) med et konstant ytre trykk. Start- og sluttvolum er de samme som i a).

$$\underline{\underline{-w}} = p_{ytre} \int_{V(p=20\,\mathrm{bar})}^{V(p=1\,\mathrm{bar})} dV = 1\,\mathrm{bar} \times [V(p=1\,\mathrm{bar}) - V(p=1\,\mathrm{bar})] = 1\,\mathrm{bar} \times RT\left(\frac{1}{1\,\mathrm{bar}} - \frac{1}{20\,\mathrm{bar}}\right)$$

$$= 1\,\mathrm{bar} \times 8.314\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}} \times 293\,\mathrm{K} \times \left(\frac{1}{1\,\mathrm{bar}} - \frac{1}{20\,\mathrm{bar}}\right) = \underline{\underline{2314\,\mathrm{J\,mol^{-1}}}}$$

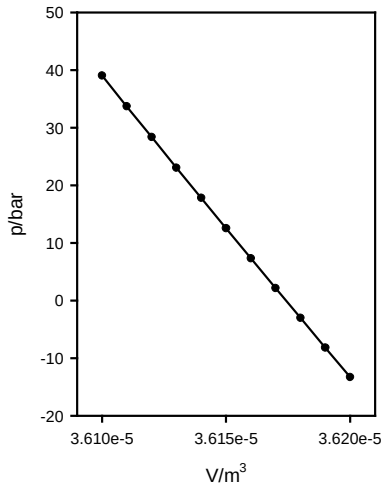
c) Prosess a) utfører mest arbeid. Forskjellen ligger i at a) må tilføres mer varme (7298 J) enn i b) (2314 J).

d) Vann er åpenbart ikke en ideell gass, og vi forsøker med Van der Waals tilstandsligning. Vi må beregne

$$w = -\int_{V(p=1\text{ bar})}^{V(p=20\text{ bar})} p\,dV = -\int_{V(p=1\text{ bar})}^{V(p=20\text{ bar})} \left(\frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}\right) dV$$
$$= -RT\ln(V-b)\Big|_{V(p=1\text{ bar})}^{V(p=20\text{ bar})} - \frac{a}{V}\Big|_{V(p=1\text{ bar})}^{V(p=20\text{ bar})} \qquad (3)$$

For å finne hvilke volum som tilsvarer trykk på 1 bar og 20 bar, må vi egentlig løse den kubiske tilstandsligningen mhp. *V*. Ved å følge hintet i oppgaven kan vi gjøre det enklere og finne følgende verdier for *p* som funksjon av *V*:

$V\times10^5/\text{m}^3$	p/bar
3.610	39.029
3.611	33.686
3.612	28.368
3.613	23.075
3.614	17.808
3.615	12.566
3.616	7.348
3.617	2.155
3.618	-3.013
3.619	-8.156
3.620	-13.275

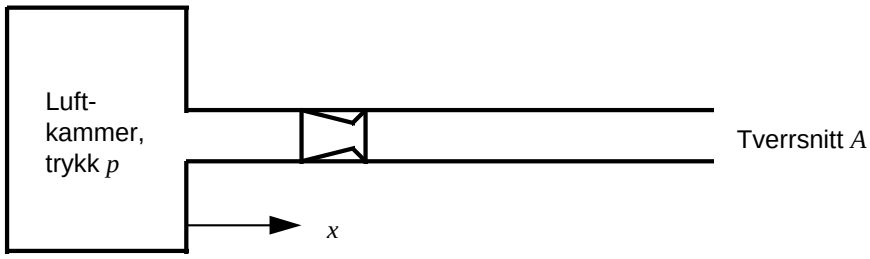


Vi ser at trykket varierer lineært med volumet, og at tykkområdet fra 1 til 20 bar tilsvarer en volumendring fra ca. 3.6172×10^{-5} m^3 til ca. 3.6144×10^{-5} m^3. Disse verdiene innsatt i lign. (3) gir:

$$\underline{w} = -RT\ln(V-b)\Big|_{3.6172\times10^{-5}\text{ m}^3}^{3.6144\times10^{-5}\text{ m}^3} - \frac{a}{V}\Big|_{3.6172\times10^{-5}\text{ m}^3}^{3.6144\times10^{-5}\text{ m}^3}$$
$$= -8.314\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}\ 293\text{ K}\ln\frac{(3.6144-3.049)\times10^{-5}\text{ m}^3}{(3.6172-3.049)\times10^{-5}\text{ m}^3}$$
$$-0.5608\text{ Pa m}^6\text{ mol}^{-2}\times\left(\frac{1}{3.6144\times10^{-5}\text{ m}^3} - \frac{1}{3.6172\times10^{-5}\text{ m}^3}\right)$$
$$= 12.03\text{ J mol}^{-1} - 12.01\text{ J mol}^{-1} = \underline{\underline{0.02\text{ J mol}^{-1}}}$$

e) Grunnen til den store forskjellen i arbeid er at væske er mye mindre kompressibel enn gass. Siden arbeid er kraft×veg, og nødvendig veglengde er mindre jo mindre kompressibel systemet er, gir dette et mindre kompresjonsarbeid.

Oppgave 2



Skisse av luftkammer og løp.

a) Gassen utfører et arbeid på kula som er lik den energien kula har i munningen,

$$\underline{\underline{\text{Arbeid}}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}0.4\times10^{-3}\ \text{kg}\times108^2\ \text{m}^2\ \text{s}^{-2} \underline{\underline{= 2.33\,\text{J}}}$$

b) Trykket bak kula like før den har nådd munningen er gitt av ideell gasslov for isoterm ekspansjon:

$$30\ \text{bar}\times V = p(V + \Delta V)$$

der V er volumet av luftkammeret (1.5×10^{-6} m^3), ΔV er volumet av løpet (1.005×10^{-6} m^3), og p er trykket bak kula idet den når munningen. Innsatt tallverdier gir dette

$$\underline{\underline{p}} = 30\,\text{bar}\frac{1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3}{2.5\times10^{-6}\ \text{m}^3} \underline{\underline{= 18\,\text{bar}}}$$

c) Hvis gassen hadde ekspandert reversibelt fra 30 bar til 1 bar, ville den ekspandert til et volum

$$V = 1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3\frac{30\ \text{bar}}{1\ \text{bar}} = 4.5\times10^{-5}\ \text{m}^3$$

Den ville da utført et arbeid

$$\int_{1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3}^{4.5\times10^{-5}\ \text{m}^3}(p - p_{ytre})dV = nRT\int_{1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3}^{4.5\times10^{-5}\ \text{m}^3}\frac{dV}{V} - 1\ \text{bar}\int_{1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3}^{4.5\times10^{-5}\ \text{m}^3}dV$$

$$= 3\times10^6\ \text{Pa}\times1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3\ \ln\frac{4.5\times10^{-5}\ \text{m}^3}{1.5\times10^{-6}\ \text{m}^3}$$

$$-10^5\ \text{Pa}\ (4.5\times10^{-5} - 1.5\times10^{-6})\ \text{m}^3$$

$$= 15.31\ \text{J} - 4.35\ \text{J} = \underline{10.96\ \text{J}}$$

Av dette overføres bare 2.33 J til kula, og tapt energi er

$$\underline{\underline{\text{Tapt energi}}} = 10.96\,\text{J} - 2.33\,\text{J} \underline{\underline{= 8.63\,\text{J}}}$$

Oppgave 3

a) I SI finner vi følgende verdier for standard dannelsesentalpier:

$\Delta_f H^{\ominus}(C_2H_2) = 227$ kJ mol^{-1}

$\Delta_f H^{\ominus}(HCl) = -92$ kJ mol^{-1}

$\Delta_f H^{\ominus}(CH_2CHCl) = 35$ kJ mol^{-1}

For reaksjonen C_2H_2 (g) + HCl (g) = CH_2CHCl (g) gir det:

$\Delta H^{\ominus} = 35\text{-}227\text{-}(-92)$ kJ = -100 kJ (pr mol HCl omsatt)

Vi velger ett kg HCl omsatt som basis og finner

$$\Delta H^{\ominus} = -100\ \text{kJ mol}^{-1} \frac{1000\ \text{g kg}^{-1}}{36.5\ \text{g mol}^{-1}} = -2740\ \text{kJ kg}^{-1}$$

For hvert kg HCl omsatt må det altså fjernes en varmemengde, 2740 kJ, for å holde konstant temperatur. Varmekapasiteten for vann er $C_p = 75$ J K^{-1} mol^{-1} (fra SI). Ett mol vann som varmes opp fra 10 °C til 24 °C har en kapasitet på

$$75\ \text{J K}^{-1}\ \text{mol}^{-1} \times (24\text{-}10)\ \text{K} = 1050\ \text{J mol}^{-1}$$

Det krever altså en mengde kjølevann på $\dfrac{2740 \times 10^3\ \text{J}}{1050\ \text{J mol}^{-1}} = 2610\ \text{mol}$.

Dette tilsvarer $2610\ \text{mol} \times 18\ \text{g mol}^{-1} = 46980\ \text{g} = \underline{\underline{47.0\ \text{kg}}}$

b) I dette tilfelle kan noe kjølekapasitet hentes fra reaktantene. I SI finner vi data for C_p for reaktantene: $C_p = 29$ J K^{-1} mol^{-1} for HCl (g) og $C_p = 44$ J K^{-1} mol^{-1} for C_2H_2 (g).

Pr mol HCl omsatt gir reaktantene en varmekapasitet på (29+44) J K^{-1}.

Pr kg HCl omsatt gir de $\dfrac{(29+44)\ \text{J K}^{-1}\ \text{mol}^{-1} \times 1000\ \text{g kg}^{-1}}{36.5\ \text{g mol}^{-1}} = 2000\ \text{J K}^{-1}$.

For en temperaturøkning fra 10 °C til 25 °C utgjør reaktantene en kapasitet på

$2000\ \text{J K}^{-1} \times (25\text{-}10)\ \text{K} = 30\ \text{kJ}$.

I stedet for 2740 kJ er det nå tilstrekkelig å fjerne $(2740\text{-}30)\ \text{kJ} = 2710\ \text{kJ}$.

Dette krever en vannmengde $\dfrac{2710 \times 10^3\ \text{J}}{1050\ \text{J mol}^{-1}} \times 18\ \text{g mol}^{-1} = 46500\ \text{g} = \underline{\underline{46.5\ \text{kg}}}$