

14 Kaasujen yleinen tilanyhtälö

14-7.

$$p_1 = 101,3 \text{ kPa}, T_1 = (25 + 273,15) \text{ K} = 298,15 \text{ K}, T_2 = (-25 + 273,15) \text{ K} = 248,15 \text{ K}$$

Koska lasisen pullon tilavuus ei muutu, kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ seuraa

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \text{ Tästä voidaan ratkaista paine}$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{101,3 \text{ kPa} \cdot 248,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} = 84,31 \text{ kPa} \approx 84 \text{ kPa}.$$

Koska paine pullon ulkopuolella on suurempi kuin pullon sisäpuolella, muovipullo painuisi jonkin verran kasaan, jolloin paine-ero tasoittuisi.

14-8.

- a) Yhdessä moolissa ainetta on Avogadron vakion mukainen määrä molekyylejä, joten pullossa on

$$n \cdot N_A = 1,0 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \approx 6,0 \cdot 10^{23} \text{ molekyyliä}.$$

- b) Otsonin O_3 moolimassa on $M_{\text{O}_3} = 3 \cdot M_{\text{O}} = 3 \cdot 16,00 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 48,00 \frac{\text{g}}{\text{mol}}.$

Pullossa olevan kaasun massa lasketaan ainemäärän ja otsonin moolimassan tulona. Pullossa olevan otsonin massa $m = nM = 1,0 \text{ mol} \cdot 48,00 \text{ g/mol} = 48,00 \text{ g}.$

- c) Pullossa vallitseva paine voidaan laskea käyttäen ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$. Pullossa

$$\text{vallitseva paine on } p = \frac{nRT}{V} = \frac{1,0 \text{ mol} \cdot 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}}{0,010 \text{ m}^3} \approx 240 \text{ kPa}.$$

14-9.

Normaaliolosuhteissa kaasun lämpötila on 273,15 K ja paine 101 325 Pa.

14-10.

- a) Taulukkokirjan mukaan normaalioloissa $\rho_{\text{ilma}} = 1,293 \text{ kg/m}^3.$

Luokassa olevan ilman massa on

$$m = \rho V = 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 11 \text{ m} \cdot 8,5 \text{ m} \cdot 2,7 \text{ m} = 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 252 \text{ m}^3 \approx 330 \text{ kg}.$$

- b) Luokan tilavuus on $V_1 = 252 \text{ m}^3$. Koska paine oletettiin vakioksi, seuraa yleisestä tilanyhtälöstä

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ yhtälö } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ josta saadaan } V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{252 \text{ m}^3 \cdot 298,15 \text{ K}}{292,15 \text{ K}} \approx 257,2 \text{ m}^3.$$

Näin ollen luokasta on poistunut ilmaa $\Delta V = V_2 - V_1 = 257,2 \text{ m}^3 - 252 \text{ m}^3 \approx 5,2 \text{ m}^3.$

14-11.

$$m = 9500 \text{ kg}, M = 44,01 \text{ g/mol}, p = 101,3 \text{ kPa}, T = 273,15 \text{ K}, R = 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Tilavuuden selvittämiseen voidaan käyttää ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$. Hiilidioksidin tilavuus normaaliolosuhteissa on

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{m}{M} \frac{RT}{p} = \frac{9500 \text{ kg} \cdot 8,314510 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273,15 \text{ K}}{0,04401 \text{ kg/mol} \cdot 101,3 \text{ kPa}} \approx 4840 \text{ m}^3.$$

14 Kaasujen yleinen tilanyhtälö

Vaihtoehtoinen ratkaisutapa:

Normaaliolosuhteissa yhden moolin mitä tahansa kaasua tilavuus on $V_m = 22,413970 \text{ dm}^3$. Mainitun kaasun ainemäärä on

$$n = \frac{m}{M} = \frac{9500 \text{ kg}}{44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 215860 \text{ mol}.$$

Hiilidioksidin vaatima tilavuus on $V = n \cdot V_m = 215860 \text{ mol} \cdot 22,413970 \text{ dm}^3/\text{mol} \approx 4840 \text{ m}^3$.

14-12.

$T_1 = (15 + 273,15) \text{ K} = 288,15 \text{ K}$, $p_1 = 1013 \text{ mbar}$, $T_2 = (-4,5 + 273,15) \text{ K} = 268,65 \text{ K}$, $p_2 = 701 \text{ mbar}$

Kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ saadaan tilavuus V_2 :

$$V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{1013 \text{ mbar} \cdot V_1 \cdot 268,65 \text{ K}}{701 \text{ mbar} \cdot 288,15 \text{ K}} \approx 1,35 \cdot V_1.$$

Vetypallon tilavuus kasvoi noin 35 %.

14-13.

$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$, $M = 1,008 \text{ g/mol}$

Yhdessä kuutiometrissä ulkoavaruutta on vetyatomeita

$$1 \frac{\text{kpl}}{\text{cm}^3} \cdot 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} = 10^6 \text{ kpl/m}^3, \text{ eli } 10^6 \text{ kappaletta kuutiometriä kohden.}$$

Vedyn ainemäärä voidaan laskea Avogadron vakion avulla. Vedyn ainemäärä on

$$n = \frac{10^6 \text{ kpl}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ kpl/mol}} \approx 1,660539 \cdot 10^{-18} \text{ mol}.$$

Vedyn massa voidaan laskea moolimassan avulla:

$$m = nM = 1,660539 \cdot 10^{-18} \text{ mol} \cdot 1,008 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1,67382 \cdot 10^{-18} \text{ g} \approx 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ g}.$$

14-14.

$p = 10 \text{ MPa}$, $V = 40,0 \text{ dm}^3$, $T = (17 + 273,15) \text{ K} = 290,15 \text{ K}$, $\rho = 1,43 \text{ g/dm}^3$

Ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$ saadaan hapen ainemääräksi

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{10,0 \text{ MPa} \cdot 40,0 \text{ dm}^3}{0,0831463 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 290,15 \text{ K}} = \frac{100 \text{ bar} \cdot 40,0 \text{ dm}^3}{0,0831463 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 290,15 \text{ K}} \approx 165,804 \text{ mol}$$

Koska 1 mooli happea vaatii tilavuuden $22,413970 \text{ dm}^3$, $165,804 \text{ mol}$ happea vaatii tilavuuden

$165,806 \cdot 22,4 \text{ dm}^3 = 3716,32 \text{ dm}^3$. Näin ollen tiheyden yhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$ saadaan hapen massaksi

$$m = \rho V = 1,43 \text{ g/dm}^3 \cdot 3716,32 \text{ dm}^3 \approx 5,3 \text{ kg}.$$

14 Kaasujen yleinen tilanyhtälö

14-15.

$$p_1 = 350 \text{ kPa}, T_1 = (5,0 + 273,15) = 278,15 \text{ K}, p_2 = p_0 = 101,3 \text{ kPa}, T_2 = (19 + 273,15) \text{ K} = 292,15 \text{ K}.$$

Olkoon ilmakuplan tilavuus järven pohjalla V_1 . Kirjoitetaan tilavuus veden pinnalla muodossa $V_2 = xV_1$, jossa x on kysytty tilavuuden suurenemistekijä.

Lämpötila järven pohjalla on $T_1 = 278,15 \text{ K}$ ja pinnalla $T_2 = 292,15 \text{ K}$.

Kaasun tilanyhtälö $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ saadaan muotoon $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot x V_1}{T_2}$, josta saadaan

$$x = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1 V_1} = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{350 \text{ kPa} \cdot 292,15 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \cdot 278,15 \text{ K}} \approx 3,60.$$

Ilmakuplan tilavuus kasvaa 3,6-kertaiseksi.

14-16.

$$T_1 = (18 + 273,15) \text{ K} = 291,15 \text{ K}, p_2 = 0,60 \cdot p_1, V_2 = (1 + 1/3) \cdot V_1 = (4/3) \cdot V_1$$

Oletetaan, että systeemi on eristetty. Yleisen tilanyhtälön mukaan $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. Kaasun lämpötila muutosten jälkeen on

$$T_2 = \frac{T_1 p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{291,15 \text{ K} \cdot (0,60) \cdot p_1 \cdot \left(\frac{4}{3}\right) V_1}{p_1 V_1} = 232,92 \text{ K} \approx -40 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

14-17.

$$V = 11 \text{ l}, p_{m1} = 0 \text{ Pa}, p_{m2} = 2,00 \cdot 10^7 \text{ Pa}, T_1 = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}, \\ T_2 = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}, M_{\text{ilma}} = 28,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}.$$

Oletetaan ilman käyttäytyvän kuin ideaalikaasu ja sovelletaan ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$. Pullossa vallitseva paine saadaan lisäämällä mittaripaineeseen normaali ilmanpaine $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Ilman ainemäärä ennen täyttöä on

$$n_1 = \frac{(p_{lm} + p_0) V}{RT_1} = \frac{(0 + 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot 11,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}} = 0,454182 \text{ mol}.$$

Ilman ainemäärä täytön jälkeen on

$$n_2 = \frac{(p_{2m} + p_0) V}{RT_2} = \frac{(2,0 \cdot 10^7 \text{ Pa} + 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot 11,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31446 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}} \\ = 90,103266 \text{ mol}.$$

Ainemäärän lisäys on $\Delta n = 90,103266 \text{ mol} - 0,454182 \text{ mol} = 89,649084 \text{ mol}$. Näin ollen massan muutos on

$$\Delta m = M_{\text{ilma}} \cdot \Delta n = 28,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol} \cdot 89,649084 \text{ mol} \approx 2,6 \text{ kg}.$$

Sukeltajan painepullon massa kasvaa 2,6 kg.