

Oppikirjan laskutehtävien ratkaisut

Jakso 0 – Kemia on...

3. a)

$$m(\text{Fe}) = 5,0 \text{ g}$$

$$M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{Fe}) = ?$$

Ratkaistaan kysytty ainemäärä suureyhtälöstä $n = \frac{m}{M}$

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{5,0 \text{ g}}{55,85 \text{ g/mol}} = 0,08953 \text{ mol} \approx 0,090 \text{ mol}$$

b)

$$n(\text{Fe}) = 0,08953 \text{ mol}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$$

$$N(\text{Fe}) = ?$$

Ratkaistaan kysytty hiukkasten lukumäärä suureyhtälöstä $n = \frac{N}{N_A}$, josta $N = n \cdot N_A$

$$N(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot N_A = 0,08953 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 5,391 \cdot 10^{22} \approx 5,4 \cdot 10^{22}$$

c)

$$n(\text{Au}) = n(\text{Fe}) = 0,08953 \text{ mol}$$

$$M(\text{Au}) = 196,97 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Au}) = ?$$

Ratkaistaan kysytty kullan massa suureyhtälöstä $n = \frac{m}{M}$, josta $m = n \cdot M$

$$m(\text{Au}) = n(\text{Au}) \cdot M(\text{Au}) = 0,08953 \text{ mol} \cdot 196,97 \text{ g/mol} = 17,63 \text{ g} \approx 18 \text{ g}$$

4. a)

$$m(\text{MgCO}_3) = 3,00 \text{ g}$$

$$M(\text{MgCO}_3) = 84,32 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{MgCO}_3) = ?$$

Ratkaistaan kysytty ainemäärä suureyhtälöstä $n = \frac{m}{M}$

$$n(\text{MgCO}_3) = \frac{m(\text{MgCO}_3)}{M(\text{MgCO}_3)} = \frac{3,00 \text{ g}}{84,32 \text{ g/mol}} = 0,035579 \text{ mol} \approx 0,0356 \text{ mol}$$

b)

$$n(\text{MgCO}_3) = 0,035579 \text{ mol}$$

$$n(\text{ionit}) = ?$$

Magnesiumkarbonaatin kaavasta MgCO_3 nähdään, että yksi mooli tätä yhdistettä sisältää yhden moolin magnesiumioneja Mg^{2+} ja yhden mooli karbonaatti-ioneja CO_3^{2-} .

Täten $n(\text{ionit}) = 2 \cdot n(\text{yhdiste})$ eli $2 \cdot 0,035579 \text{ mol} = 0,071158 \text{ mol} \approx 0,0712 \text{ mol}$.

5. a)

$$c(\text{NaOH(aq)}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{liuos}) = 200 \text{ ml} = 0,200 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{NaOH}) = 39,998 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NaOH}) = ?$$

Ratkaistaan liuokseen tarvittavan natriumhydroksidin ainemäärä suureyhtälöstä:

$$c = \frac{n}{V}, \text{ josta } n = c \cdot V$$

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{liuos}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,200 \text{ dm}^3 = 0,10000 \text{ mol}$$

Lasketaan, mikä massa natriumhydroksidia on punnittava:

$$n = \frac{m}{M}, \text{ josta } m = n \cdot M$$

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 0,10000 \text{ mol} \cdot 39,998 \text{ g/mol} = 3,9998 \text{ g} \approx 4,00 \text{ g}$$

b)

- Punnitaan 4,00 grammaa natriumhydroksidia mahdollisimman tarkasti. Liuotetaan natriumhydroksidi dekantterilasissa lopputilavuutta pienempään tilavuuteen tislattua vettä.
- Kun natriumhydroksidi on täysin liuennut, siirretään liuos 200 ml:n mittapulloon.
- Huuhdotaan dekantterilasi muutaman kerran pienellä määrällä vettä.
- Täytetään mittapullo merkkiviivan saakka ja sekoitetaan liuosta muutaman kerran,
- Tehdään mittapulloon tarvittavat merkinnät ja lisätään syövyttävän aineen varoitusmerkki.

c)

Koska natriumhydroksidi on syövyttävää ainetta, tulee sitä punnittaessa ja liuotettaessa käyttää suojalaseja ja suojakäsineitä. Liuoksen säilytyspulloon laitetaan varoitusmerkki syövyttävästä aineesta.

6.

a) Kyseessä on ympäristölle vaarallisen aineen varoitusmerkki.

b) vesiliuosta

c) Täyspipetillä, sillä se on tarkin tilavuuden mittaukseen käytettävä väline.

d) 100 millilitran mittapulloon

e)

$$c_1 = 0,0100 \text{ mol/dm}^3$$

$$V_1 = 5,00 \text{ ml} = 0,00500 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ dm}^3$$

$$c_2 = ?$$

Ratkaistaan laimennokseen tulevan kuparisulfaatin ainemäärä suureyhtälöstä:

$$c = \frac{n}{V}, \text{ josta } n = c \cdot V$$

$$n(\text{CuSO}_4) = c_1(\text{CuSO}_4) \cdot V_1 = 0,0100 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,00500 \text{ dm}^3 = 5,0000 \cdot 10^{-5} \text{ mol.}$$

Ratkaistaan laimennoksen kuparisulfaattikonsentraatio suureyhtälöstä:

$$c = \frac{n}{V}$$

$$c_2 = \frac{n(\text{CuSO}_4)}{V_2} = \frac{5,0000 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{0,100 \text{ dm}^3} = 5,0000 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 0,500 \text{ mmol/dm}^3.$$

f)

$$c(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}(\text{aq})) = 0,0100 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{liuos}) = 50,0 \text{ ml} = 0,0500 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) = 249,700 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) = ?$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä kidevedellistä kuparisulfaattia oli valmistetussa liuoksessa:

$$c = \frac{n}{V}, \text{ josta } n = c \cdot V$$

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) = c(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) \cdot V(\text{liuos}) = 0,0100 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0500 \text{ dm}^3 = 5,0000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Lasketaan kidevedellisen kuparisulfaatin massa:

$$n = \frac{m}{M}, \text{ josta } m = n \cdot M$$

$$\begin{aligned} m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) &= n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) \\ &= 5,0000 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 249,700 \text{ g/mol} = 0,12485 \text{ g} \approx 0,125 \text{ g}. \end{aligned}$$

7.

$$m\text{-}\%(\text{HNO}_3) = 69\% = 0,69$$

$$\rho(\text{HNO}_3) = 1,41 \text{ g/cm}^3$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63,018 \text{ g/mol}$$

$$c(\text{HNO}_3) = ?$$

Annetun tiheyden perusteella yksi millilitra liuosta painaa 1,41 grammaa. Yhden liuoslitran (dm^3) massa on tämän perusteella $1\,000 \text{ cm}^3 \cdot 1,41 \text{ g/cm}^3 = 1\,410 \text{ g}$.

Massaprosenttisen osuuden perusteella typpihapon osuus yhden liuoslitran kokonaismassasta on $m(\text{HNO}_3) = 0,69 \cdot 1410 \text{ g} = 972,9 \text{ g}$.

Yhdessä liuoslitrossa olevan typpihapon ainemäärä on

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)} = \frac{972,9 \text{ g}}{63,018 \text{ g/mol}} = 15,44 \text{ mol.}$$

Typpihapon konsentraatioksi saadaan

$$c(\text{HNO}_3) = \frac{n(\text{HNO}_3)}{V(\text{HNO}_3)} = \frac{15,44 \text{ mol}}{1,0 \text{ dm}^3} = 15,44 \text{ mol/dm}^3 \approx 15 \text{ mol/dm}^3.$$

Jakso 1 – Kemiallisen reaktion perusteita

Luku 1.1 Miksi kemiallinen reaktio tapahtuu?

1.5

a)

$$\Delta H = -1370 \text{ kJ}$$

$$\Delta S = +160 \text{ J} = 0,160 \text{ kJ (huomaa yksikkömuunnos)}$$

$$t = 25,0 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = (273,15 + 25,0) \text{ K} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta G = ?$$

Lasketaan Gibbsin energiamuutos lausekkeesta

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \Rightarrow \Delta G = (-1370 \text{ kJ}) - 298,15 \cdot (+0,160 \text{ kJ}) = -1417,7 \text{ kJ} \approx -1420 \text{ kJ.}$$

Koska ΔG :n lukuarvo on negatiivinen, reaktio on spontaani.

b) Etanoli- ja happimolekyyleillä tulee olla riittävästi energiaa, jotta törmäykset johtavat reaktioon. Huoneenlämmön lämpöenergia ei riitä aktivoitumisenergiäkynnyksen ylittymiseen.

c) Reaktion saa käynnistymään viemällä siihen lisäenergiaa esimerkiksi palavalla tulitikulla.

1.6

$$\Delta H = +179 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S = +160 \text{ J/mol}\cdot\text{K} = +0,160 \text{ J/mol}\cdot\text{K (huomaa yksikkömuunnos)}$$

$$t = 20,0 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = (20,0 + 273,15) \text{ K} = 293,15 \text{ K}$$

Kalsiumkarbonaatin hajoaminen on spontaani huoneenlämmössä, jos Gibbsin energiamuutoksen arvoksi saadaan negatiivinen luku.

Lasketaan ΔG :n arvo lausekkeesta $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$.

$$\Delta G = (+179 \text{ kJ/mol}) - 293,15 \text{ K} (+0,160 \text{ J/mol}\cdot\text{K}) = +132,096 \text{ kJ/mol} \approx +132 \text{ kJ/mol.}$$

Koska ΔG :n lukuarvo on positiivinen, reaktio ei ole spontaani.

Jotta kalsiumkarbonaatin hajoaminen olisi spontaani, tulee lausekkeen $\Delta H - T\Delta S$ arvoksi saada negatiivinen luku. Reaktio on spontaani, kun $\Delta H - T\Delta S < 0$. Koska ΔH on positiivinen, tulee $T\Delta S$:n lukuarvon olla suurempi kuin ΔH :n lukuarvo. Ratkaistaan, millä T :n arvolla tämä toteutuu:

$$T > \frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{+179\text{kJ/mol}}{+0,160\text{kJ/mol}\cdot\text{K}} = 1118,75 \text{ K.}$$

Muutetaan lämpötila Celsius-asteiksi: $t = (1118,75 - 273,15) \text{ }^\circ\text{C} = 845,60 \text{ }^\circ\text{C} \approx 846 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kalsiumkarbonaatin hajoaminen on spontaani, kun lämpötila on korkeampi kuin $846 \text{ }^\circ\text{C}$.

Luku 1.3 Tasapainotetun reaktioyhtälön käyttö

1.13

a) $m(\text{H}_2) = 10,0 \text{ g}$

$$M(\text{H}_2) = 2,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{O}_2) = ?$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö on $2 \text{ H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{l})$.

Lasketaan vedyn ainemäärä:

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{10,0 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol}} = 4,9603 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella $\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{H}_2)} = \frac{1}{2}$, joten

$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \cdot 4,9603 \text{ mol} = 2,4802 \text{ mol.}$$

Lasketaan hapen massa:

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 2,4802 \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g/mol} = 79,366 \text{ g} \approx 79,4 \text{ g.}$$

b)

$$n(\text{H}_2) = 4,9603 \text{ mol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

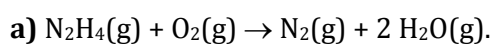
Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2)} = \frac{2}{2}$ eli $n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2) = 4,9603 \text{ mol}$.

Lasketaan veden massa:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 4,9603 \text{ mol} \cdot 18,016 \text{ g/mol} = 89,365 \text{ g} \approx 89,4 \text{ g} \approx 0,0894 \text{ kg}$$

c) Kun lasketaan yhteen vedyn ja hapen massat ($10,0 \text{ g} + 79,4 \text{ g} = 89,4 \text{ g}$) ja verrataan sitä muodostuneen veden massaan ($89,4 \text{ g}$), huomataan, että reaktiossa ei häviä ainetta.

1.14



b)

$$m(\text{N}_2\text{H}_4) = 150 \text{ g}$$

$$M(\text{N}_2\text{H}_4) = 32,052 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{O}_2) = ?$$

Lasketaan hydratsiinin ainemäärä

$$n(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{m(\text{N}_2\text{H}_4)}{M(\text{N}_2\text{H}_4)} = \frac{150 \text{ g}}{32,052 \text{ g/mol}} = 4,6799 \text{ mol}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{N}_2\text{H}_4)} = \frac{1}{1} \text{ eli } n(\text{O}_2) = n(\text{N}_2\text{H}_4) = 4,6799 \text{ mol.}$$

Lasketaan hapen massa:

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 4,6799 \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g/mol} = 149,76 \text{ g} \approx 150 \text{ g.}$$

c)

$$m(\text{N}_2\text{H}_4) = 3,0 \text{ kg} = 3\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{N}_2\text{H}_4) = 32,052 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{kaasut}) = ?$$

Lasketaan hydratsiinin ainemäärä

$$n(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{m(\text{N}_2\text{H}_4)}{M(\text{N}_2\text{H}_4)} = \frac{3\,000\text{g}}{32,052\text{g/mol}} = 93,60 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(\text{kaasut})}{n(\text{N}_2\text{H}_4)} = \frac{3}{1} \text{ joten } n(\text{kaasut}) = 3 \cdot n(\text{N}_2\text{H}_4) = 3 \cdot 93,60 \text{ mol} = 280,80 \text{ mol} \approx 280 \text{ mol.}$$

1.15

a)

$$m(\text{O}_2) = 0,50 \text{ g}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,98 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Na}_2\text{O}_2) = ?$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö on $2 \text{ Na}_2\text{O}_2(\text{s}) + 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4 \text{ NaOH}(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g})$.

$$\text{Lasketaan hapen ainemäärä } n(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = \frac{0,50 \text{ g}}{32,00 \text{ g/mol}} = 0,01563 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Na}_2\text{O}_2)}{n(\text{O}_2)} = \frac{2}{1} \text{ joten } n(\text{Na}_2\text{O}_2) = 2 \cdot n(\text{O}_2) = 2 \cdot 0,01563 \text{ mol} = 0,03126 \text{ mol.}$$

Lasketaan natriumperoksidin massa

$$m(\text{Na}_2\text{O}_2) = n(\text{Na}_2\text{O}_2) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 0,03126 \text{ mol} \cdot 77,98 \text{ g/mol} = 2,438 \text{ g} \approx 2,4 \text{ g.}$$

b)

$$n(\text{O}_2) = 0,01563 \text{ mol}$$

$$V(\text{liuos}) = 75 \text{ ml} = 0,075 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = ?$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{O}_2)} = \frac{4}{1} \text{ joten } n(\text{NaOH}) = 4 \cdot n(\text{O}_2) = 4 \cdot 0,01563 \text{ mol} = 0,06252 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan natriumhydroksidiliuoksen konsentraatio suureyhtälöstä $c = \frac{n}{V}$.

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V(\text{liuos})} = \frac{0,06252 \text{ mol}}{0,075 \text{ dm}^3} = 0,8336 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,83 \text{ mol/dm}^3.$$

1.16

$$m(\text{KClO}_3) = 2,00 \text{ g}$$

$$M(\text{KClO}_3) = 122,55 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{ruisku}) = 11,450 \text{ g}$$

$$m(\text{ruisku} + \text{O}_2) = 12,170 \text{ g}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$\text{saanto-}\%(\text{O}_2) = ?$$

Kaliumkloraatin hajoamista kuvaava reaktioyhtälö on $2 \text{KClO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} 2 \text{KCl}(\text{s}) + 3 \text{O}_2(\text{g})$.

Lasketaan kaliumkloraatin ainemäärä:

$$n(\text{KClO}_3) = \frac{m(\text{KClO}_3)}{M(\text{KClO}_3)} = \frac{2,00 \text{ g}}{122,55 \text{ g/mol}} = 0,016320 \text{ mol}.$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{KClO}_3)} = \frac{3}{2}, \text{ joten } n(\text{O}_2) = \frac{3}{2} \cdot n(\text{KClO}_3) = \frac{3}{2} \cdot 0,016320 \text{ mol} = 0,024480 \text{ mol}.$$

Lasketaan hapen teoreettinen saanto:

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 0,024480 \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g/mol} = 0,78336 \text{ g}.$$

Lasketaan punnitustulosten perusteella saadun hapen massa:

$$m(\text{O}_2) = m(\text{ruisku} + \text{O}_2) - m(\text{ruisku}) = 12,170 \text{ g} - 11,450 \text{ g} = 0,720 \text{ g}.$$

Hapen prosentuaalinen saanto on

$$\text{saanto-\%}(\text{O}_2) = \frac{\text{saatu massa}}{\text{teoreettinen massa}} = \frac{0,720 \text{ g}}{0,78336 \text{ g}} \cdot 100 \% = 91,912 \% \approx 91,9 \%$$

1.17

a)

$$V(\text{NaOH}) = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 15,8 \text{ ml} = 0,0158 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = ?$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on $\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Ratkaistaan suolahapon ainemäärä suureyhtälöstä $c = \frac{n}{V}$, josta

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0158 \text{ dm}^3 = 0,001580 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella $n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = 0,001580 \text{ mol}$.

Lasketaan natriumhydroksidiliuoksen konsentraatio:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,001580 \text{ mol}}{0,0250 \text{ dm}^3} = 0,06320 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,063 \text{ mol/dm}^3.$$

b)

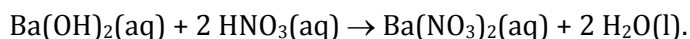
$$c(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,00250 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HNO}_3) = 0,500 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HNO}_3) = ?$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on



Ratkaistaan bariumhydroksidin ainemäärä suureyhtälöstä $c = \frac{n}{V}$, josta

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = c(\text{Ba}(\text{OH})_2) \cdot V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,00250 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0100 \text{ dm}^3 = 2,5000 \cdot 10^{-5} \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(\text{HNO}_3)}{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{HNO}_3) = 2 \cdot n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 2,5000 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = 5,0000 \cdot 10^{-5} \text{ mol}.$$

Ratkaistaan tarvittava typpihapon tilavuus suureyhtälöstä $c = \frac{n}{V}$, josta

$$V(\text{HNO}_3) = \frac{n(\text{HNO}_3)}{c(\text{HNO}_3)} = \frac{5,0000 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{0,500 \text{ mol/dm}^3} = 0,00010000 \text{ dm}^3 \approx 0,100 \text{ ml}.$$

1.18

a)

Tasapainotetaan ensin hiili- ja vetyatomit. Lähtöaineen kaikki hiiliatomit (x) ovat hiilidioksidimolekyylissä, joten hiilidioksidin eteen tulee kerroin x => x CO₂.

Lähtöaineen kaikki vetyatomit (y) ovat vesimolekyylissä, joten veden eteen tulee kerroin ½ y => ½ y H₂O.

Yhteenlaskettu happimolekyylien määrä reaktiotuotteissa on tällöin 2x + ½y.

Lisätään tämä kerroin lähtöaineen happea sisältävän yhdisteen eli NO:n eteen => 2x + ½y NO.

Täsmätään lopuksi reaktiotuotteena muodostuvan typpimolekyylin kerroin NO:n kertoimen avulla. Typen kerroin on ½ · (2x + ½y) N₂ => x + ¼ y N₂.

Tasapainotettu reaktioyhtälö on C_xH_y (g) + (2x + ½ y) NO (g) → x CO₂ (g) + ½ y H₂O (g) + (x + ¼ y) N₂ (g).

b)

$$m(\text{CO}_2) = 10,0 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 4,60 \text{ g}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan muodostuneen hiilidioksidin ainemäärä:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{10,0 \text{ g}}{44,01 \text{ g/mol}} = 0,22722 \text{ mol.}$$

Hiilivedyn hiiliatomien ainemäärä $n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,22722 \text{ mol}$.

Ratkaistaan muodostuneen veden ainemäärä:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4,60 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 0,25533 \text{ mol.}$$

Hiilivedyn vetyatomien ainemäärä $n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,25533 \text{ mol} = 0,51066 \text{ mol}$.

Hiilivedyn hiili- ja vetyatomien ainemäärien suhde $n(\text{C}) : n(\text{H}) = 0,22722 \text{ mol} : 0,51066 \text{ mol}$

$\approx 1 : 2,25$ josta saadaan pienimmäksi kokonaislukusuhteeksi $4 : 9$.

Hiilivedyn suhdekaava on $(\text{C}_4\text{H}_9)_x$.

c)

$$m(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 1,0 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 114,224 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NO}) = 30,01 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NO}) = ?$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö on $2 \text{ C}_8\text{H}_{18} (\text{g}) + 50 \text{ NO} (\text{g}) \rightarrow 16 \text{ CO}_2 (\text{g}) + 18 \text{ H}_2\text{O} (\text{g}) + 25 \text{ N}_2 (\text{g})$.

Lasketaan oktaanin ainemäärä:

$$n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_{18})}{M(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{1000 \text{ g}}{114,224 \text{ g/mol}} = 8,755 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(\text{NO})}{n(\text{C}_8\text{H}_{18})} = \frac{50}{2}, \text{ joten } n(\text{NO}) = \frac{50}{2} \cdot n(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 25 \cdot 8,755 \text{ mol} = 218,9 \text{ mol}.$$

Lasketaan typpimonoksidin massa:

$$m(\text{NO}) = n(\text{NO}) \cdot M(\text{NO}) = 218,9 \text{ mol} \cdot 30,01 \text{ g/mol} = 6569 \text{ g} \approx 6,6 \text{ kg}.$$

Harjoittele lisää!

Ylioppilastehtäviä

2.

$$V(\text{kloriittinäyte}) = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 32,5 \text{ ml} = 0,0325 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,200 \text{ M} = 0,200 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{NaClO}) = ?$$

Ratkaistaan jodin kanssa reagoineiden tiosulfaatti-ionien ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) ainemäärä suureyhtälöstä

$$c = \frac{n}{V}, \text{ josta } n = c \cdot V.$$

Koska tiosulfaatti-ionien ainemäärä on sama kuin natriumtiosulfaatin ainemäärä, merkitään

$$\begin{aligned} n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) &= n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \\ &= 0,200 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0325 \text{ dm}^3 = 0,0065000 \text{ mol}. \end{aligned}$$

Jälkimmäisen reaktioyhtälön kertoimien perusteella

$$\frac{n(\text{I}_2)}{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})} = \frac{1}{2}, \text{ joten } n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \cdot 0,0065000 \text{ mol} = 0,0032500 \text{ mol}.$$

Ylemmästä reaktioyhtälöstä nähdään, että $n(\text{I}_2) = n(\text{ClO}^-)$, joka puolestaan on $n(\text{NaClO})$, joten $n(\text{NaClO}) = 0,0032500 \text{ mol}$.

Ratkaistaan kloriitin natriumhypokloriittikonsentraatio:

$$c(\text{NaClO}) = \frac{n(\text{NaClO})}{V(\text{kloriittinäyte})} = \frac{0,0032500 \text{ mol}}{0,0250 \text{ dm}^3} = 0,13000 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,130 \text{ mol/dm}^3.$$

Jakso 2 – Erilaisia reaktioita

2.1 Hapettumis-pelkistymisreaktiot

2.6

a) Rauta(III)oksidi koostuu Fe^{3+} ja O^{2-} -ioneista. Alumiini on alkuaine, joka luovuttaa ulkoelektroninsa Fe^{3+} -ioneille, jolloin muodostuu rauta-atomeja ja alumiini-ioneja Al^{3+} . Siten reaktiossa alumiini hapettuu ja rauta(III)-ionit pelkistyvät.

b) Koska alumiini hapettuu, se toimii pelkistimenä. Hapettimena toimivat rauta(III)oksidin rautaionit, jotka pelkistyvät alkuaine raudaksi.

c)

$$m(\text{Fe}) = 100,0 \text{ g}$$

$$M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Al}) = 26,98 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 159,70 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Al}) = ?$$

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = ?$$

Ratkaistaan syntyvän raudan ainemäärä:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{100,0 \text{ g}}{55,85 \text{ g/mol}} = 1,79051 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{Al})}{n(\text{Fe})} = \frac{2}{2}, \text{ joten } n(\text{Al}) = n(\text{Fe}) = 1,79051 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{n(\text{Fe})} = \frac{1}{2}, \text{ joten } n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{Fe}) = \frac{1}{2} \cdot 1,79051 \text{ mol} = 0,895255 \text{ mol}$$

Lasketaan molempien lähtöaineiden massa:

$$m(\text{Al}) = n(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}) = 1,79051 \text{ mol} \cdot 26,98 \text{ g/mol} = 48,3080 \text{ g} \approx 48,31 \text{ g}$$

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = n(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,895255 \text{ mol} \cdot 159,70 \text{ g/mol} = 142,972 \text{ g} \approx 143,0 \text{ g.}$$

2.7

$$m(\text{rautalanka}) = 2,225 \text{ g}$$

$$V(\text{näyteliuos}) = 250 \text{ ml} = 0,250 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{titrattu näyte}) = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7(\text{aq})) = 0,0185 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7(\text{aq})) = 31,0 \text{ cm}^3 = 0,0310 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(\text{Fe}) = ?$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä kaliumdikromaattiliuosta on tarvittu reagoimaan täydellisesti titraukseen otetun näytteen sisältämien rauta(II)-ionien kanssa:

$$n(\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7) = c(\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7) \cdot V(\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7) = 0,0185 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0310 \text{ dm}^3 = 5,7350 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

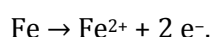
Kaliumdikromaatin kaavasta ($\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7$) nähdään, että yhdessä moolissa kaliumdikromaattia on yksi mooli dikromaatti-ioneja ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) eli reagoineiden dikromaatti-ionien ainemäärä

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = n(\text{K}_2\text{C}_r\text{O}_7) = 5,7350 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Fe}^{2+})}{n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})} = \frac{6}{1}, \text{ joten } n(\text{Fe}^{2+}) = 6 \cdot 5,7350 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 3,4410 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Rauta-atomit hapettuvat rauta(II)-ioneiksi seuraavan osareaktion mukaisesti:



Yksi mooli rauta-atomeja tuottaa siten yhden mooli rauta(II)-ioneja, joten $n(\text{Fe}) = n(\text{Fe}^{2+})$.

Ratkaistaan tämän perusteella raudan massa 25,0 millilitran näytteessä:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 3,4410 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g/mol} = 0,19218 \text{ g.}$$

Alkuperäisen näytteen kokonaistilavuus oli 250 millilitraa, joten rautalanganäytteen sisältämän raudan kokonaismassa on $10 \cdot 0,19218 \text{ g} = 1,9218 \text{ g}$.

Ratkaistaan lopuksi rautalangan sisältämä rautapitoisuus massaprosentteina:

$$m\text{-}\%(\text{Fe}) = \frac{1,9218 \text{ g}}{2,225 \text{ g}} \cdot 100 \% = 86,373 \% \approx 86,4 \%.$$

2.2 Hapot, emäkset ja neutraloitumisreaktio

2.10

a)

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,15 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10 \text{ ml} = 0,010 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,035 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$

Neutraloitumisreaktio on $2 \text{ NaOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{l})$.

Ratkaistaan rikkihapon ainemäärä:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,15 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,010 \text{ dm}^3 = 0,001500 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{NaOH}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,001500 \text{ mol} = 0,003000 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan natriumhydroksidin tilavuus:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{c(\text{NaOH})} = \frac{0,003000 \text{ mol}}{0,035 \text{ mol/dm}^3} = 0,08571 \text{ dm}^3 \approx 86 \text{ ml}.$$

b)

$$m(\text{HCl}) = 1,65 \text{ g}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$V_1(\text{HCl}) = 1,0 \text{ l} = 1,0 \text{ dm}^3$$

$$V_2(\text{HCl}) = 40 \text{ ml} = 0,040 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,025 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{Ca}(\text{OH})_2) = ?$$

Neutraloitumisreaktio on $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + 2 \text{ HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2(\text{aq}) + 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{l})$.

Ratkaistaan, mikä ainemäärä vetykloridia on yhdessä litrassa suolahappoa:

$$n(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{1,65 \text{ g}}{36,458 \text{ g/mol}} = 0,045258 \text{ mol}.$$

Suolahapon konsentraatio on siten:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{HCl})} = \frac{0,045258 \text{ mol}}{1,0 \text{ dm}^3} = 0,4529 \text{ mol/dm}^3.$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä suolahappoa on 40 ml:n tilavuudessa (= $V_2(\text{HCl})$):

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl}) = 0,4529 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,040 \text{ dm}^3 = 0,001812 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{n(\text{HCl})} = \frac{1}{2}, \text{ josta } n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 0,001812 \text{ mol} = 0,0009060 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan kalsiumhydroksidin tilavuus:

$$V(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{n(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{c(\text{Ca}(\text{OH})_2)} = \frac{0,0009060 \text{ mol}}{0,025 \text{ mol/dm}^3} = 0,03624 \text{ dm}^3 \approx 36 \text{ ml}.$$

c)

$$m(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 130 \text{ mg} = 0,130 \text{ g}$$

$$M(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 58,326 \text{ g/mol}$$

$$c(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,075 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{H}_3\text{PO}_4) = ?$$

Neutraloitumisreaktio on $3 \text{ Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2 \text{ H}_3\text{PO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{aq}) + 3 \text{ H}_2\text{O}(\text{l})$.

Ratkaistaan magnesiumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{Mg}(\text{OH})_2) = \frac{m(\text{Mg}(\text{OH})_2)}{M(\text{Mg}(\text{OH})_2)} = \frac{0,130 \text{ g}}{58,326 \text{ g/mol}} = 0,0022289 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{n(\text{Mg}(\text{OH})_2)} = \frac{2}{3}, \text{ josta } n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{Mg}(\text{OH})_2) = \frac{2}{3} \cdot 0,0022289 \text{ mol} = 0,0014859 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan fosforihapon tilavuus:

$$V(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{c(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{0,0014859 \text{ mol}}{0,075 \text{ mol/dm}^3} = 0,01981 \text{ dm}^3 \approx 20 \text{ ml}.$$

2.11

$$m(\text{puhdistusaine}) = 25,37 \text{ g}$$

$$V_1(\text{näyteliuos}) = 250 \text{ ml}$$

$$V_2(\text{titrattu näyteliuos}) = 10,0 \text{ ml}$$

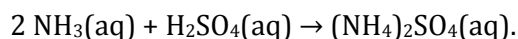
$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,036 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 37,3 \text{ ml} = 0,0373 \text{ dm}^3$$

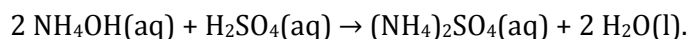
$$M(\text{NH}_3) = 17,034 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(\text{NH}_3) = ?$$

Neutraloitumisreaktio on



tai



Lasketaan neutraloitumisreaktiossa kuluneen rikkihapon ainemäärä:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,036 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0373 \text{ dm}^3 = 0,001343 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{NH}_3) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,001343 \text{ mol} = 0,002686 \text{ mol}.$$

Lasketaan ammoniakkin massa titratussa näytteessä (10,0 ml):

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 0,002686 \text{ mol} \cdot 17,034 \text{ g/mol} = 0,04575 \text{ g}.$$

Puhdistusaineesta oli valmistettu 250 millilitran näyte, joten ammoniakkin kokonaismassa tutkitussa määrässä on $25 \cdot 0,04575 \text{ g} = 1,144 \text{ g}$.

Lasketaan ammoniakkin osuus massaprosentteina:

$$m\text{-}\%(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{näyte})} \cdot 100\% = \frac{1,144 \text{ g}}{23,37 \text{ g}} \cdot 100\% = 4,90\% \approx 4,9\%.$$

Fenoliftaleiini on happo-emäsindikaattori. Kun näyteliuokseen lisätään indikaattoria, havaitaan titrauksen ekvivalenttipiste näyteliuoksen värin muutoksena.

Näyteliuoksessa on titrauksen jälkeen suolaa ja vettä, joten se voidaan huuhtoa viemäriin.

2.12

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}) = 2,898 \text{ g}$$

$$V(\text{HCl}) = 45 \text{ ml} = 0,045 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 2,0 \text{ mol/dm}^3$$

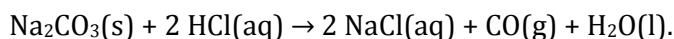
$$V(\text{NaOH}) = 19 \text{ ml} = 0,019 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 3,0 \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,99 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$$

Seoksen natriumkarbonaatti reagoi suolahapon kanssa seuraavasti:



Näytteeseen lisätyn suolahapon kokonaisainemäärä on:

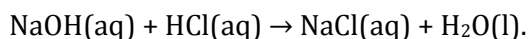
$$n(\text{HCl})_{\text{lisätty}} = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 2,0 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,045 \text{ dm}^3 = 0,09000 \text{ mol}.$$

Titrauksessa kuluneen natriumhydroksidiliuoksen avulla voidaan ratkaista, mikä ainemäärä suolahappoa oli jäänyt reagoimatta eli kuinka paljon suolahappoa oli ylimäärin.

Ratkaistaan, mikä ainemäärä natriumhydroksidia tarvittiin neutraloimaan ylimäärä suolahappoa:

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 3,0 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,019 \text{ dm}^3 = 0,05700 \text{ mol}.$$

Natriumhydroksidin ja suolahapon välinen neutraloitumisreaktio on:



Tämän perusteella

$$n(\text{HCl})_{\text{ylimäärin}} = n(\text{NaOH}) = 0,05700 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä suolahappoa oli reagoinut natriumkarbonaatin hajoamisreaktiossa:

$$n(\text{HCl})_{\text{reagoinut}} = n(\text{HCl})_{\text{lisätty}} - n(\text{HCl})_{\text{ylimäärin}} = 0,09000 \text{ mol} - 0,05700 \text{ mol} = 0,03300 \text{ mol}.$$

Natriumkarbonaatin hajoamisreaktion perusteella

$$\frac{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{n(\text{HCl})} = \frac{1}{2}, \text{ josta } n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 0,03300 \text{ mol} = 0,01650 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan seoksessa olleen natriumkarbonaatin massa:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,01650 \text{ mol} \cdot 105,99 \text{ g/mol} = 1,749 \text{ g}.$$

Natriumkarbonaatin osuus massaprosentteina on:

$$m\text{-}\%(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{näyte})} \cdot 100 \% = \frac{1,749 \text{ g}}{2,898 \text{ g}} \cdot 100 \% = 60,35 \% = 60 \%$$

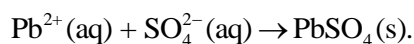
Lisätyn veden tilavuudella ei ole merkitystä, sillä seoksessa olleen natriumkarbonaatin ainemäärä ei muutu sen liuetessa veteen.

2.3 saostumisreaktiot

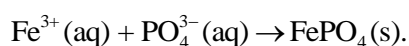
2.14

a) Kaliumnitraatin vesiliuoksessa on K^+ - ja NO_3^- -ioneja. Vastaavasti bariumkloridin vesiliuoksessa Ba^{2+} - ja Cl^- -ioneja. Taulukkokirjan mukaan sekä kaliumkloridi että bariumnitraatti ovat veteen runsaasti liukenevia suoloja. Liuoksia yhdistettäessä ei tapahdu saostumisreaktiota.

b) Natriumsulfaatin ja lyijy(II)nitraatin vesiliuoksia yhdistettäessä muodostuu natriumnitraattia ja lyijy(II)sulfaattia. Taulukkokirjan mukaan natriumnitraatti on veteen runsaasti liukeneva suola. Lyijy(II)sulfaatti on sen sijaan veteen niukkaliukoinen. Tapahtuu seuraava saostumisreaktio:



c) Natriumfosfaatin ja rauta(III)nitraatin vesiliuoksia yhdistettäessä muodostuu natriumnitraattia ja rauta(III)fosfaattia. Taulukkokirjan mukaan natriumnitraatti on veteen runsaasti liukeneva suola. Rauta(III)fosfaatti sen sijaan on veteen niukkaliukoinen. Tapahtuu seuraava saostumisreaktio:



2.15

$$m(\text{malminäyte}) = 5,0 \text{ kg} = 5\,000 \text{ g}$$

$$V_1(\text{malmiliuos}) = 20 \text{ l}$$

$$V_2(\text{näyteliuos}) = 200 \text{ ml}$$

$$m(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4) = 140 \text{ mg} = 0,140 \text{ g}$$

$$M(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4) = 288,922 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Ni}) = 58,69 \text{ g/mol}$$

$$\%_{\text{oo}}(\text{Ni}) = ?$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä yhdistettä $\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4$ saostui:

$$n(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4) = \frac{m(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4)}{M(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4)} = \frac{0,140 \text{ g}}{288,922 \text{ g/mol}} = 4,8456 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Yhdisteen $\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4$ kaavasta nähdään, että yhdessä moolissa yhdistettä on yksi mooli Ni(II) -ioneja joten 200 ml:n näytteen $n(\text{Ni}^{2+}) = n(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4) = 4,8456 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$

Koko malmilioksen kokonaistilavuus oli 20 litraa, joten siinä olevien nikkeli(II)-ionien ainemäärä

$$n(\text{Ni}^{2+}) = 100 \cdot 4,8456 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 0,048456 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan nikkeli(II)-ionien massa:

$$m(\text{Ni}^{2+}) = n(\text{Ni}^{2+}) \cdot M(\text{Ni}^{2+}) = 0,048456 \text{ mol} \cdot 58,69 \text{ g/mol} = 2,8439 \text{ g} = m(\text{Ni}).$$

Ratkaistaan, kuinka monta promillea nikkeliä malmi sisälsi:

$$\%_{\text{oo}}(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})}{m(\text{malmi})} \cdot 1000 = \frac{2,8439 \text{ g}}{5000 \text{ g}} \cdot 1000 = 0,5688 \text{ ‰} = 0,57 \text{ ‰.}$$

2.16

a)

$$V(\text{vesinäyte}) = 2,0 \text{ l}$$

$$m(\text{AgCl}) = 102 \text{ mg} = 0,102 \text{ g}$$

$$M(\text{AgCl}) = 143,32 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Cl}^-) = 35,45 \text{ g/mol}$$

$$\text{Cl}^- \text{-pitoisuus (mg/l)} = ?$$

Ratkaistaan saostuneen hopeakloridin ainemäärä:

$$n(\text{AgCl}) = \frac{m(\text{AgCl})}{M(\text{AgCl})} = \frac{0,102 \text{ g}}{143,32 \text{ g/mol}} = 7,1169 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Hopeakloridin saostumisreaktion $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ perusteella

$$\frac{n(\text{Cl}^-)}{n(\text{AgCl})} = \frac{1}{1}, \text{ joten } n(\text{Cl}^-) = n(\text{AgCl}) = 7,1169 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Lasketaan kloridi-ionien massa tutkitussa näytteessä:

$$m(\text{Cl}^-) = n(\text{Cl}^-) \cdot M(\text{Cl}) = 7,1169 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 35,45 \text{ g/mol} = 0,025229 \text{ g} = 25,229 \text{ mg.}$$

Pohjavettä oli tutkimuksessa 2,0 litraa, joten kloridi-ionipitoisuus yksikössä mg/l on

$$\frac{25,229 \text{ mg}}{2,0 \text{ l}} = 12,61 \text{ mg/l} \approx 13 \text{ mg/l.}$$

b)

Suuren näytetilavuuden (2,0 litraa) käsittely on hankalaa.

Saostuman suodatus suuresta tilavuudesta vie runsaasti aikaa.

Pohjaveden kloridi-ionipitoisuus on hyvin pieni, joten haihduttamalla suurin osa vedestä pois, saadaan väkevämpi kloridi-ioniliuos.

Saostuminen on täydellisempää, kun liuostilavuus on pienempi, sillä osa hopeakloridisaostumasta voi liueta suureen vesimäärään.

c) Kloridi-ionipitoisuudeksi saataisiin liian suuri arvo, sillä sulfaatti-ionit voisivat myös saostua niukkaliukoisena hopeasulfaattina.

2.17

$$V(\text{jätevesi}) = 15\,500\text{ m}^3 = 15\,500\,000\text{ dm}^3 = 15\,500\,000\text{ l}$$

$$\text{PO}_4^{3-}\text{-pitoisuus} = 22\text{ mg/l}$$

$$M(\text{PO}_4^{3-}) = 94,97\text{ g/mol}$$

$$M(\text{FeSO}_4) = 151,92\text{ g/mol}$$

$$m(\text{FeSO}_4) = ?$$

Lasketaan, mikä on fosfaatti-ionien kokonaismassa puhdistamolle tulevassa jätevedessä:

$$m(\text{PO}_4^{3-}) = 22\text{ mg/l} \cdot 15\,500\,000\text{ l} = 341\,000\,000\text{ mg} = 341\,000\text{ g}.$$

Lasketaan, mikä massa fosfaatti-ioneja pitäisi saostua, jotta niitä poistuisi 95 %:

$$m(\text{PO}_4^{3-})_{\text{saostuva}} = 0,95 \cdot 341\,000\text{ g} = 323\,950\text{ g}.$$

Ratkaistaan saostuvien fosfaatti-ionien ainemäärä:

$$n(\text{PO}_4^{3-})_{\text{saostuva}} = \frac{m(\text{PO}_4^{3-})}{M(\text{PO}_4^{3-})} = \frac{323\,950\text{ g}}{94,97\text{ g/mol}} = 3\,411\text{ mol}.$$

Saostumisreaktion reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{Fe}^{3+})}{n(\text{PO}_4^{3-})} = \frac{1}{1}, \text{ joten } n(\text{Fe}^{3+}) = 3\,411\text{ mol}.$$

Rauta(II)sulfaatin kaavan ja rauta(II)-ionien hapettumisreaktioiden perusteella

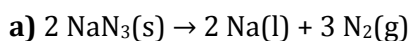
$$n(\text{FeSO}_4) = n(\text{Fe}^{2+}) = n(\text{Fe}^{3+}), \text{ joten tarvittava rauta(II)sulfaatin ainemäärä on } 3\,411\text{ mol}.$$

Ratkaistaan, mikä massa rauta(II)sulfaattia tarvitaan:

$$m(\text{FeSO}_4) = n(\text{FeSO}_4) \cdot M(\text{FeSO}_4) = 3\,411\text{ mol} \cdot 151,92\text{ g/mol} = 518\,200\text{ g} = 518,2\text{ kg} \approx 0,52\text{ t}.$$

2.4 hajoamisreaktiot

2.19



b)

$$V(\text{N}_2) = 40 \text{ l}$$

$$\rho(\text{N}_2) = 1,20 \text{ g/l}$$

$$M(\text{N}_2) = 28,02 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NaN}_3) = 65,02 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NaN}_3) = ?$$

Ratkaistaan muodostuvan typen massa tiheyden suureyhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$, josta $m = \rho \cdot V$.

$$m(\text{N}_2) = \rho(\text{N}_2) \cdot V(\text{N}_2) = 1,20 \text{ g/l} \cdot 40 \text{ l} = 48,00 \text{ g.}$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä typpeä muodostuu:

$$n(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{48,00 \text{ g}}{28,02 \text{ g/mol}} = 1,713 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(\text{NaN}_3)}{n(\text{N}_2)} = \frac{2}{3}, \text{ joten } n(\text{NaN}_3) = \frac{2}{3} \cdot 1,713 \text{ mol} = 1,142 \text{ mol.}$$

Tarvittava natriumatsidin massa on:

$$m(\text{NaN}_3) = n(\text{NaN}_3) \cdot M(\text{NaN}_3) = 1,142 \text{ mol} \cdot 65,02 \text{ g/mol} = 74,25 \approx 74 \text{ g.}$$

2.20

a)

Kalsiitti (kalkkikivi) = CaCO_3

piidioksidi = SiO_2

rauta(III)oksidi = Fe_2O_3

alumiinioksidi = Al_2O_3

poltettu kalkki = CaO

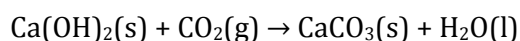
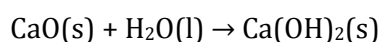
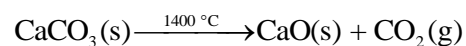
hiilidioksidi = CO_2

vesi = H_2O

sammutettu kalkki = $\text{Ca}(\text{OH})_2$

kalsiumkarbonaatti = CaCO_3

b)



c)

$$m(\text{CaO}) = 100 \text{ kg} = 100\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{CaO}) = 56,08 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = ?$$

Ratkaistaan poltetun kalkin (CaO) ainemäärä:

$$n(\text{CaO}) = \frac{m(\text{CaO})}{M(\text{CaO})} = \frac{100\,000 \text{ g}}{56,08 \text{ g/mol}} = 1\,783,2 \text{ mol.}$$

Kalsiitin hajoamisreaktion reaktioyhtälö on $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$.

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{CaCO}_3)}{n(\text{CaO})} = \frac{1}{1}, \text{ joten } n(\text{CaCO}_3) = 1\,783,2 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kalsiitin massa:

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 1\,783,2 \text{ mol} \cdot 100,09 \text{ g/mol} = 178\,480 \text{ g} \approx 178 \text{ kg.}$$

2.21

a)

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 2,0 \text{ kg} = 2\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180,156 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 46,068 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = ?$$

Käymisreaktion reaktioyhtälö on $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{aq}) + 2 \text{CO}_2(\text{g})$.

Ratkaistaan, mikä massa glukoosia muuttuu etanoliksi:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,85 \cdot 2\,000 \text{ g} = 1\,700 \text{ g}.$$

Ratkaistaan etanoliksi muuttuvan glukoosin ainemäärä:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \frac{1700 \text{ g}}{180,156 \text{ g/mol}} = 9,436 \text{ mol}.$$

Etanolin käymisreaktion reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}{n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 2 \cdot n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 2 \cdot 9,436 \text{ mol} = 18,87 \text{ mol}.$$

Muodostuvan etanolin massa on

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 18,87 \text{ mol} \cdot 46,068 \text{ g/mol} = 869,3 \text{ g} \approx 0,87 \text{ kg}.$$

b)

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 869,3 \text{ g} = 0,8693 \text{ kg}$$

$$\rho(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,79 \text{ kg/dm}^3$$

$$V(\text{vesi}) = 10,0 \text{ l} = 10,0 \text{ dm}^3$$

$$\text{til-\%}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = ?$$

Lasketaan muodostuvan etanolin tilavuus tiheyden suureyhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$, josta $V = \frac{m}{\rho}$.

$$V(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}{\rho(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})} = \frac{0,8693 \text{ kg}}{0,79 \text{ kg/dm}^3} = 1,100 \text{ dm}^3.$$

Koko liuoksen tilavuus on

$$V(\text{liuos}) = V(\text{vesi}) + V(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 10,0 \text{ dm}^3 + 1,100 \text{ dm}^3 = 11,100 \text{ dm}^3.$$

Etanolin osuus tilavuusprosentteina on

$$\text{til-\%}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{V(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}{V(\text{liuos})} \cdot 100 \% = \frac{1,100 \text{ dm}^3}{11,100 \text{ dm}^3} \cdot 100 \% = 9,910 \% \approx 9,9 \%$$

c)

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 9,436 \text{ mol}$$

$$\rho(\text{CO}_2) = 1,9 \text{ kg/m}^3$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{CO}_2) = ?$$

Etanolin käymisreaktion reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{CO}_2) = 2 \cdot n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 2 \cdot 9,436 \text{ mol} = 18,87 \text{ mol}.$$

Muodostuvan hiilidioksidin massa on

$$m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = 18,87 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g/mol} = 830,5 \text{ g}.$$

Ratkaistaan muodostuvan hiilidioksidin tilavuus tiheyden suureyhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$, josta $V = \frac{m}{\rho}$.

$$V(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{\rho(\text{CO}_2)} = \frac{0,8305 \text{ kg}}{1,9 \text{ kg/m}^3} = 0,4371 \text{ m}^3 \approx 0,44 \text{ m}^3.$$

2.22

$$n(\text{kaasut}) = 1,56 \text{ mol}$$

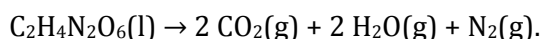
$$M(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) = 152,072 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) = ?$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Dinitroglykolin hajoamisreaktion tasapainotettu reaktioyhtälö on:



Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6)}{n(\text{kaasut})} = \frac{1}{5}, \text{ joten } n(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) = \frac{1}{5} \cdot n(\text{kaasut}) = \frac{1}{5} \cdot 1,56 \text{ mol} = 0,31200 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan dinitroglykolin massa:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) = n(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) = 0,31200 \text{ mol} \cdot 152,072 \text{ g/mol} = 47,445 \text{ g} \approx 47,4 \text{ g}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot n(\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_6) = 2 \cdot 0,31200 \text{ mol} = 0,62400 \text{ mol}$$

tai:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{kaasut})} = \frac{2}{5}, \text{ joten } n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2}{5} \cdot n(\text{kaasut}) = \frac{2}{5} \cdot 1,56 \text{ mol} = 0,62400 \text{ mol}.$$

Lasketaan vesihöyryn massa:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 0,62400 \text{ mol} \cdot 18,016 \text{ g/mol} = 11,242 \text{ g} \approx 11,2 \text{ g}.$$

Harjoittele lisää!

Ylioppilastehtäviä

2.

a)

$$m(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7) = 232,2 \text{ mg} = 0,2322 \text{ g}$$

$$M(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7) = 222,56 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Mg}^{2+}) = 24,31 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Mg}^{2+}) = ?$$

Dimagnesiumdifosfaatin ainemäärä on:

$$n(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7) = \frac{m(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7)}{M(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7)} = \frac{0,2322 \text{ g}}{222,56 \text{ g/mol}} = 0,00104331 \text{ mol.}$$

Yhdessä moolissa dimagnesiumdifosfaattia ($\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$) on sen kaavan perusteella kaksi moolia magnesiumioneja, joten alkuperäisessä liuoksessa on ollut kaksinkertainen määrä magnesiumioneja eli

$$n(\text{Mg}^{2+}) = 2 \cdot n(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7) = 2 \cdot 0,00104331 \text{ mol} = 0,00208662 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan liuoksessa olleen magnesiumin massa suureyhtälöstä $n = \frac{m}{M}$, josta

$$m(\text{Mg}^{2+}) = n(\text{Mg}^{2+}) \cdot M(\text{Mg}^{2+}) = 0,00208662 \text{ mol} \cdot 24,31 \text{ g/mol} = 0,0507257 \text{ g} \approx 50,73 \text{ mg.}$$

b)

$$n(\text{Mg}^{2+}) = 0,00208662 \text{ mol}$$

$$V(\text{liuos}) = 100,0 \text{ ml} = 0,1000 \text{ l}$$

Liuoksen magnesiumionikonsentraatio on

$$c(\text{Mg}^{2+}) = \frac{n(\text{Mg}^{2+})}{V(\text{liuos})} = \frac{0,00208662 \text{ mol}}{0,1000 \text{ l}} = 0,0208662 \text{ mol/l} \approx 0,02087 \text{ mol/l.}$$

Jakso 3 – Rajoittava tekijä ja kaasulaskut

3.1 täydellinen ja epätäydellinen palaminen – rajoittava tekijä

3.2

a)

$$n(\text{SO}_2) = 3,0 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = 2,0 \text{ mol}$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan $\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}$ eli reaktiossa kuluvan rikkidioksidin

ainemäärä on $2 \cdot n(\text{O}_2)$. Koska reaktiossa on happea 2,0 moolia, reagoivan rikkidioksidin ainemäärä olisi $2 \cdot 2,0 \text{ mol} = 4,0 \text{ mol}$. Rikkidioksidia on kuitenkin vain 3,0 mol, joten se on reaktion rajoittava tekijä.

b)

$$n(\text{SO}_2) = 3,0 \text{ mol (rajoittava tekijä)}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{aluksi}} = 2,0 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{ylimäärin}} = ?$$

Koska rikkidioksidi on reaktion rajoittava tekijä, lasketaan kuluvan hapen ainemäärä sen perusteella:

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{SO}_2)} = \frac{1}{2}, \text{ josta } n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{SO}_2) = \frac{1}{2} \cdot 3,0 \text{ mol} = 1,5 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan, kuinka paljon happea on ylimäärin:

$$n(\text{O}_2)_{\text{ylimäärin}} = 2,0 \text{ mol} - 1,5 \text{ mol} = 0,5 \text{ mol.}$$

c)

$$n(\text{SO}_2) = 3,0 \text{ mol (rajoittava tekijä)}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan $\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{SO}_2)} = \frac{2}{2} \Rightarrow n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{SO}_2) = 3,0 \text{ mol.}$

3.3

$$m(\text{O}_2) = 10,0 \text{ g}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2) = 20,0 \text{ g}$$

$$M(\text{H}_2) = 2,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö on $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Ratkaistaan kummankin lähtöaineen ainemäärä:

$$n(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = \frac{10,0 \text{ g}}{32,00 \text{ g/mol}} = 0,31250 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{20,0 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol}} = 9,9206 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien mukaan

$$\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{O}_2)} = \frac{2}{1} \text{ eli } n(\text{H}_2) = 2 \cdot n(\text{O}_2).$$

Jotta 0,31250 moolia happikaasua reagoisi täydellisesti, tarvittava vedyn ainemäärä on

$$n(\text{H}_2) = 2 \cdot n(\text{O}_2) = 2 \cdot 0,31250 \text{ mol} = 0,62500 \text{ mol.}$$

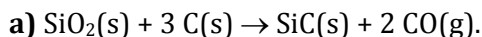
Koska vetyä on käytettävissä 9,9206 mol, on sitä ylimäärin, joten happi loppuu reaktiossa ensin. Happi on siten reaktion rajoittava tekijä. Hapen ainemäärä siis määrää muodostuvan veden ainemäärän. Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot n(\text{O}_2) = 2 \cdot 0,31250 \text{ mol} = 0,62500 \text{ mol.}$$

Lasketaan syntyvän veden massa:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 0,62500 \text{ mol} \cdot 18,016 \text{ g/mol} = 11,260 \text{ g} \approx 11,3 \text{ g.}$$

3.4



b)

$$m(\text{SiO}_2) = 3,00 \text{ g}$$

$$M(\text{SiO}_2) = 60,09 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{C}) = 4,50 \text{ g}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{SiC}) = 40,10 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{SiC}) = ?$$

Lasketaan piidioksidin ja hiilen ainemäärä:

$$n(\text{SiO}_2) = \frac{m(\text{SiO}_2)}{M(\text{SiO}_2)} = \frac{3,00 \text{ g}}{60,09 \text{ g/mol}} = 0,049925 \text{ mol}$$

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{4,50 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 0,37469 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella $\frac{n(\text{C})}{n(\text{SiO}_2)} = \frac{3}{1}$, joten piidioksidin kanssa reagoivan hiilen

ainemäärä on $n(\text{C}) = 3 \cdot n(\text{SiO}_2) = 3 \cdot 0,049925 \text{ mol} = 0,14978 \text{ mol}$.

Koska hiiltä on käytettävissä 0,37469 mol, on sitä ylimäärin. Reaktion rajoittava tekijä on siten piidioksidi. Ratkaistaan piikarbidin ainemäärä piidioksidin ainemäärän perusteella.

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan $n(\text{SiC}) = n(\text{SiO}_2) = 0,049925 \text{ mol}$.

Ratkaistaan piikarbidin massa:

$$m(\text{SiC}) = n(\text{SiC}) \cdot M(\text{SiC}) = 0,049925 \text{ mol} \cdot 40,10 \text{ g/mol} = 2,0020 \text{ g} \approx 2,00 \text{ g.}$$

c)

$$n(\text{SiO}_2) = 0,049925 \text{ mol (rajoittava tekijä)}$$

$$n(\text{C})_{\text{aluksi}} = 0,37469 \text{ mol}$$

$$m(\text{C})_{\text{ylimäärin}} = ?$$

Lasketaan, mikä ainemäärä hiiltä jää reagoimatta:

$$n(\text{C})_{\text{ylimäärin}} = n(\text{C}) - 3 \cdot n(\text{SiO}_2) = 0,37469 \text{ mol} - 3 \cdot 0,049925 \text{ mol} = 0,22491 \text{ mol.}$$

Reagoimatta jääneen hiilen massa on:

$$m(\text{C}) = n(\text{C})_{\text{ylimäärin}} \cdot M(\text{C}) = 0,22491 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 2,7012 \text{ g} \approx 2,70 \text{ g.}$$

3.5

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) = 1,93 \text{ g}$$

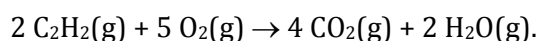
$$M(\text{C}_2\text{H}_2) = 26,036 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{O}_2) = 3,45 \text{ g}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{O}_2) = ?$$

Täydellisen palamisreaktion tasapainotettu reaktioyhtälö on



Ratkaistaan lähtöaineiden ainemäärät:

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_2)}{M(\text{C}_2\text{H}_2)} = \frac{1,93 \text{ g}}{26,036 \text{ g/mol}} = 0,074128 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = \frac{3,45 \text{ g}}{32,00 \text{ g/mol}} = 0,10781 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella lähtöaineiden ainemäärien suhde on:

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{C}_2\text{H}_2)} = \frac{5}{2}.$$

Tämän suhteen perusteella hapen ainemäärän tulisi olla

$$\frac{5}{2} \cdot n(\text{C}_2\text{H}_2) \text{ eli } \frac{5}{2} \cdot 0,074128 \text{ mol} = 0,18532 \text{ mol.}$$

Happea on käytettävissä vain 0,10781 moolia, joten se on reaktion rajoittava tekijä. Palaminen ei siten ole täydellistä.

Ratkaistaan täydelliseen palamiseen tarvittava hapen massa täydelliseen palamiseen tarvittavan hapen ainemäärän avulla:

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 0,18532 \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g/mol} = 5,9302 \text{ g} \approx 5,93 \text{ g}$$

3.6

$$V(\text{AgNO}_3(\text{aq})) = 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{AgNO}_3(\text{aq})) = 0,010 \text{ mol/dm}^3$$

$$m(\text{Zn}) = 20 \text{ mg} = 0,020 \text{ g}$$

$$M(\text{Zn}) = 65,38 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Ag}) = 107,87 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Ag}) = ?$$

Ratkaistaan lähtöaineiden ainemäärät:

$$n(\text{AgNO}_3) = c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) = 0,010 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,025 \text{ dm}^3 = 2,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = \frac{0,020 \text{ g}}{65,38 \text{ g/mol}} = 3,059 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan lähtöaineiden ainemäärien suhde on

$$\frac{n(\text{AgNO}_3)}{n(\text{Zn})} = \frac{2}{1}.$$

Tarvittava hopeanitraatin ainemäärä olisi tämän suhteen perusteella:

$$n(\text{AgNO}_3) = 2 \cdot n(\text{Zn}) = 2 \cdot 3,059 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Koska hopeanitraattia on käytössä vain $2,500 \cdot 10^{-4}$ mol, on hopeanitraatti reaktion rajoittava tekijä.

Muodostuvan hopean ainemäärä ratkaistaan hopeanitraatin ainemäärän perusteella.

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Ag})}{n(\text{AgNO}_3)} = \frac{2}{2} \Rightarrow n(\text{Ag}) = n(\text{AgNO}_3) = 2,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Reaktiossa muodostuvan hopean massa on:

$$m(\text{Ag}) = n(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) = 2,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 107,87 \text{ g/mol} = 0,02697 \text{ g} \approx 0,027 = 27 \text{ mg.}$$

3.2 kaasulaskut

3.9

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = 5,0 \text{ kg} = 5\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44,094 \text{ g/mol}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$V(\text{O}_2) = ?$$

$$V(\text{CO}_2) = ?$$

Propanin palamisreaktion tasapainotettu reaktioyhtälö on $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$.

Ratkaistaan propanin ainemäärä:

$$n(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8)}{M(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{5000 \text{ g}}{44,094 \text{ g/mol}} = 113,4 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{5}{1}, \text{ joten } n(\text{O}_2) = 5 \cdot n(\text{C}_3\text{H}_8) = 5 \cdot 113,4 \text{ mol} = 567,0 \text{ mol.}$$

Kuluneen hapen tilavuus NTP-oloissa on:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m = 567,0 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 12\,710 \text{ dm}^3 \approx 13\,000 \text{ dm}^3 = 13 \cdot 10^3 \text{ l.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{3}{1} \text{ joten } n(\text{CO}_2) = 3 \cdot n(\text{C}_3\text{H}_8) = 3 \cdot 113,4 \text{ mol} = 340,2 \text{ mol.}$$

Vapautuvan hiilidioksidin tilavuus NTP-oloissa on:

$$V(\text{CO}_2) = 340,2 \text{ mol} \cdot 22,41 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} = 7\,624 \text{ dm}^3 \approx 7\,600 \text{ dm}^3 = 7,6 \cdot 10^3 \text{ l.}$$

3.10

$$m(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 30 \text{ kg} = 30 \cdot 10^3 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 60,062 \text{ g/mol}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$V(\text{NH}_3) = ?$$

Ratkaistaan urean ainemäärä:

$$n(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{m(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)}{M(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)} = \frac{30 \cdot 10^3 \text{ g}}{60,062 \text{ g/mol}} = 499,5 \text{ mol.}$$

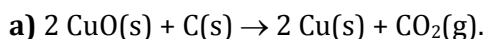
Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{NH}_3) = 2 \cdot n(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 2 \cdot 499,5 \text{ mol} = 999,0 \text{ mol.}$$

Ammoniakin tilavuus NTP-oloissa on:

$$V(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot V_m = 999,0 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 22\,390 \text{ dm}^3 \approx 22\,000 \text{ dm}^3 = 22 \text{ m}^3.$$

3.11



b)

$$m(\text{CuO}) = 79,5 \text{ kg} = 79\,500 \text{ g}$$

$$m(\text{C}) = 100 \text{ kg} = 100\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{CuO}) = 79,55 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Cu}) = ?$$

Selvitetään, kumpi lähtöaineista on reaktion rajoittava tekijä.

Kupari(II)oksidin ainemäärä on:

$$n(\text{CuO}) = \frac{m(\text{CuO})}{M(\text{CuO})} = \frac{79\,500 \text{ g}}{79,55 \text{ g/mol}} = 999,37 \text{ mol.}$$

Hiilen ainemäärä on:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{100\,000 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 8326,4 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{CuO})} = \frac{1}{2}, \text{ joten tarvittava hiilen ainemäärä } n(\text{C}) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{CuO}) = \frac{1}{2} \cdot 999,37 \text{ mol} = 499,69 \text{ mol.}$$

Koska hiiltä on käytettävissä 8 326,4 moolia, on sitä ylimäärin. Reaktion rajoittava tekijä on siten kupari(II)oksidi.

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella muodostuvan kuparin ainemäärä on:

$$\frac{n(\text{Cu})}{n(\text{CuO})} = \frac{2}{2}, \text{ joten } n(\text{Cu}) = n(\text{CuO}) = 999,37 \text{ mol.}$$

Reaktiossa syntyvän kuparin massa:

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 999,37 \text{ mol} \cdot 63,55 \text{ g/mol} = 63510 \text{ g} \approx 63,5 \text{ kg.}$$

c)

$$n(\text{CuO}) = 999,37 \text{ mol (rajoittava tekijä)}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$V(\text{CO}_2) = ?$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{CuO})} = \frac{1}{2}, \text{ joten } n(\text{CO}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{CuO}) = \frac{1}{2} \cdot 999,37 \text{ mol} = 499,69 \text{ mol.}$$

Hiilidioksidin tilavuus NTP-oloissa on:

$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = 499,69 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 11198 \text{ dm}^3 \approx 11\,200 \text{ dm}^3 = 11,2 \text{ m}^3.$$

3.12

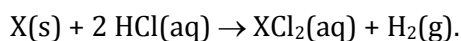
$$m(\text{X}) = 1,00 \text{ g}$$

$$V(\text{H}_2) = 0,934 \text{ l} = 0,934 \text{ dm}^3$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$X = ?$$

Metallin X ja suolahapon välisen reaktion tasapainotettu reaktioyhtälö on:



Ratkaistaan syntyneen vetykaasun ainemäärä NTP-oloissa:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{0,934 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 0,041678 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{X})}{n(\text{H}_2)} = \frac{1}{1} \Rightarrow n(\text{X}) = n(\text{H}_2) = 0,041678 \text{ mol.}$$

Metallin moolimassa saadaan ratkaistua suureyhtälöstä

$$n = \frac{m}{M}, \text{ josta } M(X) = \frac{m(X)}{n(X)} = \frac{1,00 \text{ g}}{0,041678 \text{ mol}} = 23,993 \text{ g/mol.}$$

Kaavasta XCl_2 voidaan päätellä, että kysytty metalli muodostaa ionin X^{2+} , joten se voisi olla jokin toisen pääryhmän metalleista. Taulukkokirjan mukaan $M(Mg) = 24,31 \text{ g/mol}$, joten se on lähimpänä ratkaistua moolimassaa. Metallia oli siis magnesiumia.

3.13

a) Tasapainotettu reaktioyhtälö on $2 \text{NaN}_3(s) \rightarrow 2 \text{Na}(l) + 3 \text{N}_2(g)$.

b)

$$m(\text{NaN}_3) = 120 \text{ g}$$

$$M(\text{NaN}_3) = 65,02 \text{ g/mol}$$

$$p = 120 \text{ kPa} = 120 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$T = (40 + 273,15) \text{ K} = 313,15 \text{ K}$$

$$R = 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$V(\text{N}_2) = ?$$

Lasketaan natriumatsidin ainemäärä:

$$n(\text{NaN}_3) = \frac{m(\text{NaN}_3)}{M(\text{NaN}_3)} = \frac{120 \text{ g}}{65,02 \text{ g/mol}} = 1,8456 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella:

$$\frac{n(\text{N}_2)}{n(\text{NaN}_3)} = \frac{3}{2} \Rightarrow n(\text{N}_2) = \frac{3}{2} \cdot n(\text{NaN}_3) = \frac{3}{2} \cdot 1,8456 \text{ mol} = 2,7684 \text{ mol.}$$

Lasketaan typpikaasun tilavuus annetuissa olosuhteissa ideaalikaasun tilanyhtälöstä:

$$pV = nRT, \text{ josta } V = \frac{nRT}{p}$$

$$V(\text{N}_2) = \frac{2,7684 \text{ mol} \cdot 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 313,15 \text{ K}}{120 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = 0,060067 \text{ m}^3 \approx 60,1 \text{ dm}^3.$$

c) Typpikaasun tilavuus olisi suurempi, sillä normaali paine on pienempi (noin 101 kPa) kuin 120 kPa. Kun paine pienenee, kaasun tilavuus kasvaa vakio­lämpötilassa.

3.14

$$m(\text{Fe}) = 0,900 \text{ g}$$

$$M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{HCl}) = 75 \text{ ml} = 0,075 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3$$

$$T = (15 + 273,15) \text{ K} = 288,15 \text{ K}$$

$$p = 0,96 \text{ bar}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö on $\text{Fe}(\text{s}) + 2 \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{FeCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$.

Selvitetään, kumpi lähtöaineista on reaktion rajoittava tekijä.

Raudan ainemäärä on:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{0,900 \text{ g}}{55,85 \text{ g/mol}} = 0,016115 \text{ mol.}$$

Suolahapon ainemäärä on:

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,075 \text{ dm}^3 = 0,03750 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan lähtöaineiden ainemäärien suhde on:

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{HCl})} = \frac{1}{2}.$$

Tarvittava raudan ainemäärä on siten $n(\text{Fe}) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 0,0375 \text{ mol} = 0,0188 \text{ mol}$.

Rautaa on käytettävissä vain 0,016115 mol, joten se on reaktion rajoittava tekijä. Muodostuvan vetykaasun ainemäärä lasketaan siis raudan ainemäärän perusteella:

$$\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{Fe})} = \frac{1}{1}, \text{ joten } n(\text{H}_2) = n(\text{Fe}) = 0,016115 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan vetykaasun tilavuus ideaalikaasun tilanyhtälöstä:

$$V(\text{H}_2) = \frac{nRT}{p} = \frac{0,016115 \text{ mol} \cdot 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 288,15 \text{ K}}{0,96 \text{ bar}} = 0,4022 \text{ dm}^3 \approx 0,40 \text{ dm}^3.$$

3.15

$$V(\text{kaasu}) = 1,00 \text{ dm}^3$$

$$m(\text{kaasu}) = 1,477 \text{ g}$$

$$p = 1,00 \text{ bar}$$

$$T = (70,0 + 273,15) \text{ K} = 343,15 \text{ K}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Tyydyttymätön hiilivety = ?

Ratkaistaan kaasun ainemäärä ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$:

$$n(\text{kaasu}) = \frac{pV}{RT} = \frac{1,00 \text{ bar} \cdot 1,00 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 343,15 \text{ K}} = 0,035049 \text{ mol}.$$

Kaasun moolimassa saadaan ratkaistua seuraavasti:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow M(\text{kaasu}) = \frac{m(\text{kaasu})}{n(\text{kaasu})} = \frac{1,477 \text{ g}}{0,035049 \text{ mol}} = 42,141 \text{ g/mol} \approx 42,1 \text{ g/mol}.$$

Koska kyseessä on tyydyttymätön hiilivety, joiden yleinen kaava on C_nH_{2n} , voidaan n:n arvo laskea lausekkeesta $n \cdot 12,01 \text{ g/mol} + 2n \cdot 1,008 \text{ g/mol} = 42,1 \text{ g/mol}$, josta ratkaisuna $n = 3$. Hiilivedyn kaava on siten C_3H_6 eli astiassa on propeenia.

3.16

$$V(\text{CO}_2) = 500 \text{ cm}^3 = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$T = (175 + 273,15) \text{ K} = 448,15 \text{ K}$$

$$p = 1,01325 \text{ bar}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$m\text{-}\%(\text{NaHCO}_3) = 96,0 \%$$

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84,008 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{leivinjauhe}) = ?$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä hiilidioksidia tulee muodostua.

Ideaalikaasun tilanyhtälö on $pV = nRT$, josta

$$n(\text{CO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{1,01325 \text{ bar} \cdot 0,500 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 448,15 \text{ K}} = 0,013596 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan:

$$n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0,013596 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan, mikä massa natriumvetykarbonaattia on hajonnut:

$$m(\text{NaHCO}_3) = n(\text{NaHCO}_3) \cdot M(\text{NaHCO}_3) = 0,013596 \text{ mol} \cdot 84,008 \text{ g/mol} = 1,1422 \text{ g.}$$

Lasketaan tarvittava leivinjauheen massa lausekkeesta:

$$96,0 \% = \frac{1,1422 \text{ g}}{x \text{ g}} \cdot 100 \% , \text{ josta } x = 1,1898 \text{ g} \approx 1,19 \text{ g.}$$

3.17

$$V(\text{H}_2) = 31,0 \text{ ml} = 0,0310 \text{ dm}^3$$

$$T = (35,0 + 273,15) \text{ K} = 308,15 \text{ K}$$

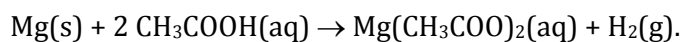
$$p = 1,01325 \text{ bar}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$M(\text{Mg}) = 24,31 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Mg}) = ?$$

Magnesiumin ja etikkahapon välisen reaktion reaktioyhtälö on:



Ratkaistaan muodostuneen vetykaasun ainemäärä ideaalikaasun tilanyhtälöstä:

$$n(\text{H}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{1,01325 \text{ bar} \cdot 0,0310 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 308,15 \text{ K}} = 1,2260 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella $n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2) = 1,2260 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

Magnesiumin massa on:

$$m(\text{Mg}) = n(\text{Mg}) \cdot M(\text{Mg}) = 1,2260 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 24,31 \text{ g/mol} = 0,029804 \text{ g} \approx 0,0298 \text{ g} = 29,8 \text{ mg}.$$

Harjoittele lisää!

Ylioppilastehtäviä

1.

a)

$$m(\text{nitroglyseriini}) = 2,0 \text{ g}$$

$$M(\text{nitroglyseriini}) = 227,10 \text{ g/mol}$$

$$T = (120 + 273,15) \text{ K} = 393,15 \text{ K}$$

$$p = 101 \text{ kPa} = 101\,000 \text{ Pa}$$

$$R = 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$V(\text{reaktiotuotteet}) = ?$$

Ratkaistaan nitroglyseriinin ainemäärä:

$$n(\text{nitroglyseriini}) = \frac{m}{M} = \frac{2,0 \text{ g}}{227,10 \text{ g/mol}} = 8,807 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{reaktiotuotteet})}{n(\text{nitroglyseriini})} = \frac{29}{4}, \text{ josta } n(\text{reaktiotuotteet}) = \frac{29}{4} \cdot n(\text{nitroglyseriini})$$
$$= \frac{29}{4} \cdot 8,807 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,06385 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kaasumaisten reaktiotuotteiden tilavuus ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$,

josta

$$V(\text{reaktiotuotteet}) = \frac{nRT}{p} = \frac{0,06385 \text{ mol} \cdot 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 393,15 \text{ K}}{101\,000 \text{ Pa}}$$
$$= 2,066 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 2,1 \text{ dm}^3.$$

2.

a) Magnetiitti koostuu raudan oksideista FeO ja Fe₂O₃. FeO:ssa raudan hapetusluku on +II ja Fe₂O₃:ssa raudan hapetusluku on +III.

b)

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 300,0 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2) = 10,0 \text{ g}$$

$$M(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 231,55 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}_2) = 2,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

$$\text{saanto-\%}(\text{Fe}) = ?$$

Selvitetään, kumpi lähtöaineista on reaktio rajoittava tekijä:

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{m(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{M(\text{Fe}_3\text{O}_4)} = \frac{300,0 \text{ g}}{231,55 \text{ g/mol}} = 1,29562 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{10,0 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol}} = 4,9603 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan:

$$\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{Fe}_3\text{O}_4)} = \frac{4}{1}$$

Jotta kaikki magnetiitti pelkistyisi raudaksi, tarvittavan vedyn ainemäärä on:

$$n(\text{H}_2) = 4 \cdot n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 4 \cdot 1,29562 \text{ mol} = 5,1825 \text{ mol.}$$

Vetyä on kuitenkin vain 4,9603 moolia, joten se on reaktion rajoittava tekijä.

Ratkaistaan muodostuvan raudan ainemäärä vedyn ainemäärän perusteella.

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{H}_2)} = \frac{3}{4}, \text{ josta } n(\text{Fe}) = \frac{3}{4} \cdot n(\text{H}_2) = \frac{3}{4} \cdot 4,9603 \text{ mol} = 3,7202 \text{ mol.}$$

Rautaa voi muodostua enintään (teoreettinen saanto):

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 3,7202 \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g/mol} = 207,77 \text{ g}.$$

Raudan prosentuaalinen saanto on:

$$\text{saanto-\%}(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})_{\text{saatu määrä}}}{m(\text{Fe})_{\text{teoreettinen saanto}}} \cdot 100 \% = \frac{195,0 \text{ g}}{207,77 \text{ g}} \cdot 100 \% = 93,854 \% \approx 93,9 \%$$

3.

a)

$$m(\text{CaO}) = 112 \text{ g}$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 224 \text{ g}$$

$$M(\text{CaO}) = 56,08 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,492 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NH}_3) = 17,034 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NH}_3) = ?$$

Selvitetään reaktion rajoittava tekijä:

$$n(\text{CaO}) = \frac{m(\text{CaO})}{M(\text{CaO})} = \frac{112 \text{ g}}{56,08 \text{ g/mol}} = 1,9971 \text{ mol}$$

$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{m(\text{NH}_4\text{Cl})}{M(\text{NH}_4\text{Cl})} = \frac{224 \text{ g}}{53,492 \text{ g/mol}} = 4,1875 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{NH}_4\text{Cl})}{n(\text{CaO})} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{NH}_4\text{Cl}) = 2 \cdot n(\text{CaO}). \text{ Jotta kaikki kalsiumoksidi reagoisi,}$$

$$\text{ammoniumkloridia tarvittaisiin } 2 \cdot 1,9971 \text{ mol} = 3,9942 \text{ mol}.$$

Koska ammoniumkloridia on käytössä 4,1875 mol, on sitä ylimäärin eli kalsiumoksidi on reaktion rajoittava tekijä.

Muodostuvan ammoniakkin ainemäärä lasketaan siis kalsiumoksidin ainemäärän perusteella.

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{CaO})} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{NH}_3) = 2 \cdot n(\text{CaO}) = 2 \cdot 1,9971 \text{ mol} = 3,9942 \text{ mol}.$$

Muodostuvan ammoniakkin massa on:

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 3,9942 \text{ mol} \cdot 17,034 \text{ g/mol} = 68,037 \text{ g} \approx 68,0 \text{ g}.$$

b)

Reaktioseoksessa olevat kiinteät aineet ovat reaktiossa muodostunut CaCl_2 ja ylimäärä NH_4Cl :a.

$$n(\text{CaO}) = 1,9971 \text{ mol (rajoittava tekijä)}$$

$$M(\text{CaCl}_2) = 110,98 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,492 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan, kuinka paljon kumpaakin kiinteää ainetta on.

Ammoniumkloridia on ylimäärin:

$$n(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{reagoinut}} = 2 \cdot n(\text{CaO}) = 2 \cdot 1,9971 \text{ mol} = 3,9942 \text{ mol}$$

$$n(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{ylimäärä}} = n(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{alussa}} - n(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{reagoinut}} = 4,1875 \text{ mol} - 3,9942 \text{ mol} = 0,1933 \text{ mol}.$$

Astiaan jäävän kiinteän ammoniumkloridin massa on siten:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{ylimäärä}} = n(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{ylimäärä}} \cdot M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,1933 \text{ mol} \cdot 53,492 \text{ g/mol} = 10,34 \text{ g}.$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan muodostuneen kalsiumkloridin ainemäärä on:

$$n(\text{CaCl}_2) = n(\text{CaO}) = 1,9971 \text{ mol}.$$

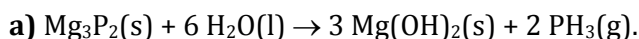
Kalsiumkloridin massa on:

$$m(\text{CaCl}_2) = n(\text{CaCl}_2) \cdot M(\text{CaCl}_2) = 1,9971 \text{ mol} \cdot 110,98 \text{ g/mol} = 221,64 \text{ g}.$$

Astiaan jääneen kiinteän aineen kokonaismassa on:

$$m = m(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{ylimäärä}} + m(\text{CaCl}_2) = 10,34 \text{ g} + 221,64 \text{ g} = 231,98 \text{ g} \approx 232 \text{ g}$$

4.



b)

$$m\text{-}\%(\text{Mg}_3\text{P}_2) = 66 \% = 0,66$$

$$M(\text{Mg}_3\text{P}_2) = 134,87 \text{ g/mol}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 22,41 \text{ l/mol}$$

$$V(\text{PH}_3) = ?$$

Ratkaistaan hajoavan magnesiumfosfidin massa tablettien sisältämän magnesiumfosfidin pitoisuuden avulla: $m(\text{Mg}_3\text{P}_2) = 0,66 \cdot 5 \cdot 3,0 \text{ g} = 9,9 \text{ g}$.

Hajoavan magnesiumfosfidin ainemäärä on:

$$n(\text{Mg}_3\text{P}_2) = \frac{m(\text{Mg}_3\text{P}_2)}{M(\text{Mg}_3\text{P}_2)} = \frac{9,9 \text{ g}}{134,87 \text{ g/mol}} = 0,07340 \text{ mol}.$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella:

$$\frac{n(\text{PH}_3)}{n(\text{Mg}_3\text{P}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{PH}_3) = 2 \cdot n(\text{Mg}_3\text{P}_2) = 2 \cdot 0,07340 \text{ mol} = 0,1468 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan fosfiinin tilavuus ideaalikaasun moolitilavuuden avulla.

Suureyhtälöstä $n = \frac{V}{V_m}$ saadaan:

$$V(\text{PH}_3) = n(\text{PH}_3) \cdot V_m = 0,1486 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ l/mol} = 3,290 \text{ l} \approx 3,3 \text{ l}.$$

c) Varoitusmerkkien selitykset ovat seuraavat:



Helposti syttyvä aine

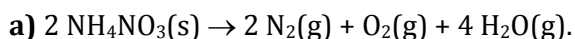


Ympäristölle vaarallinen aine



Akuutisti myrkyllinen aine

5.



b)

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 2\,300 \text{ t} = 2,3 \cdot 10^9 \text{ g}$$

$$M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80,052 \text{ g/mol}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$V(\text{kaasut}) = ?$$

Räjähätäneen ammoniumnitraatin ainemäärä on:

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{m(\text{NH}_4\text{NO}_3)}{M(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{2,3 \cdot 10^9 \text{ g}}{80,052 \text{ g/mol}} = 2,873 \cdot 10^7 \text{ mol.}$$

Kaasumaisia reaktiotuotteita muodostuu reaktioyhtälön kertoimien mukaan yhteensä

$$2 \text{ mol} + 1 \text{ mol} + 4 \text{ mol} = 7 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{kaasut})}{n(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{7}{2}, \text{ josta } n(\text{kaasut}) = \frac{7}{2} \cdot n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{7}{2} \cdot 2,873 \cdot 10^7 \text{ mol} = 1,006 \cdot 10^8 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kaasujen tilavuus ideaalikaasun moolitilavuuden avulla suureyhtälöstä $n = \frac{V}{V_m}$:

$$\begin{aligned} V(\text{kaasut}) &= n(\text{kaasut}) \cdot V_m = 1,006 \cdot 10^8 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} \\ &= 2,254 \cdot 10^9 \text{ dm}^3 \approx 2,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

c)

Ammoniumnitraatin hajoamisreaktio on hyvin nopea ja voimakkaasti eksoterminen eli reaktiossa vapautuu runsaasti lämpöenergiaa. Kaasumaiset reaktiotuotteet laajenevat nopeasti, joka saa aikaan paineaallon, joka puolestaan synnyttää räjähdyksen.

Jakso 4 – Orgaanisten yhdisteiden reaktioita

4.1 Happiyhdisteiden hapettuminen ja pelkistyminen

4.6

$$m\text{-}\%(\text{C}) = 68,4 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{H}) = 11,4 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{O}) = 20,2 \%$$

Ratkaistaan ensin yhdisteen X suhde- eli empiirinen kaava olettaen, että yhdistettä on 100 grammaa. Tämä massa sisältää massaprosenttisen koostumuksen perusteella eri alkuaineita seuraavasti:

$$m(\text{C}) = 68,4 \text{ g}$$

$$m(\text{H}) = 11,4 \text{ g}$$

$$m(\text{O}) = 20,2 \text{ g}$$

Ratkaistaan alkuaineatomien ainemäärä:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{68,4 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 5,6953 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{11,4 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 11,310 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{20,2 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 1,2625 \text{ mol.}$$

Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä (hapen) ainemäärällä, jolloin ainemäärien suhteeksi saadaan

$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 4,50 : 8,96 : 1$. Tästä saadaan pienimpien kokonaislukujen suhteeksi 9:18:2 kertomalla kukin luku kahdella. Yhdisteen X suhdekaava on siten $(\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2)_x$.

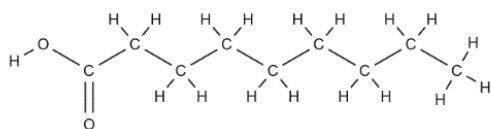
Lasketaan x:n arvo lausekkeesta

$$x \cdot (9 \cdot 12,01 + 18 \cdot 1,008 + 2 \cdot 16,00) = 158, \text{ josta } 158,23 x = 158 \Rightarrow x = 1.$$

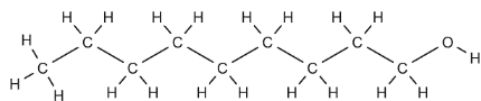
Yhdisteen X molekyylikaava on siten $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$.

Koska yhdisteessä on kaksi happiatomia, kyseessä voi olla karboksyylihapo tai esteri. Tiedetään, että yhdiste pelkistyy, jolloin syntyy yhdistettä Y, jossa IR-tutkimuksen mukaan on alkoholeille tyypillinen hydroksyyliiryhmä. Eli pelkistymisreaktiossa on muodostunut alkoholia. X:n tulee siten olla karboksyylihapo, joka pelkistyy primääriseksi alkoholiksi.

Yhdisteen X rakennekaava on



Yhdisteen Y rakennekaava on



4.2 Substituutioreaktio

4.11

$$M(X) = 78 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(C) = 92,3 \%$$

$$m\text{-}\%(H) = 100,0 \% - 92,3 \% = 7,7 \%$$

Ratkaistaan yhdisteen X suhdekaava valitsemalla yhdisteen massaksi 100 g.

Hiili- ja vetyatomien ainemäärät ovat:

$$n(C) = \frac{m(C)}{M(C)} = \frac{92,3 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 7,6853 \text{ mol}$$

$$n(H) = \frac{m(H)}{M(H)} = \frac{7,7 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 7,6389 \text{ mol.}$$

Ainemäärien suhteeksi saadaan: $n(C) : n(H) = 7,6853 \text{ mol} : 7,6389 \text{ mol}$, josta pienin kokonaislukusuhte on $n(C) : n(H) \approx 1:1$. Hiilivedyn suhdekaava on siis $(CH)_x$.

Lasketaan x:n arvo lausekkeesta

$$x \cdot (12,01 + 1,008) \text{ g/mol} = 78 \text{ g/mol, josta } x = 5,9917 \approx 6.$$

Yhdisteen X molekyylikaava on C_6H_6 eli kyseessä on bentseeni.

Ratkaistaan yhdisteen Y suhdekaava:

$$m\text{-}\%(C) = 58,5 \%$$

$$m\text{-}\%(H) = 4,1 \%$$

$$m\text{-}\%(N) = 11,4 \%$$

$$m\text{-}\%(O) = 100,0 \% - (58,5 + 4,1 + 11,4) \% = 26,0 \%$$

Valitaan yhdisteen massaksi 100 g. Eri alkuaineatomien ainemäärät ovat:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{58,5 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 4,8709 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{4,1 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 4,0675 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{M(\text{N})} = \frac{11,4 \text{ g}}{14,01 \text{ g/mol}} = 0,81370 \text{ mol}$$

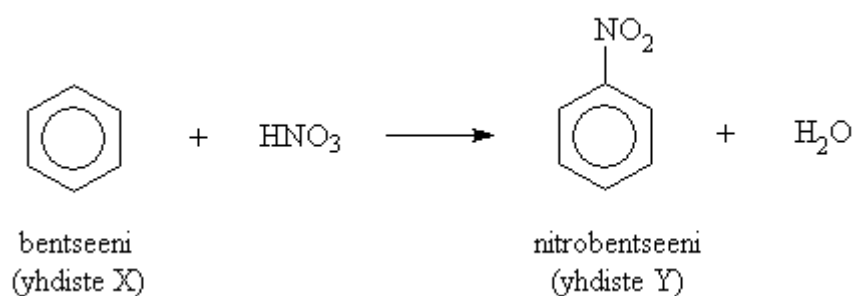
$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{26,0 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 1,6250 \text{ mol.}$$

Ainemäärien suhde on $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{N}) : n(\text{O}) = 4,8709 \text{ mol} : 4,0675 \text{ mol} : 0,81370 \text{ mol} : 1,6250 \text{ mol}$. Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä ainemäärällä eli typen ainemäärällä, jolloin ainemäärien suhteeksi saadaan

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{N}) : n(\text{O}) = 5,9861 \text{ mol} : 4,9988 \text{ mol} : 1,000 \text{ mol} : 1,9971 \text{ mol.}$$

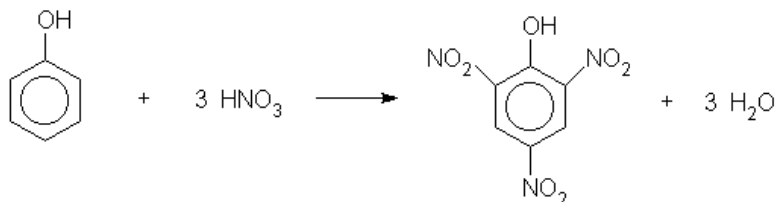
Pienimpien kokonaislukujen suhteeksi saadaan $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{N}) : n(\text{O}) \approx 6 : 5 : 1 : 2$.

Reaktiotuotteen suhdekaava on $(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2)_x$. Suhdekaavasta voidaan päätellä, että vain yksi bentseenin vetyatomeista korvautuu tyypeä sisältävällä ryhmällä. Typeä sisältävässä ryhmässä tulee olla kaksi happiatomia eli kyseessä on nitror ryhmä $-\text{NO}_2$. Reaktiotuote on nitrobentseeniä. Reaktioyhtälö on:



4.12

a)



b) 2,4,6-trinitrofenoli

c)

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 10,0 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 94,108 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 10,0 \text{ g}$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63,018 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{pikriinihappo}) = 229,114 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{pikriinihappo}) = ?$$

Selvitetään reaktion rajoittava tekijä. Fenolin ainemäärä on:

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})} = \frac{10,0 \text{ g}}{94,108 \text{ g/mol}} = 0,10626 \text{ mol.}$$

Typpihapon ainemäärä on:

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)} = \frac{10,0 \text{ g}}{63,018 \text{ g/mol}} = 0,15868 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien perusteella:

$$\frac{n(\text{HNO}_3)}{n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})} = \frac{3}{1} \text{ eli typpihapon ainemäärän tulisi olla kolminkertainen fenolin ainemäärään}$$

verrattuna, jolloin sitä tulisi olla $n(\text{HNO}_3) = 3 \cdot n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 3 \cdot 0,10626 \text{ mol} = 0,31878 \text{ mol.}$

Typpihappoa on käytettävissä vain 0,15868 mol, joten se on reaktion rajoittava tekijä.

Ratkaistaan muodostuvan pikriinihapon ainemäärä typpihapon ainemäärän perusteella:

$$\frac{n(\text{pikriinihappo})}{n(\text{HNO}_3)} = \frac{1}{3}, \text{ joten } n(\text{pikriinihappo}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{HNO}_3) = \frac{1}{3} \cdot 0,15868 \text{ mol} = 0,052893 \text{ mol}.$$

Muodostuvan pikriinihapon teoreettinen saanto on:

$$m(\text{pikriinihappo}) = n(\text{pikriinihappo}) \cdot M(\text{pikriinihappo}) = 0,052893 \text{ mol} \cdot 229,114 \text{ g/mol} = 12,119 \text{ g} \approx 12,1 \text{ g}.$$

4.3 Additio- ja eliminaatioreaktio

4.19

$$m(\text{alkeeni}) = 0,500 \text{ g}$$

$$m(\text{Br}_2) = 0,950 \text{ g}$$

$$M(\text{Br}_2) = 159,80 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan alkeenin kanssa reagoineen bromin ainemäärä:

$$n(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)} = \frac{0,950 \text{ g}}{159,80 \text{ g/mol}} = 5,9449 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Yksi mooli alkeenia kuluttaa additioreaktiossa yhden moolin bromia, joten

$$n(\text{alkeeni}) = n(\text{Br}_2) = 0,0059449 \text{ mol}.$$

Alkeenin moolimassa saadaan ratkaistua suureyhtälöstä:

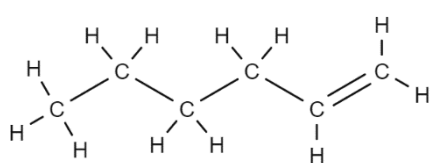
$$n = \frac{m}{M}, \text{ josta } M = \frac{m}{n}$$

$$\Rightarrow M(\text{alkeeni}) = \frac{0,500 \text{ g}}{5,9449 \cdot 10^{-3} \text{ mol}} = 84,106 \text{ g/mol}.$$

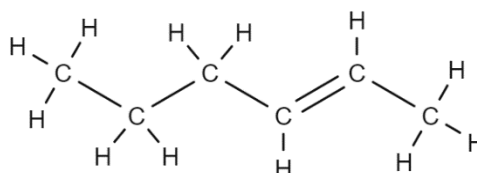
Koska alkeeniin homologisen sarjan yleinen kaava on C_nH_{2n} , saadaan hiiliatomien lukumäärä n ratkaistua yhtälöstä $(n \cdot 12,01 \text{ g/mol} + 2n \cdot 1,008 \text{ g/mol}) = 84,106 \text{ g/mol}$

$$\Rightarrow 14,026n = 84,106, \text{ josta ratkaisuna } n = 5,9964 \approx 6.$$

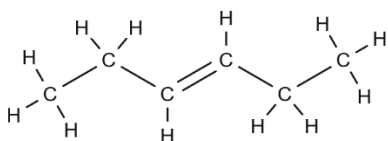
Alkeenin molekyylikaava on täten C_6H_{12} . Koska yhdisteen hiilirunko on haaroittumaton, mahdolliset rakennekaavat ja yhdisteiden nimet ovat:



1-hekseeni (heks-1-eeni)



2-hekseeni (heks-2-eeni)



3-hekseeni (heks-3-eeni)

Kyseessä on paikkaisomeria.

4.20

$$m(C_{57}H_{98}O_6) = 140 \text{ kg} = 140\,000 \text{ g}$$

$$M(C_{57}H_{98}O_6) = 879,354 \text{ g/mol}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$V(H_2) = ?$$

Ratkaistaan triglyseridin ainemäärä:

$$n(\text{triglyseridi}) = \frac{m(\text{triglyseridi})}{M(\text{triglyseridi})} = \frac{140\,000 \text{ g}}{879,354 \text{ g/mol}} = 159,21 \text{ mol.}$$

Yhdessä triglyseridimolekyylissä on kolme linolihappomolekyyliä esteröityneenä glyseroliin.

Kussakin linolihappomolekyylissä on kaksi C=C-sidosta eli $n(C=C) = 6 \cdot n(\text{triglyseridi}) =$

$6 \cdot 159,21 \text{ mol} = 955,26 \text{ mol}$. Hydrattavien C=C-sidosten ainemäärä on 40 % C=C-sidosten

kokonaisainemäärästä eli $0,40 \cdot 955,26 \text{ mol} = 382,104 \text{ mol}$.

Kun yksi mooli C=C-sidoksia hydrataan, kuluu vetykaasua yksi mooli. Tarvittava vetykaasun ainemäärä $n(\text{H}_2) = n(\text{C}=\text{C}) = 382,104 \text{ mol}$.

Ratkaistaan vetykaasun tilavuus NTP-oloissa suureyhtälöstä:

$$n = \frac{V}{V_m}, \text{ josta } V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_m = 382,104 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} \\ = 8563,0 \text{ dm}^3 \approx 8560 \text{ dm}^3 = 8,56 \text{ m}^3.$$

4.4 Kondensaatio ja hydrolyysireaktio

4.28

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 35 \text{ g}$$

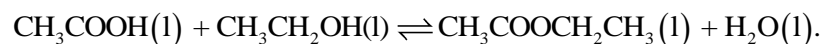
$$M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 46,068 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = 88,104 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = ?$$

$$\text{saanto-\%}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = ?$$

Esteröitymisreaktion reaktioyhtälö on



Ratkaistaan etanolin ainemäärä:

$$n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}{M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})} = \frac{35 \text{ g}}{46,068 \text{ g/mol}} = 0,7597 \text{ mol}.$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella $n(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})$ eli

$$n(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = 0,7597 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan, mikä massa etyyliasettaattia voi muodostua:

$$m(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = n(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3)$$

$$= 0,7597 \text{ mol} \cdot 88,104 \text{ g/mol} = 66,93 \text{ g} \approx 67 \text{ g}.$$

Etyyliasettaatin prosentuaalinen saanto on

$$\text{saanto-\%}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = \frac{42 \text{ g}}{66,93 \text{ g}} \cdot 100 \% = 62,75 \% \approx 63 \%.$$

4.31

Kysytyn esterin alkoholiosasta tiedetään seuraavaa:

$$m\text{-}\%(\text{H}) = 7,41 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{C}) = 77,78 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{O}) = 14,81 \%$$

$$m(\text{alkoholi}) = 0,720 \text{ mg}$$

Alkoholi on aromaattinen.

Ratkaistaan alkoholin suhde- eli empiirinen kaava. Alkuaineiden massaprosenttisten osuuksien perusteella 100 g alkoholia sisältää vetyä 7,41 g, hiiltä 77,78 g ja happea 14,81g.

Ratkaistaan eri alkuaineiden ainemäärät:

$$n(\text{H}) = \frac{7,41 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 7,3512 \text{ mol}$$

$$n(\text{C}) = \frac{77,78 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 6,4763 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = \frac{14,81 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 0,92563 \text{ mol.}$$

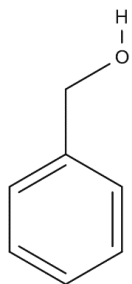
Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä (hapen) ainemäärällä, jolloin alkuaineatomien ainemäärien suhteeksi saadaan: $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 7,0 : 7,9 : 1,0$, josta pienimpien kokonaislukujen suhde on $7 : 8 : 1$.

Esterin hydrolyysissä vapautuneen alkoholin empiirinen kaava on siten $(\text{C}_7\text{H}_8\text{O})_x$. Ratkaistaan alkoholin molekyylikaavaa varten x yhtälöstä $x(7 \cdot 12,01 + 8 \cdot 1,008 + 16,00) = 108$.

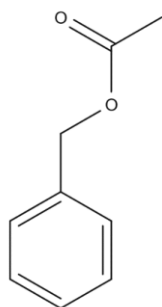
Ratkaisuksi saadaan $108,134x = 108$, josta $x = 1$.

Alkoholin molekyylikaava on $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$. Alkoholin tiedetään olevan aromaattinen, joten siinä on kuuden hiiliatomin sisältävä bentseenirengas eikä hydroksyyliiryhmä saa olla suoraan kiinni bentseenirenkaassa (sillä tällöin kyseessä olisi fenoli.)

Molekyylikaavaa C_7H_8O vastaava aromaattinen alkoholi on bentsyylialkoholi, jonka rakennekaava on seuraava:



Esterin rakennekaava on siten:



Jakso 5 – Kemiallisen reaktion energiamuutokset

5.1 Reaktiolämpö ja Hessin laki

5.3

Jotta saadaan 10 000 kJ energiaa, tarvittavan etanolin ainemäärä on $\frac{10\,000\text{ kJ}}{1\,367\text{ kJ/mol}} = 7,315\text{ mol}$.

Tämä määrä etanolia maksaa $7,315\text{ mol} \cdot 0,60\text{ €/mol} = 4,39\text{ €}$.

Tarvittavan oktaanin ainemäärä on $\frac{10\,000\text{ kJ}}{5\,470\text{ kJ/mol}} = 1,828\text{ mol}$.

Tämän oktaanimäärän hinta on $1,828\text{ mol} \cdot 2,50\text{ €/mol} = 4,57\text{ €}$.

Samana energiamäärän tuottamiseksi tarvittava dekaanin ainemäärä on

$$\frac{10\,000\text{ kJ}}{6\,778\text{ kJ/mol}} = 1,475\text{ mol}.$$

Tämä määrä dekaania maksaa $1,475\text{ mol} \cdot 5,10\text{ €/mol} = 7,52\text{ €}$. Edullisin on etanoli.

5.4

a)

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 1,00 \cdot 10^3\text{ l}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1,00\text{ kg/dm}^3$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016\text{ g/mol}$$

$$\Delta H = ?$$

Ratkaistaan muodostuvan veden massa sen tiheyden avulla:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 1,00\text{ kg/l} \cdot 1,00 \cdot 10^3\text{ l} = 1,00 \cdot 10^3\text{ kg} = 1,00 \cdot 10^6\text{ g}.$$

Ratkaistaan muodostuvan veden ainemäärä:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,00 \cdot 10^6\text{ g}}{18,016\text{ g/mol}} = 55\,506\text{ mol}.$$

Kysytty entalpiamuutos on:

$$\Delta H = 55\,506\text{ mol} \cdot (-285,8\text{ kJ/mol}) = -1,5864 \cdot 10^7\text{ kJ} \approx -1,59 \cdot 10^7\text{ kJ} = -1,59 \cdot 10^4\text{ MJ}.$$

b)

$$V(\text{H}_2) = 120 \text{ ml} = 0,120 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{O}_2) = 150 \text{ ml} = 0,150 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{H}_2) = 2,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$\Delta H = ?$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä vetyä ja happea reaktiossa oli:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{0,120 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 0,0053548 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{0,150 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 0,0066934 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella $n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{H}_2)$.

Jotta kaikki vety reagoisi, happea tarvittaisiin

$$\frac{1}{2} \cdot 0,0053548 \text{ mol} = 0,0026774 \text{ mol. Happea on } 0,0066934 \text{ mol, joten sitä on ylimäärin.}$$

Muodostuvan veden ainemäärä määräytyy vedyn (rajoittava tekijä) ainemäärän perusteella, joten $n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2) = 0,0053548 \text{ mol}$.

Reaktion entalpiamuutos on $\Delta H = 0,0053548 \text{ mol} \cdot (-285,8 \text{ kJ/mol}) = -1,5304 \text{ kJ} \approx -1,53 \text{ kJ}$.

Lämpöä vapautui 1,53 kJ.

c) Entalpiamuutoksen lukuavo olisi pienempi, sillä lämpöä vapautuu myös, kun kaasumainen vesi tiivistyy nesteeksi (eksoterminen olomuodon muutos).

d) Vedyn palaessa muodostuu vain vettä, joten vety energialähteenä on ympäristöystävällisempi kuin hiiltä sisältävät fossiiliset polttoaineet. Vedyn valmistaminen kuluttaa energiaa, sillä sitä on esimerkiksi ilmassa hyvin pieniä määriä. Lisäksi kaasumaisen vedyn kuljetukseen ja varastointiin liittyy monia vaaratekijöitä.

5.5

a)

$$V(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 1\,000\text{ l}$$

$$V(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) = 1\,000\text{ l}$$

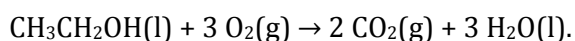
$$\rho(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,79\text{ g/cm}^3 = 0,79\text{ kg/l}$$

$$\rho(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) = 0,70\text{ g/cm}^3 = 0,70\text{ kg/l}$$

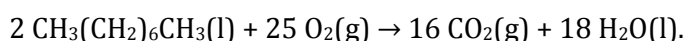
$$M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 46,068\text{ g/mol}$$

$$M(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) = 114,224\text{ g/mol}$$

Etanolin palamisreaktion reaktioyhtälö on



Oktaanin palamisreaktion reaktioyhtälö on



Ratkaistaan kummankin aineen massa annetun tilavuuden ja aineen tiheyden avulla:

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \rho(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) \cdot V(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,79\text{ kg/l} \cdot 1\,000\text{ l} = 790\text{ kg} = 790\,000\text{ g}$$

$$\begin{aligned} m(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) &= \rho(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) \cdot V(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) \\ &= 0,70\text{ kg/l} \cdot 1\,000\text{ l} = 700\text{ kg} = 700\,000\text{ g}. \end{aligned}$$

Ratkaistaan kummankin aineen ainemäärä:

$$n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{790\,000\text{ g}}{46,068\text{ g/mol}} = 17\,148,6\text{ mol} \approx 17\,150\text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) = \frac{700\,000\text{ g}}{114,224\text{ g/mol}} = 6\,128,31\text{ mol} \approx 6\,128\text{ mol}.$$

Ratkaistaan tasapainotettujen reaktioyhtälöiden perusteella reaktioissa muodostuvan hiilidioksidin ainemäärä.

Etanolin palamisreaktion perusteella

$$n(\text{CO}_2) = 2 \cdot n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 2 \cdot 17\,150\text{ mol} = 34\,300\text{ mol} \approx 34 \cdot 10^3\text{ mol}.$$

Oktaanin palamisreaktion perusteella

$$n(\text{CO}_2) = \frac{16}{2} \cdot n(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3) = \frac{16}{2} \cdot 6\,128 \text{ mol} = 49\,024 \text{ mol} \approx 49 \cdot 10^3 \text{ mol}.$$

Oktaanin palamisreaktiossa vapautuu enemmän hiilidioksidia.

b) Oktaanilla on suurempi (noin 1,6-kertainen) lämpöarvo, joten sama massa oktaania tuottaa enemmän energiaa. Lisäksi oktaanin energiatiheys on noin 1,8-kertainen verrattuna etanolin energiatihyyteen. Sama tilavuus oktaania tuottaa siten enemmän energiaa.

5.10

a)

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 450 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58,120 \text{ g/mol}$$

$$\Delta H_c(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 2\,859 \text{ kJ/mol}$$

Ratkaistaan butaanin ainemäärä:

$$n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{M(\text{C}_4\text{H}_{10})} = \frac{450 \text{ g}}{58,120 \text{ g/mol}} = 7,7426 \text{ mol}.$$

Vapautuneen lämpöenergian määrä on $7,7426 \text{ mol} \cdot 2\,859 \text{ kJ/mol} = 22\,136 \text{ kJ} \approx 2,21 \cdot 10^4 \text{ kJ}$.

b)

$$m(\text{kaasuseos}) = 400 \text{ g}$$

$$m\text{-}\%(\text{C}_3\text{H}_8) = 20,0 \% = 0,200$$

$$m\text{-}\%(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 80,0 \% = 0,800$$

$$M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44,094 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58,120 \text{ g/mol}$$

$$\Delta H_c(\text{C}_3\text{H}_8) = 2\,200 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_c(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 2\,859 \text{ kJ/mol}$$

Massaprosenttisen koostumuksen perusteella propanin ja butaanin massat ovat:

$$m(\text{propani}) = 0,200 \cdot 400 \text{ g} = 80,0 \text{ g}$$

$$m(\text{butaani}) = 0,800 \cdot 400 \text{ g} = 320 \text{ g}.$$

Ratkaistaan kummankin kaasun ainemäärä:

$$n(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8)}{M(\text{C}_3\text{H}_8)} = \frac{80,0 \text{ g}}{44,094 \text{ g/mol}} = 1,8143 \text{ mol}$$

$$n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{M(\text{C}_4\text{H}_{10})} = \frac{320 \text{ g}}{58,120 \text{ g/mol}} = 5,5058 \text{ mol.}$$

Palamisreaktiossa vapautuvan lämpöenergian määrä on:

$$1,8143 \text{ mol} \cdot 2\,220 \text{ kJ/mol} + 5,5058 \text{ mol} \cdot 2\,859 \text{ kJ/mol} = 19\,768 \text{ kJ} \approx 19\,800 \text{ kJ.}$$

5.11

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 100 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180,156 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) = 100 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) = 891,450 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan kummankin aineen ainemäärä:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{100 \text{ g}}{180,156 \text{ g/mol}} = 0,55507 \text{ mol}$$

$$n(\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6) = \frac{100 \text{ g}}{891,450 \text{ g/mol}} = 0,11218 \text{ mol.}$$

Lasketaan ratkaistuja ainemääriä vastaava energiamäärä. Huomioidaan, että ilmoitetut palamislämmöt ovat yhtä glukoosimoolia kohti, mutta kahta tristearaattimoolia kohti.

$$100 \text{ grammasta glukoosia saadaan energiaa } 0,55507 \text{ mol} \cdot 2\,816 \text{ kJ/mol} = 1\,563,1 \text{ kJ} \approx 1\,560 \text{ kJ.}$$

$$100 \text{ grammasta rasvaa saadaan energiaa } 0,11218 \text{ mol} \cdot 7\,5520 \text{ kJ/2 mol} = 4\,235,9 \text{ kJ} \approx 4\,240 \text{ kJ.}$$

Rasvasta saatava energiamäärä on noin 2,7-kertainen $\left(\frac{4\,240 \text{ kJ}}{1\,560 \text{ kJ}} = 2,718 \right)$.

5.2 Reaktiolämmön laskeminen ja kokeellinen määrittäminen

5.13

Kaikissa kohdissa entalpiamuutos saadaan laskettua lausekkeesta

$$\Delta H = \Sigma \Delta H_f (\text{reaktiotuotteet}) - \Sigma \Delta H_f (\text{lähtöaineet}).$$

Alkuaineille muodostumislämpö on nolla. Muiden aineiden muodostumislämmöt löytyvät taulukkokirjasta. Kerrotaan kunkin aineen muodostumislämpö reaktioyhtälön kertoimen mukaisella ainemäärällä.

a) Reaktioyhtälö on: $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2 \text{Al}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{s}) + \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$.

$$\Delta H_f(\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})) = -822,2 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})) = -1670,0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{Al}(\text{s})) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{Fe}(\text{s})) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 1 \text{ mol} (-1670,0 \text{ kJ/mol}) - 1 \text{ mol} (-822,2 \text{ kJ/mol}) = -847,8 \text{ kJ}.$$

b) Reaktioyhtälö on $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6(\text{g})$.

$$\Delta H_f(\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})) = +52,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})) = -84,7 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{H}_2(\text{g})) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 1 \text{ mol} (-84,7 \text{ kJ/mol}) - 1 \text{ mol} (+52,3 \text{ kJ/mol}) = -137,0 \text{ kJ}.$$

c) Reaktioyhtälö on $\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$.

$$\Delta H_f(\text{CaO}(\text{s})) = -635,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{CO}_2(\text{g})) = -393,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{CaCO}_3(\text{s})) = -1206,9 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 1 \text{ mol} (-1206,9 \text{ kJ/mol}) - [1 \text{ mol} (-635,5 \text{ kJ/mol}) + 1 \text{ mol} (-393,5 \text{ kJ/mol})] \\ = -177,9 \text{ kJ}.$$

d) Reaktioyhtälö on $2 \text{C}_6\text{H}_6(\text{l}) + 15 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 12 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

$$\Delta H_f(\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})) = +49,0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{CO}_2(\text{g})) = -393,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = -285,8 \text{ kJ/mol}$$

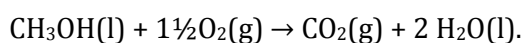
$$\Delta H_f(\text{O}_2(\text{g})) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= [(12 \text{ mol} (-393,5 \text{ kJ/mol}) + 6 \text{ mol} (-285,8 \text{ kJ/mol})) - 2 \text{ mol} (+49,0 \text{ kJ/mol})] \\ &= -6534,8 \text{ kJ}. \end{aligned}$$

5.14

a) $\text{C}_{\text{grafiitti}}(\text{s}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$.

b) Palamisreaktion reaktioyhtälö yhtä metanolimoolia kohti on



Taulukkokirjasta saatavat muodostumislämmöt reaktion eri aineille ovat:

$$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) \quad \Delta H_f = -238,6 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H_f = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_f = -393,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_f = -285,8 \text{ kJ/mol}$$

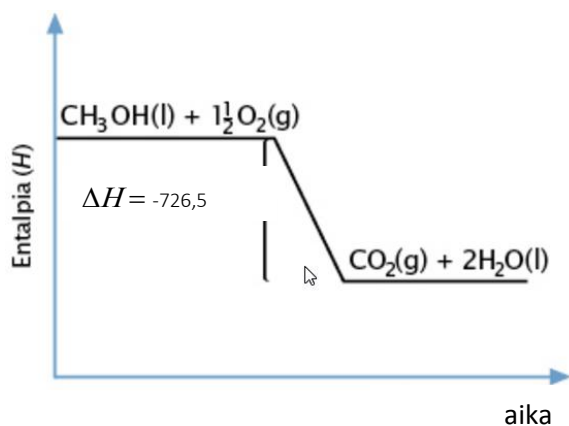
$$\Delta H_c(\text{CH}_3\text{OH}) = ?$$

Käytetään lauseketta $\Delta H_c = \sum \Delta H_f (\text{reaktiotuotteet}) - \sum \Delta H_f (\text{lähtöaineet})$:

$$\begin{aligned} \Delta H_c &= [-393,5 \text{ kJ/mol} + 2 \cdot (-285,8 \text{ kJ/mol})] - [(-238,6 \text{ kJ/mol}) + \frac{1}{2} \cdot 0 \text{ kJ/mol}] \\ &= -726,5 \text{ kJ/mol}. \end{aligned}$$

Lämpöä vapautuu 726,5 kJ/mol.

c)



5.16

Sidosten katkeamiseen tarvittava energiamäärä:

$$\text{CH}_4: \quad 4 \text{ mol C-H-sidoksia} \quad = +(4 \text{ mol} \cdot 412 \text{ kJ/mol}) = +1 \, 648 \text{ kJ}$$

$$\text{Cl}_2: \quad \underline{1 \text{ mol Cl-Cl-sidoksia}} \quad = +(1 \text{ mol} \cdot 242 \text{ kJ/mol}) = +242 \text{ kJ}$$

Yhteensä: +1 890 kJ

Sidosten muodostumisessa vapautuva energiamäärä:

$$\text{CH}_3\text{Cl}: \quad 3 \text{ mol C-H-sidoksia} \quad = -(3 \text{ mol} \cdot 412 \text{ kJ/mol}) = -1 \, 236 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ mol C-Cl sidoksia} \quad = -(1 \text{ mol} \cdot 338 \text{ kJ/mol}) = -338 \text{ kJ}$$

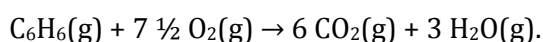
$$\text{HCl}: \quad \underline{1 \text{ mol H-Cl sidoksia}} \quad = -(1 \text{ mol} \cdot 431 \text{ kJ/mol}) = -431 \text{ kJ}$$

Yhteensä: -2 005 kJ

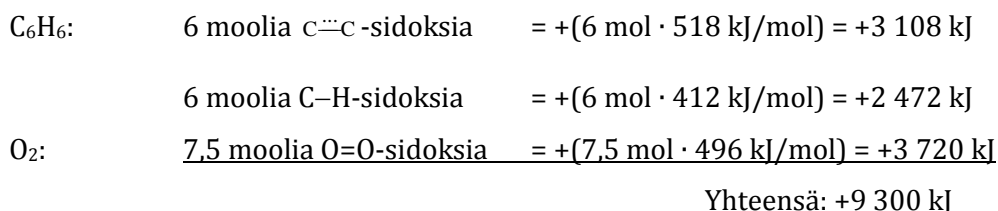
Lasketaan yhteen sidosten katkeamiseen tarvittava energiamäärä ja sidosten muodostumisessa vapautuva energiamäärä: $\Delta H = +1 \, 890 \text{ kJ} + (-2 \, 005 \text{ kJ}) = -115 \text{ kJ}$.

5.17

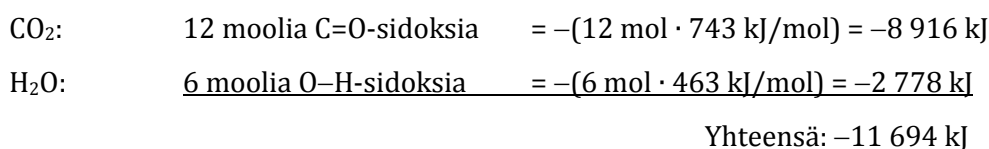
Bentseenin palamisreaktion yhtälö (yhtä bentseenimoolia kohti) on:



Sidosten katkeamiseen tarvittava energiamäärä:



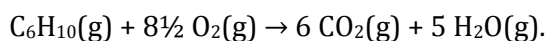
Sidosten muodostumisessa vapautuva energiamäärä:



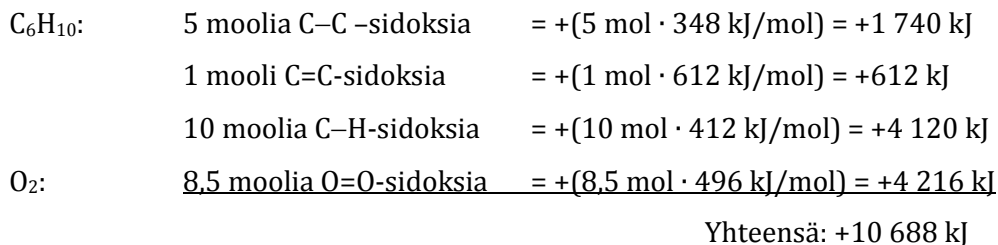
Lasketaan yhteen sitoutuva ja vapautuva energiamäärä jolloin saadaan

$$\Delta H_c(\text{C}_6\text{H}_6) = +9 \text{ 300 kJ} + (-11 \text{ 694 kJ}) = -2 \text{ 394 kJ} \approx -2,4 \text{ MJ}.$$

Sykloheksenin palamisreaktion yhtälö (yhtä sykloheksenimoolia kohti) on



Sidosten katkeamiseen tarvittava energiamäärä:



Sidosten muodostumisessa vapautuva energiamäärä:

$$\text{CO}_2: \quad 12 \text{ moolia C=O-sidoksia} \quad = -(12 \text{ mol} \cdot 743 \text{ kJ/mol}) = -8916 \text{ kJ}$$

$$\text{H}_2\text{O}: \quad \underline{10 \text{ moolia O-H-sidoksia}} \quad = \underline{-(10 \text{ mol} \cdot 463 \text{ kJ/mol}) = -4630 \text{ kJ}}$$

Yhteensä: -13 546 kJ

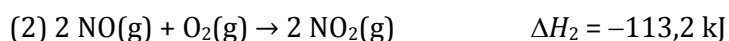
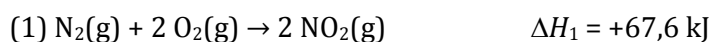
Lasketaan yhteen sitoutuva ja vapautuva energiamäärä jolloin saadaan

$$\Delta H_c(\text{C}_6\text{H}_{10}) = +10\,688 \text{ kJ} + (-13\,546 \text{ kJ}) = -2\,858 \text{ kJ} \approx -2,9 \text{ MJ.}$$

Sykloheksenin palamisreaktiossa vapautuu enemmän lämpöä.

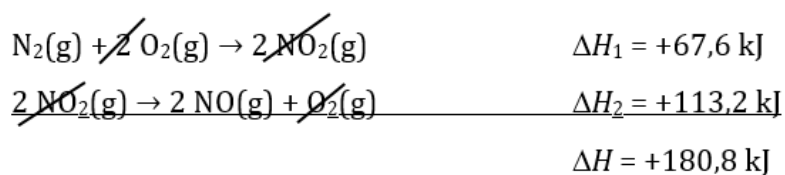
5.18

Merkitään annettuja reaktioita numeroilla (1) ja (2).



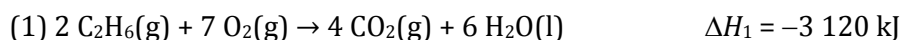
Hyödynnetään reaktioita (1) ja (2) siten, että niistä saadaan kysytyn reaktion reaktioyhtälö.

Kirjoitetaan reaktio (1) kuten se on annettu, mutta käännetään reaktio (2), jotta saadaan kysytyn reaktion reaktiotuote (2 NO(g)). Samalla tämän reaktion entalpiamuutoksen etumerkki vaihtuu. Kirjoitetaan reaktiot allekkain ja lasketaan ne puolittain yhteen, jolloin saadaan kysytyn reaktion reaktioyhtälö ja voidaan ratkaista kysytty ΔH .

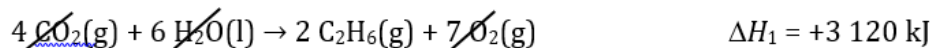


5.19

Merkitään annettuja reaktioita seuraavasti:



Jotta näistä saadaan kysytyn reaktion reaktioyhtälö, käännetään ensin reaktioyhtälö (1), jolloin entalpiamuutoksen etumerkki vaihtuu. Kerrotaan reaktioyhtälö (2) neljällä (koska reaktiossa (1) on 4 moolia hiilidioksidia), jolloin myös entalpiamuutos tulee kertoa neljällä. Kerrotaan reaktioyhtälö (3) kolmella (koska reaktiossa (1) on 6 moolia vettä), jolloin myös entalpiamuutos tulee kertoa kolmella. Lasketaan lopuksi reaktioyhtälöt ja entalpiamuutokset yhteen:



Kysytyn reaktion entalpiamuutos on puolet tästä, koska kysytyssä reaktiossa ($2 \text{C}(\text{s}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$) kertoimet ovat puolta pienemmät $\Rightarrow \Delta H = -86 \text{ kJ}$

5.20

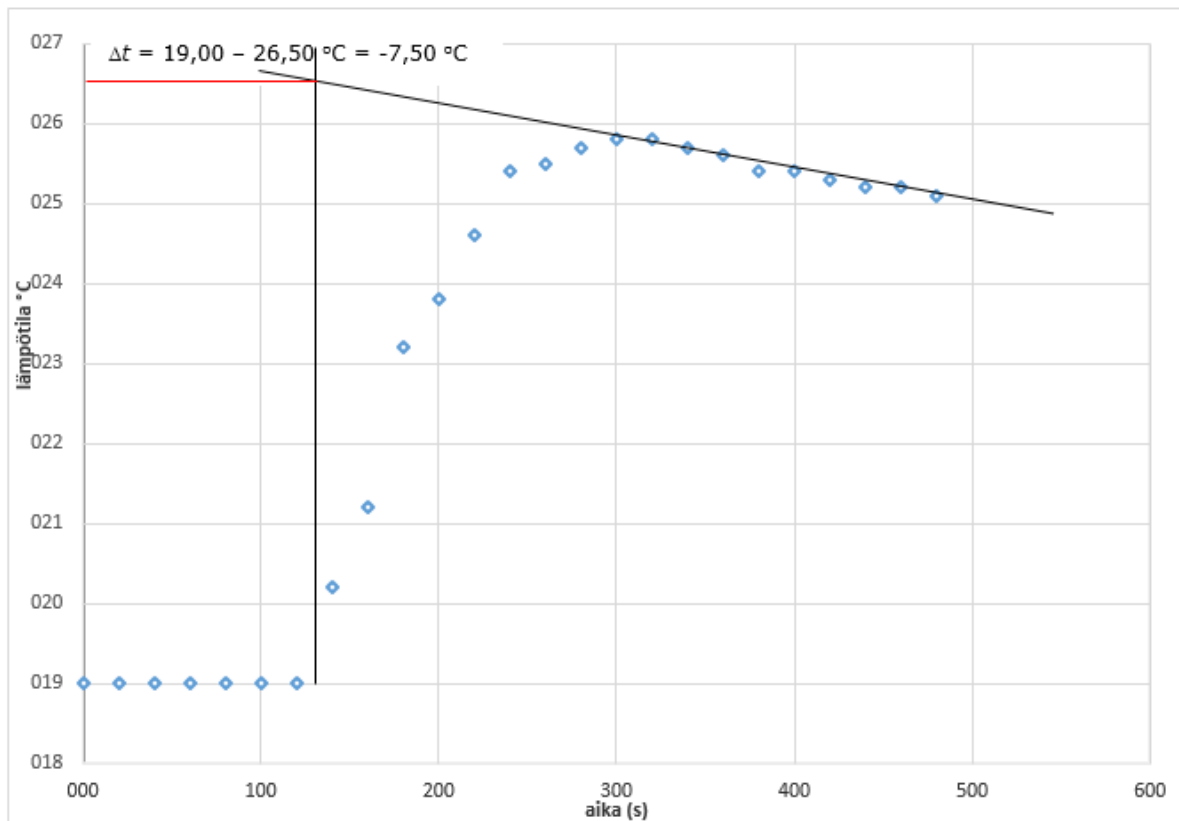
Hessin lain perusteella $\Delta H_f(\text{propanoli}) + \Delta H_c(\text{propanoli}) = \Delta H_c(\text{C}) + \Delta H_c(\text{H}_2)$.

Koska hiiltä palaa kolme moolia ja vetyä neljä moolia, tulee näiden reaktioiden palamislämmöt kertoa reaktioon osallistuvien aineiden ainemäärillä. Propanolia on yksi mooli, joten sen muodostumislämpö kerrotaan yhdellä. Saadaan lauseke:

$1 \text{ mol} (-316 \text{ kJ/mol}) + \Delta H_c(\text{propanoli}) = 3 \text{ mol} (-394 \text{ kJ/mol}) + 4 \text{ mol} (-286 \text{ kJ/mol})$,
josta $\Delta H_c(\text{propanoli}) = -2\,010 \text{ kJ}$.

5.21

Arvioidaan kuvaajalta Δt seuraavasti (huomaa, että laskussa on otettu huomioon, että kyseessä on eksoterminen reaktio eli reaktiossa vapautuu lämpöä).



Kidevedettömän kuparisulfaatin liukenemislämpö $\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4)$ lasketaan seuraavilla arvoilla:

$$\Delta t = -7,50 \text{ °C} = -7,50 \text{ K}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 50,0 \text{ ml} \Rightarrow m = 50,0 \text{ g} = 0,0500 \text{ kg}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 3,99 \text{ g}$$

$$M(\text{CuSO}_4) = 159,62 \text{ g/mol}$$

$$\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,0500 \text{ kg} \cdot (-7,50 \text{ K}) = -1,5713 \text{ kJ}.$$

Liuetun kuparisulfaatin ainemäärä on:

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} = \frac{3,99 \text{ g}}{159,62 \text{ g/mol}} = 0,024997 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan liukenemislämpö yhtä kuparisulfaattimoolia kohti:

$$\frac{\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4)}{n(\text{CuSO}_4)} = \frac{-1,5713 \text{ kJ}}{0,024997 \text{ mol}} = -62,860 \text{ kJ/mol} \approx -62,9 \text{ kJ/mol}.$$

Kidevedellisen kuparisulfaatin liukenemislämpö $\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \cdot \text{H}_2\text{O})$ lasketaan seuraavilla arvoilla:

$\Delta t = -1,10 \text{ }^\circ\text{C} = -1,10 \text{ K}$ (merkitään Δt negatiivisena lukuna, sillä kyseessä on tehtävänannon mukaan eksoterminen tapahtuma).

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 50,0 \text{ ml} \Rightarrow m = 50,0 \text{ g} = 0,0500 \text{ kg}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 6,50 \text{ g}$$

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 249,70 \text{ g/mol}$$

$$\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,0500 \text{ kg} \cdot (-1,10 \text{ K}) = -0,23045 \text{ kJ}.$$

Liuotetun kidevedellisen kuparisulfaatin ainemäärä on:

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \cdot \text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{6,50 \text{ g}}{249,70 \text{ g/mol}} = 0,026031 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan liukenemislämpö yhtä kidevedellistä kuparisulfaattimoolia kohti:

$$\frac{\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{-0,23045 \text{ kJ}}{0,026031 \text{ mol}} = -8,8529 \text{ kJ/mol} \approx -8,85 \text{ kJ/mol}.$$

Reaktion $\text{CuSO}_4(\text{s}) + 5 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ reaktiolämpö ΔH_x saadaan laskettua lausekkeesta $\Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4) = \Delta H_x + \Delta H_{\text{sol}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$.

Sijoittamalla edellä ratkaistut arvot, saadaan

$$-62,9 \text{ kJ} = \Delta H_x + (-8,85 \text{ kJ/mol}), \text{ josta } \Delta H_x = -54,05 \text{ kJ/mol} \approx -54,1 \text{ kJ/mol}.$$

5.23

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 4,25 \text{ g}$$

$$M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80,052 \text{ g/mol}$$

$$t_1 = 22,0 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = (22,0 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$$

$$t_2 = 16,9 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = (16,9 + 273,15) \text{ K} = 290,05 \text{ K}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 60,0 \text{ ml}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\Delta H_{\text{sol}} = ?$$

Käytetään suureyhtälöä $\Delta H = c \cdot m \cdot \Delta T$.

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 295,15 \text{ K} - 290,05 \text{ K} = 5,10 \text{ K}.$$

Muutetaan veden tilavuus massaksi (m) veden tiheyden avulla:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 1,00 \text{ g/ml} \cdot 60,0 \text{ ml} = 60,0 \text{ g} = 0,0600 \text{ kg}.$$

$$\Delta H_{\text{sol}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,0600 \text{ kg} \cdot 5,10 \text{ K} = 1,2821 \text{ kJ}.$$

Ratkaistaan, mikä ainemäärä ammoniumnitraattia oli liuotettu:

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{m(\text{NH}_4\text{NO}_3)}{M(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{4,25 \text{ g}}{80,052 \text{ g/mol}} = 0,053090 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan liukenemislämpö moolia ammoniumnitraattia kohti:

$$\frac{\Delta H_{\text{sol}}}{n(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{1,2821 \text{ kJ}}{0,053090 \text{ mol}} = 24,150 \text{ kJ/mol} \approx 24,2 \text{ kJ/mol}.$$

Koska liukenemisen aikana veden lämpötila laski, on kyseessä endoterminen tapahtuma, joten

$$\Delta H_{\text{sol}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = +24,2 \text{ kJ/mol}.$$

5.24

a)

$$m(\text{poltin}) \text{ aluksi} = 228,15 \text{ g}$$

$$m(\text{poltin}) \text{ lopuksi} = 227,71 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ g} = 0,250 \text{ kg}$$

$$t_1(\text{H}_2\text{O}) = 20,8 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = (20,8 + 273,15) \text{ K} = 293,95 \text{ K}$$

$$t_2(\text{H}_2\text{O}) = 33,1 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = (33,1 + 273,15) \text{ K} = 306,25 \text{ K}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\Delta H_c(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = ?$$

Lasketaan lämpötilan muutos $\Delta T = T_1 - T_2 = 293,95 \text{ K} - 306,25 \text{ K} = -12,30 \text{ K}$.

Käytetään suureyhtälöä $\Delta H = c \cdot m \cdot \Delta T$ ja ratkaistaan palamisreaktiossa vapautuneen lämmön määrä.

$$\Delta H_c(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,250 \text{ kg} \cdot (-12,30 \text{ K}) = -12,884 \text{ kJ}.$$

Lasketaan palaneen etanolin massa:

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 228,15 \text{ g} - 227,71 \text{ g} = 0,44 \text{ g}.$$

Lasketaan etanolin ainemäärä:

$$n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}{M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})} = \frac{0,44 \text{ g}}{46,068 \text{ g/mol}} = 9,551 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Lasketaan palamislämpö yhtä etanolimoolia kohti:

$$\Delta H_c(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{-12,884 \text{ kJ}}{9,551 \cdot 10^{-3} \text{ mol}} = -1\,350,0 \text{ kJ/mol} \approx -1\,350 \text{ kJ/mol}.$$

b)

Saadun palamislämmön lukuarvo on pienempi kuin ilmoitettu lukuarvo. Kokeen tulosten avulla laskettu pienempi palamislämpö voi johtua seuraavista seikoista:

- kaikki vapautunut lämpö ei siirtynyt veteen
- dekantterilasi, lämpömittari ja poltin sitovat myös lämpöä
- systeemi oli avoin, jolloin lämpöä siirtyi myös ympäristöön
- kaikki etanoli ei palanut täydellisesti
- koe toistettiin vain kerran
- etanoli ei ollut täysin puhdasta.

5.25

$$c(\text{NaOH}) = 1,0 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{NaOH}) = 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ l}$$

$$c(\text{HCl}) = 1,0 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{HCl}) = 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ l}$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on $\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Reagoivan suolahapon ja natriumhydroksidin ainemäärät ovat yhtä suuret, sillä niiden konsentraatio ja tilavuus ovat samat. Siten $n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = c \cdot V = 1,0 \text{ mol/l} \cdot 0,025 \text{ l} = 0,025 \text{ mol}$.

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella vettä muodostuu 0,025 mol.

$$\text{Ratkaistaan } \Delta T = T_1 - T_2 = (20,0 + 273,15 \text{ K}) - (26,1 + 273,15 \text{ K}) = -6,1 \text{ K}.$$

$$V(\text{liuos}) = 25 \text{ ml} + 25 \text{ ml} = 50 \text{ ml}.$$

Käytetään puhtaan veden tiheyttä, jolloin $m(\text{liuos}) = 50 \text{ g} = 0,050 \text{ kg}$

$$c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\Delta H = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,050 \text{ kg} \cdot (-6,1 \text{ K}) = -1,278 \text{ kJ}.$$

Yhtä vesimoolia kohtia entalpiamuutos on $\frac{-1,278 \text{ kJ}}{0,025 \text{ mol}} = -51,12 \text{ kJ} \approx -51 \text{ kJ}$.

5.26

Reaktioyhtälö on: $\text{KOH(aq)} + \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{KCl(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$.

a)

Kyseessä on eksoterminen reaktio, sillä reaktioseoksen lämpötila nousee (lämpöä vapautuu).

b)

$V(\text{HCl}) = 30,00 \text{ ml}$. Reaktioseoksen lämpötila on tuolloin korkeimmillaan, mikä tarkoittaa, että kaikki kaliumhydroksidi on neutraloitunut.

c)

$$V(\text{liuos}) = 25,00 \text{ ml} + 30,00 \text{ ml} = 55,00 \text{ ml}$$

$$m = 55,00 \text{ g} = 0,05500 \text{ kg}$$

$$c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$t_1 = 25,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 32,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (25,00 + 273,15) \text{ K} - (32,00 + 273,15) \text{ K} = -7,00 \text{ K}$$

$$\Delta H = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,05500 \text{ kg} \cdot (-7,00 \text{ K}) = -1,6131 \text{ kJ} \approx -1,61 \text{ kJ}$$

d)

Reaktioseos alkaa jäähtyä, koska neutraloituminen on täydellistä, eikä lämpöä enää vapaudu. Seoksen lämpötila alkaa tasaantua ympäristön lämpötilan mukaiseksi.

Harjoittele lisää!

Ylioppilastehtäviä

1.

a) Yksi mooli kalsiumkarbonaattia tuottaa vesiliuokseen yhden moolin kalsiumioneja ja yhden moolin karbonaatti-ioneja. Kalsiumkarbonaatin liukoisuustulon lauseke

$$K_s(\text{CaCO}_3) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ (mol/l)}^2.$$

Kun merkitään kalsiumkarbonaatin liukoisuutta x mol/l

$$\Rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = x \text{ mol/l ja } [\text{CO}_3^{2-}] = x \text{ mol/l.}$$

Kalsiumkarbonaatin liukoisuus x voidaan tällöin ratkaista yhtälöstä:

$$(x \text{ mol/l}) \cdot (x \text{ mol/l}) = 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ (mol/l)}^2, \text{ josta ratkaistuna } x = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l.}$$

Vastaavasti yksi mooli kalsiumhydroksidia tuottaa vesiliuokseen yhden moolin kalsiumioneja ja kaksi moolia hydroksidi-ioneja. Kalsiumhydroksidin liukoisuustulon lauseke

$$K_s(\text{Ca}(\text{OH})_2) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ (mol/l)}^3.$$

Kun merkitään kalsiumhydroksidin liukoisuutta x mol/l

$$\Rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = x \text{ mol/l ja } [\text{OH}^-] = 2x \text{ mol/l.}$$

Kalsiumhydroksidin liukoisuus x voidaan tällöin ratkaista yhtälöstä:

$$(x \text{ mol/l}) \cdot (2x \text{ mol/l})^2 = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ (mol/l)}^3, \text{ josta ratkaistuna } x = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l.}$$

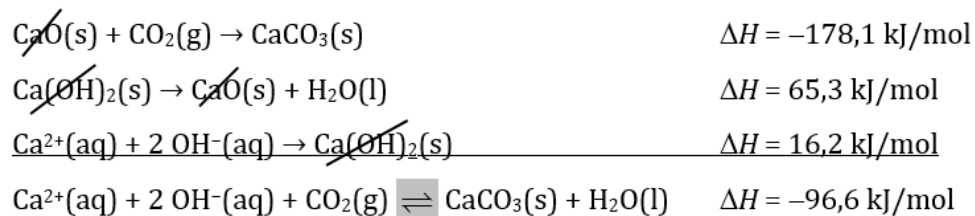
Kalsiumkarbonaattia liukenee huomattavasti vähemmän kuin kalsiumhydroksidia, joten sitä saostuu, kun kalsiumhydroksidin vesiliuos reagoi ilman hiilidioksidin kanssa.

b)

Lisätään saostumaan happoa. Karbonaatit hajoavat happojen vaikutuksesta, jolloin muodostuu hiilidioksidia. Hiilidioksidin muodostuminen havaitaan liuoksen kuplimisena.

c)

Sovelletaan Hessin lakia. Yhdistetään annetut reaktiot siten, että saadaan ratkaistua kysytyn reaktion entalpiamuutos ja lasketaan yhteen entalpiamuutokset.



d) Koska kyseessä on eksoterminen reaktio ($\Delta H < 0$), reaktioseos lämpenee.

2.

a)

Taulukon mukaan H–H-sidosenergia on 436 kJ/mol. Vetymoolin hajottamiseen tarvitaan siis energiaa 436 kJ.

b)

Kaksoissidos koostuu kahdesta erilaisesta sidoksesta eli σ -sidoksesta ja π -sidoksesta. π -sidoksen katkaisemiseen tarvittava energia saadaan, kun C=C-sidoksen sidosenergiasta vähennetään C–C-sidoksen sidosenergia:

$$E = (612 - 348) \text{ kJ/mol} = 264 \text{ kJ/mol}.$$

c)

ΔH° laskettuna taulukon sidosenergioiden avulla:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= +\sum(\text{l\aeht\oaineiden sidosten katkeaminen}) + [-\sum(\text{reaktiotuotteiden sidosten} \\ &\quad \text{muodostuminen})] \\ &= + (1 \text{ mol} \cdot 612 \text{ kJ/mol} + 4 \text{ mol} \cdot 412 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot 436 \text{ kJ/mol}) \\ &\quad + [-(6 \text{ mol} \cdot 412 \text{ kJ/mol} + 1 \text{ mol} \cdot 348 \text{ kJ/mol})] \\ &= -124 \text{ kJ}\end{aligned}$$

ΔH° laskettuna taulukkokirjan muodostumisl\ampöjen avulla:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= \sum(\text{reaktiotuotteiden muodostumisl\ampm\oet}) - \sum(\text{l\aeht\oaineiden} \\ &\quad \text{muodostumisl\ampm\oet}) \\ &\Rightarrow \Delta H(\text{C}_2\text{H}_6) - (\Delta H(\text{C}_2\text{H}_4) + (\Delta H(\text{H}_2))) \\ &= [1 \text{ mol} (-84,7 \text{ kJ/mol})] - [1 \text{ mol} (+52,3 \text{ kJ/mol}) + 0 \text{ kJ/mol}] \\ &= -137 \text{ kJ}.\end{aligned}$$

d)

ΔH° -arvojen ero (13 kJ/mol) johtuu siitä, että sidosenergia-arvot ovat keskiarvoja saman tyyppisten kovalenttisten sidosten sidosenergioista. Esimerkiksi eteenissä kaksoissidoksen sidosenergia ei ole aivan sama kuin propeenissa. Lisäksi sidosenergia-arvot viittaavat aina vain kaasumaisiin aineisiin. Muodostumisl\ampm\oet on m\ae\aritetty kokeellisesti ja ne ovat aina tietyn reaktion arvoja, joten ne ovat luotettavampia.