

2.1 Suolan liukoisuuden päättely

Päättele MAOL-taulukoiden avulla, mitkä seuraavista suoloista ovat veteen niukkaliukoisia.

- a) NaNO_3
- b) CuS
- c) NiF_2
- d) $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
- e) CH_3COOAg
- f) ZnCl_2

Ratkaisu:

b, c ja e.

2.2 Hajoamisreaktioiden piirteitä

Merkitse, ovatko seuraavat hajoamisreaktioita koskevat väitteet oikein vai väärin.

Väite	Oikein	Väärin
Reaktiossa muodostuu aina hiilidioksidia.		
Typpiyhdisteitä hyödynnetään räjähdysaineissa.		
Reaktion lähtöaine hajoaa kahdeksi tai useammaksi tuotteeksi.		
Reaktiossa muodostuu aina suuri määrä kaasuja.		
Karbonaatin hajotessa muodostuu hiilidioksidia.		

Ratkaisu:

Väite	Oikein	Väärin
Reaktiossa muodostuu aina hiilidioksidia.		X
Typpiyhdisteitä käytetään hyväksi räjähdysaineissa.	X	
Reaktion lähtöaine hajoaa kahdeksi tai useammaksi tuotteeksi.	X	
Reaktiossa muodostuu aina suuri määrä kaasuja.		X
Karbonaatin hajotessa muodostuu hiilidioksidia.	X	

2.3 Neutraloitumis- ja palamisreaktioiden kemiaa

Yhdistä oikeat parit.

1 emäs	A 2
2 happo	B aineen reaktio hapen kanssa
3 neutraloitumisreaktio	C aine, joka ottaa protonin vastaan
4 indikaattori	D 9
5 emäksisen liuoksen pH-arvo 25 °C:ssa	E $\text{OH}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
6 happaman liuoksen pH-arvo 25 °C:ssa	F aine, joka luovuttaa protonin
7 palaminen	G aine, jonka avulla voidaan havaita titrauksen ekvivalenttipiste

Ratkaisu:

- 1 – C
- 2 – F
- 3 – E
- 4 – G
- 5 – D
- 6 – A
- 7 – B

2.4 Muodostuuko saostuma?

Tutki MAOL-taulukoiden avulla, muodostuuko saostuma, kun seuraavia vesiliuoksia yhdistetään:

a) $\text{KNO}_3(\text{aq})$ ja $\text{BaCl}_2(\text{aq})$.

b) $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ ja $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$.

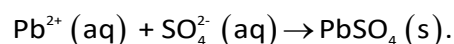
c) $\text{Na}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ ja $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$.

Kirjoita saostumista kuvaavat reaktioyhtälöt.

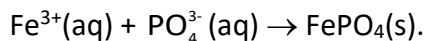
Ratkaisu:

a) Kaliumnitraatin vesiliuoksessa on K^+ - ja NO_3^- -ioneja. Vastaavasti bariumkloridin vesiliuoksessa on Ba^{2+} - ja Cl^- -ioneja. MAOL-taulukoiden 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. MAOL-taulukoiden 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. MAOL-taulukoiden mukaan natriumnitraatti on veteen runsaasti liukeneva suola. Rauta(III)fosfaatti sen sijaan on veteen niukkaliukoinen. Tapahtuu seuraava saostumisreaktio:



2.5 Hajoamisreaktioiden reaktioyhtälöt

Kirjoita seuraavien hajoamisreaktioiden tasapainotetut reaktioyhtälöt. Lisää myös olomuotomerkinnot.

a) Magnesiumkarbonaatti hajoaa kuumennettaessa magnesiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi.

b) Kaliumkloraatti hajoaa kuumennettaessa kaliumkloridiksi ja hapeksi.

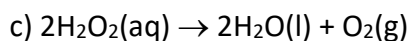
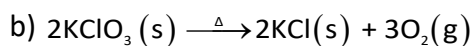
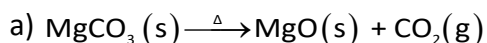
c) Veteen liuotettu vetyperoksidi hajoaa huoneenlämpötilassa vedeksi ja hapeksi.

d) Ammoniumnitraattia kuumennettaessa muodostuu dityppioksidia ja vettä, jotka molemmat vapautuvat kaasuina. Muodostunut dityppioksidi hajoaa edelleen typeksi ja hapeksi.

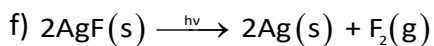
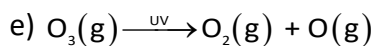
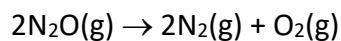
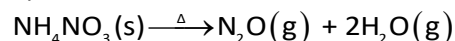
e) Ultraviolettisäteily hajottaa otsonia hapeksi ja happiatomeiksi.

f) Hopeafluoridi hajoaa valon vaikutuksesta hopeaksi ja fluoriksi.

Ratkaisu:



d)



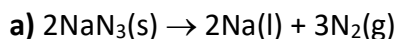
2.6 Auton turvatyynyn toiminta

Kiinteää natriumatsidia (NaN_3) käytetään auton turvatyynyissä, missä se hajotessaan tuottaa ensivaiheessa typpikaasua ja sulaa natriumia.

a) Kirjoita tapahtumaa kuvaava tasapainotettu reaktioyhtälö.

b) Kuinka monta grammaa natriumatsidia tarvitaan tuottamaan turvatyynyn 40 litraa typpikaasua, jos typen tiheys reaktio-olosuhteissa on 1,20 g/l?

Ratkaisu:



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

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ josta } m = \rho \cdot V$$

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

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

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

2.7 Sementin valmistus

Sementin valmistuksessa pääraaka-aineena käytetään kalsiittia (kalkkikiveä), johon lisätään piidioksidiä, rauta(III)oksidiä ja alumiinioksidiä sisältäviä kiviaineita. Tätä seosta kuumennetaan 1400 °C:n lämpötilassa, jolloin kalkkikivi hajoaa ja muodostaa niin sanottua poltettua kalkkia ja hiilidioksidiä. Ennen valamista sementtiin lisätään vettä, jolloin saadaan sammutettua kalkkia. Sementti kovettuu sammutetun kalkin reagoiessa ilman hiilidioksidin kanssa. Tässä reaktiossa haihtuu vettä ja muodostuu veteen niukkaliukoista kalsiumkarbonaattia.

- Kirjoita kaikkien tehtävässä mainittujen aineiden kemialliset kaavat.
- Kirjoita reaktioyhtälöt, jotka kuvaavat poltetun kalkin ja sammutetun kalkin muodostumista sekä sammutetun kalkin reaktiota ilman hiilidioksidin kanssa.
- Kuinka monta kilogrammaa kalsiittia tarvitaan, jos poltettua kalkkia halutaan tuottaa 100 kilogrammaa?

Ratkaisu:

a) kalsiitti (kalkkikivi) = CaCO_3

piidioksidi = SiO_2

rauta(III)oksidi = Fe_2O_3

alumiinioksidi = Al_2O_3

poltettu kalkki = CaO

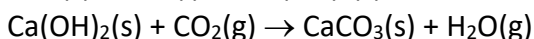
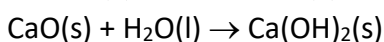
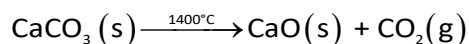
hiilidioksidi = CO_2

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

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

2.8 Räjähdysaineen reaktio

Dinitroglykoli (molekyylikaava $C_2H_4N_2O_6$) on voimakas, nestemäinen räjähdysaine, jonka täydellisessä hajoamisreaktiossa muodostuu seuraavia kaasumaisia aineita: hiilidioksidi, vesi ja typpi. Laadi reaktion yhtälö. Kuinka monta grammaa dinitroglykolia hajosi, kun muodostuneiden kaasujen kokonaisainemäärä oli 1,56 moolia? Kuinka monta grammaa kaasuseoksessa oli vettä?

Ratkaisu:

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

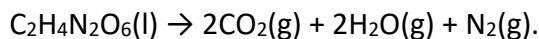
$$M(C_2H_4N_2O_6) = 152,072 \text{ g/mol}$$

$$M(H_2O) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$m(C_2H_4N_2O_6) = ?$$

$$m(H_2O) = ?$$

Dinitroglykolin hajoamisreaktion tasapainotettu reaktioyhtälö on:



Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(C_2H_4N_2O_6)}{n(\text{kaasut})} = \frac{1}{5}, \text{ joten } n(C_2H_4N_2O_6) = \frac{1}{5} \cdot n(\text{kaasut}) = \frac{1}{5} \cdot 1,56 \text{ mol} = 0,31200 \text{ mol}$$

Ratkaistaan dinitroglykolin massa.

$$\begin{aligned} m(C_2H_4N_2O_6) &= n(C_2H_4N_2O_6) \cdot M(C_2H_4N_2O_6) \\ &= 0,31200 \text{ mol} \cdot 152,072 \text{ g/mol} = 47,446 \text{ g} \approx 47,4 \text{ g} \end{aligned}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(H_2O)}{n(C_2H_4N_2O_6)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(H_2O) = 2 \cdot n(C_2H_4N_2O_6) = 2 \cdot 0,31200 \text{ mol} = 0,62400 \text{ mol}.$$

Tai:

$$\frac{n(H_2O)}{n(\text{kaasut})} = \frac{2}{5}, \text{ joten } n(H_2O) = \frac{2}{5} \cdot n(\text{kaasut}) = \frac{2}{5} \cdot 1,56 \text{ mol} = 0,62400 \text{ mol}.$$

Lasketaan vesihöyryn massa.

$$m(H_2O) = n(H_2O) \cdot M(H_2O) = 0,62400 \text{ mol} \cdot 18,016 \text{ g/mol} = 11,242 \text{ g} \approx 11,2 \text{ g}$$

2.9 Neutraloitumis- ja protonisiirtoreaktioita

Kirjoita seuraavien neutraloitumis- ja protolyysireaktioiden tasapainotetut reaktioyhtälöt ja lisää olomuotomerkinnät.

a) Rikkihapon vesiliuos reagoi kiinteän kalsiumhydroksidin kanssa.

b) Rikkihapon vesiliuos reagoi kiinteän kalsiumoksidin kanssa.

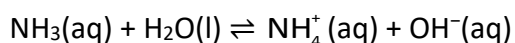
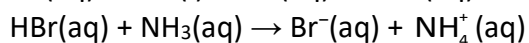
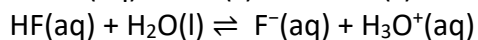
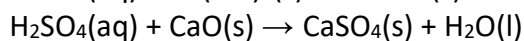
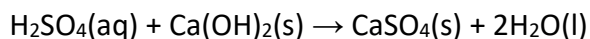
c) Vetyfluoridin vesiliuos reagoi veden kanssa.

(Käytä reaktioyhtälössä tasapainoreaktion nuolimerkintää.)

d) Vetybromidin vesiliuos reagoi ammoniakkin vesiliuoksen kanssa.

e) Ammoniakin vesiliuos reagoi veden kanssa. (Käytä reaktioyhtälössä tasapainoreaktion nuolimerkintää.)

Ratkaisu:

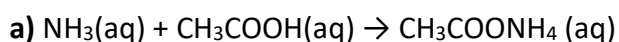


2.10 Neutraloitumisreaktioissa kuluva emäksen ainemäärä

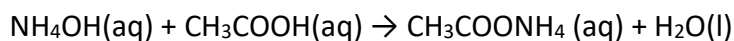
Kirjoita seuraavien neutraloitumisreaktioiden tasapainotettu reaktioyhtälö. Nimeä syntyvä suola. Ratkaise, kuinka suuri ainemäärä emästä kuluu, kun hapon ainemäärä kussakin reaktiossa on 2,0 moolia.

- Ammoniakin vesiliuos neutraloidaan etikkahapon vesiliuoksella.
- Alumiinihydroksidin vesiliuos neutraloidaan rikkihapon vesiliuoksella.
- Fosforihapon vesiliuos neutraloidaan kaliumhydroksidin vesiliuoksella.
- Propaanihapon vesiliuos neutraloidaan bariumhydroksidin vesiliuoksella.

Ratkaisu:



tai

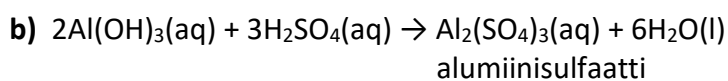


ammoniumasetaatti eli

ammoniummetaatti

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{NH}_3) \Rightarrow n(\text{happo}) = n(\text{emäs}) = 2,0 \text{ mol}$$



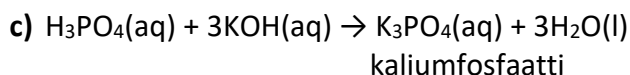
Reaktioyhtälön kertoimien mukaan

$$\frac{n(\text{Al}(\text{OH})_3)}{n(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{2}{3}$$

$$3n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 2n(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = \frac{2}{3}n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{2}{3} \cdot 2,00 \text{ mol} = 1,333 \text{ mol} \approx 1,3 \text{ mol}$$

$$n(\text{emäs}) = 1,3 \text{ mol}$$

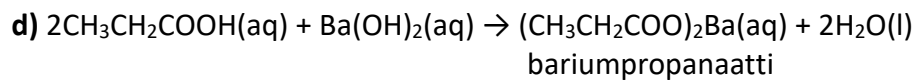


Reaktioyhtälön kertoimien mukaan

$$\frac{n(\text{KOH})}{n(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{3}{1}$$

$$n(\text{KOH}) = 3 \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot 2,0 \text{ mol} = 6,0 \text{ mol}$$

$$n(\text{emäs}) = 6,0 \text{ mol}$$



Reaktioyhtälön kertoimien mukaan

$$\frac{n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})}{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = \frac{2}{1}$$

$$2n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})$$

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2}n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) = \frac{1}{2} \cdot 2,0 \text{ mol} = 1,0 \text{ mol}$$

$$n(\text{emäs}) = 1,0 \text{ mol}$$

2.11 Neutraloitumiseen tarvittava liuostilavuus

Kuinka monta millilitraa

- a) natriumhydroksidiliuosta NaOH(aq) ($c = 0,035 \text{ mol/dm}^3$) tarvitaan neutraloimaan 10 millilitraa rikkihappoa $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$, jonka konsentraatio on $0,15 \text{ mol/dm}^3$?
- b) bariumhydroksidiliuosta $\text{Ba}(\text{OH})_2(\text{aq})$ ($c = 0,025 \text{ mol/dm}^3$) tarvitaan neutraloimaan 40 millilitraa sellaista suolahappoliuosta $\text{HCl}(\text{aq})$, joka sisältää 1,65 grammaa vetykloridia 1,0 litrassa liuosta?
- c) fosforihappoliuosta $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ ($c = 0,075 \text{ mol/dm}^3$) tarvitaan neutraloimaan 130 milligrammaa kiinteää magnesiumhydroksidia?

Ratkaisu:

- 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) $m(\text{HCl}) = 1,65 \text{ g}$
 $M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$
 $V_1(\text{HCl}) = 1,0 \text{ l} = 1,0 \text{ dm}^3$
 $V_2(\text{HCl}) = 40 \text{ ml} = 0,040 \text{ dm}^3$
 $c(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,025 \text{ mol/dm}^3$
 $V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = ?$

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

Ratkaistaan, mikä ainemäärä vetykloridia on yhdessä litrassa suolahappoa.

$$n(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{1,65 \text{ g}}{36,458 \text{ g/mol}} = 0,04526 \text{ mol}$$

Suolahapon konsentraatio on siten

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{HCl})} = 0,04526 \text{ mol/dm}^3$$

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

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl}) = 0,04526 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,040 \text{ dm}^3 = 0,001810 \text{ mol}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{n(\text{HCl})} = \frac{1}{2}, \text{ josta } n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 0,001810 \text{ mol} = 0,0009050 \text{ mol}$$

Ratkaistaan bariumhydroksidin tilavuus.

$$V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{c(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = \frac{0,0009050 \text{ mol}}{0,025 \text{ mol/dm}^3} = 0,03620 \text{ dm}^3 \approx 36 \text{ ml}$$

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 $3\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{aq}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Ratkaistaan magnesiumhydroksidin ainemäärä

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

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

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

2.12 Palamisreaktioiden reaktioyhtälöt

Kirjoita seuraavien palamisreaktioiden tasapainotetut reaktioyhtälöt. Lisää reaktioyhtälöihin kaikkien aineiden olomuotomerkinnot.

- a) Hiili reagoi hapen kanssa muodostaen hiilimonoksidia.
- b) Hiili reagoi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia.
- c) Typpi reagoi hapen kanssa muodostaen typpimonoksidia.
- d) Typpi reagoi hapen kanssa muodostaen typpidioksidia.
- e) Rikki reagoi hapen kanssa muodostaen rikkidioksidia.
- f) Etanoli reagoi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja vettä.
- g) Dimetyylieetteri reagoi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja vettä.
- h) Bentsoehappo reagoi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja vettä.

Ratkaisu:

- a) $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$
- b) $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$
- c) $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}(\text{g})$
- d) $\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$
- e) $\text{S}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g})$
- f) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- g) $\text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- h) $2\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}(\text{s}) + 15\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 14\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

2.13 Kalkkikiven ja suolahapon välinen reaktio

Katso oheinen videoleike, kirjaa havainnot ja esitä videolla näkyvien reaktioiden reaktioyhtälöt. Selitä havainnot kemiallisesti.

Ratkaisu:

Kalkkikivi reagoi voimakkaasti suolahapon kanssa. Reaktiossa vapautuu runsaasti kaasukuplia. Kaasukuplat syntyvät hiilidioksidista. Liuos näyttää valkoiselta. Valkoinen väri syntyy murenevasta kalsiumkarbonaatista, koska kalsiumkloridi liukenee hyvin veteen.

Reaktioyhtälö: $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$.

Kun kaasua johdetaan kalsiumhydroksidiliuokseen, liuokseen alkaa muodostua valkoista saostumaa. Saostuma johtuu niukkaliukoisesta kalsiumkarbonaatista.

Reaktioyhtälö: $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

2.14 Malmin nikkelpitoisuuden määrittäminen gravimetrisesti

Erään malmin nikkelpitoisuus määritettiin saostamalla malmista valmistetusta liuoksesta Ni^{2+} -ionit dimetyyliyoksiimilla, jolloin syntyi yhdistettä, jonka molekyylikaava on $\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4$. Määrittämisessä 5,0 kilogrammaa malminäytettä oli liuotettu siten, että näytteen kokonaistilavuus oli 20 litraa. Tästä liuoksesta otettiin 200 millilitran näyte, johon lisättiin ylimäärin dimetyyliyoksiimiliuosta, jolloin kaikki Ni^{2+} -ionit saostuivat. Saostuma suodatettiin, kuivatettiin ja punnittiin, jolloin sen massaksi saatiin 140 milligrammaa. Kuinka monta promillea nikkeliä malmi sisälsi?

Ratkaisu:

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

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

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

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

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

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

$$\%_o(\text{Ni}) = ?$$

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^{2+} -ioneja, joten 200 ml:n näytteessä

$$n(\text{Ni}^{2+}) = n(\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4) = 4,8456 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Koko malmiliuoksen kokonaistilavuus oli 20 litraa, joten siinä olevien Ni^{2+} -ionien ainemäärä

$$n(\text{Ni}^{2+}) = (20 \text{ dm}^3 / 0,200 \text{ dm}^3) \cdot 4,8456 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 0,048456 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan nikkeli(II)-ionien massa.

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

$$\rightarrow m(\text{Ni}) = 2,8439 \text{ g}$$

Ratkaistaan, kuinka monta promillea nikkeliä malmi sisälsi.

$$\%_o(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})}{\text{malmi}(\text{Ni})} \cdot 1\,000 = \frac{2,8439 \text{ g}}{5\,000 \text{ g}} \cdot 1\,000 = 0,5688 \% \approx 0,57 \%$$

2.15 Pohjaveden kloridi-ionipitoisuuden määrittäminen gravimetrisesti

Pohjavesinäytteen kloridi-ionipitoisuus määritettiin seuraavasti: 2,0 litran pohjavesinäyte haihdutettiin niin, että sen tilavuus oli 100 millilitraa. Tähän lisättiin hopeanitraattiliuosta, kunnes kaikki kloridi-ionit olivat saostuneet. Muodostunut hopeakloridisaostuma suodatettiin, kuivattiin ja punnittiin, jolloin sen massaksi saatiin 102 mg.

- Ratkaise pohjaveden kloridi-ionipitoisuus yksikössä mg/l.
- Miksi näyte kannatti haihduttaa pienempään tilavuuteen? Perustele vastauksesi kahdella eri tekijällä.
- Pohjavedessä voi olla liuenneena myös sulfaatti-ioneja, joita pohjaveteen voi joutua esimerkiksi kaivosteollisuuden päästöinä. Mitä epätarkkuuksia sulfaatti-ionien läsnäolo aiheuttaisi, jos kloridi-ionipitoisuus tutkittaisiin edellä kuvatulla tavalla? Perustele vastauksesi

Ratkaisu:

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

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

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

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

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

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

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

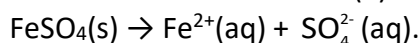
Pohjavettä oli tutkimuksessa 2,0 litraa, joten pohjaveden kloridi-ionipitoisuus yksikössä mg/l on

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

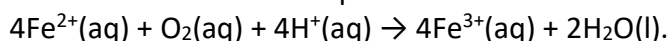
- b)** Suuren näytetilavuuden (2,0 litraa) käsittely on hankalaa. Saostuman suodatus suuresta tilavuudesta vie runsaasti aikaa. Pohjaveden kloridi-ionipitoisuus on hyvin pieni, joten haihduttamalla suurin osa vedestä pois, saadaan väkevämpi kloridi-ioniliuos. Saostuminen on täydellisempää, kun liuostilavuus on pienempi, sillä osa hopeakloridisaostumasta voi liueta suureen vesimäärään.
- c)** Kloridi-ionipitoisuudeksi saataisiin liian suuri arvo, sillä sulfaatti-ionit voisivat myös saostua niukkaliukoisena hopeasulfaattina.

2.16 Fosforiyhdisteiden poistaminen jätevedestä

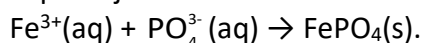
Fosfori- ja typpiyhdisteet ovat merkittäviä vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavia aineita. Niitä voidaan poistaa jätevesistä joko kemiallisesti tai biologisesti. On arvioitu, että yksi ihminen tuottaa jäteveteen 3–5 grammaa fosfaatteja vuorokaudessa. Fosforipitoisia yhdisteitä joutuu jäteveteen muun muassa ulosteiden, ruoanjätteiden ja pesuaineiden mukana. Kemiallinen fosforin poisto perustuu fosforin saostamiseen niukkaliukoisena fosfaattina. Jäteveteen lisätään tällöin ensin rauta(II)sulfaattia, joka liukenee jäteveteen seuraavasti:



Jätevedessä Fe^{2+} -ionit hapettuvat Fe^{3+} -ioneiksi seuraavasti:



Lopulta jäteveden fosfaatit saostuvat Fe^{3+} -ioneilla seuraavasti:



Eräälle jätevesipuhdistamolle tulee päivässä $15\,500\text{ m}^3$ jätevettä, jonka fosforipitoisuus fosfaatti-ioneiksi laskettuna on 22 mg/l . Kuinka monta tonnia rauta(II)sulfaattia jäteveteen tulee päivittäin lisätä, jotta fosfaatti-ionit saataisiin saostumaan 95 %:sti?

Ratkaisu:

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

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

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

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

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

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

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

Ratkaistaan, mikä massa rauta(II)sulfaattia tarvitaan.

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

2.17 Kotiviinin valmistus

Kun kotiviiniä valmistetaan, käymisreaktion seurauksena glukoosia ($C_6H_{12}O_6$) muuttuu etanoliksi. Osa glukoosista on peräisin marjoista, ja osa on lisätty ennen käymisen alkua. Etanolin muodostumista glukoosista voidaan pitää hajoamisreaktiona, jossa muodostuu lisäksi hiilidioksidia.

a) Käymisastiassa on yhteensä 2,0 kg glukoosia. Glukoosista 85 % reagoi etanoliksi. Kuinka monta kilogrammaa etanolia muodostuu?

b) Mikä on käymisen loputtua viinin alkoholipitoisuus tilavuusprosentteina, kun viinin lopputilavuus oli 11,1 l? Etanolin tiheys on $0,79 \text{ kg/dm}^3$.

c) Mikä tilavuus (m^3) hiilidioksidia vapautuu, jos hiilidioksidin tiheydeksi oletetaan $1,9 \text{ kg/m}^3$?

Ratkaisu:

$$\begin{aligned} \text{a) } m(C_6H_{12}O_6) &= 2,0 \text{ kg} = 2\,000 \text{ g} \\ M(C_6H_{12}O_6) &= 180,156 \text{ g/mol} \\ M(CH_3CH_2OH) &= 46,068 \text{ g/mol} \\ m(CH_3CH_2OH) &= ? \end{aligned}$$

Käymisreaktion reaktioyhtälö on $C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2CH_3CH_2OH(aq) + 2CO_2(g)$.

Ratkaistaan, mikä massa glukoosia muuttuu etanoliksi.

$$m(C_6H_{12}O_6) = 0,85 \cdot 2\,000 \text{ g} = 1\,700 \text{ g}$$

Ratkaistaan etanoliksi muuttuvan glukoosin ainemäärä.

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} = \frac{1\,700 \text{ g}}{180,156 \text{ g/mol}} = 9,436 \text{ mol}$$

Etanolin käymisreaktion reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(CH_3CH_2OH)}{n(C_6H_{12}O_6)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(CH_3CH_2OH) = 2 \cdot n(C_6H_{12}O_6) = 2 \cdot 9,436 \text{ mol} = 18,87 \text{ mol}$$

Muodostuvan etanolin massa on

$$\begin{aligned} m(CH_3CH_2OH) &= n(CH_3CH_2OH) \cdot M(CH_3CH_2OH) \\ &= 18,87 \text{ mol} \cdot 46,068 \text{ g/mol} = 869,3 \text{ g} \approx 0,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) $m(CH_3CH_2OH) = 869,3 \text{ g} = 0,8693 \text{ kg}$ (kohdan a) välituloksen tarkkuudella)

$$\rho(CH_3CH_2OH) = 0,79 \text{ kg/dm}^3$$

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

$$\text{til-\%}(CH_3CH_2OH) = ?$$

Ratkaistaan 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

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

Etanolin osuus tilavuusprosentteina on

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

c) $n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 9,436 \text{ mol}$ (kohdan a) välituloksen tarkkuudella)

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

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

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

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

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ josta } V = \frac{m}{\rho}.$$

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

2.18 Puhdistusaineen ammoniakkipitoisuuden määrittäminen titrauksella

Eräs kodin emäksinen puhdistusaine sisältää ammoniakkia. Pullossa onkin tämän vuoksi seuraavat varoitusmerkinnät:



Puhdistusaineen ammoniakkipitoisuus määritettiin seuraavasti: 25,37 grammaa puhdistusainetta liuotettiin veteen siten, että näyteliuoksen kokonaistilavuudeksi tuli 250 cm³. Tästä liuoksesta otettiin täyspipetillä 10,0 millilitran näyte happo-emästitraukseen. Näytteen joukkoon lisättiin vielä pari pisaraa fenoliftaleiiniliuosta. Kun näyte titrattiin, havaittiin, että ekvivalenttipisteessä rikkihappoa oli kulunut 37,3 millilitraa. Ratkaise puhdistusaineen ammoniakkipitoisuus massaprosentteina. Titraukseen käytetyn rikkihapon konsentraatio oli 0,036 mol/dm³. Miksi näytteen joukkoon lisättiin fenoliftaleiiniliuosta? Pohdi, voidaanko näyteliuos titrauksen jälkeen huuhtoa viemäriin.

Ratkaisu:

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

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

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

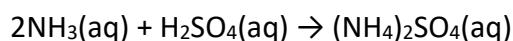
$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,036 \text{ mol/dm}^3$$

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

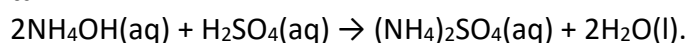
$$M(\text{NH}_3) = 17,034 \text{ g/mol}$$

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

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 ammoniakin 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 ammoniakin kokonaismassa tässä tilavuudessa on $25 \cdot 0,04575 \text{ g} = 1,144 \text{ g}$

Lasketaan ammoniakkin osuus massaprosentteina

$$m - \%(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{näyte})} \cdot 100\% = \frac{1,144 \text{ g}}{25,37 \text{ g}} \cdot 100\% = 4,509\% \approx 4,5\%.$$

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

Näyteliuoksessa on titrauksen jälkeen ammoniumsulfaattisuolaa ja vettä. Ammoniumsulfaatti on lievästi vesistöä vaarantava. Ammoniumsulfaatin käyttöturvallisuustiedotteen mukaan sen pääsy laimentamattomana tai suurina määrinä pohjaveteen, vesistöihin ja viemäristöön tulee estää. Käyttöturvallisuustiedotteen mukaan fenoliftaleiini ärsyttää ihoa, saattaa aiheuttaa syöpää ja sen epäillään aiheuttavan perimävaurioita ja heikentävän hedelmällisyyttä.

Fenoliftaleiinia käytetään titrauksessa vain muutama tippa, joten altistumisriski on erittäin vähäinen. Kerätään näyteliuos erilliseen jättepulloon titrauksen jälkeen.

2.19 Natriumkarbonaatin pitoisuuden määrittäminen titrauksella

Kemian luokan pöydällä oli kellolasilla valkoista jauhetta, jonka tiedettiin olevan natriumkarbonaatin ja natriumkloridin seos. Saadakseen selville, kuinka paljon natriumkarbonaattia seoksessa oli, opiskelija punnitsi jauhetta 2,898 grammaa ja liuotti sen noin 50 millilitraan vettä. Tämän jälkeen hän lisäsi näytteeseen 45 millilitraa suolahappoa, jonka konsentraatio oli $2,0 \text{ mol/dm}^3$, jolloin kaikki natriumkarbonaatti hajosi hiilidioksidiksi, vedeksi ja natriumkloridiksi. Kun hän tämän jälkeen titrasi näyteliuoksen, titrauksessa kului 19 millilitraa natriumhydroksidiliuosta, jonka konsentraatio oli $3,0 \text{ mol/dm}^3$. Ratkaise, mikä oli natriumkarbonaatin osuus massaprosentteina seoksessa. Selitä, miksi näytteen liuottamiseen käytetyn veden tilavuutta ei tarvitse tietää tarkalleen.

Ratkaisu:

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

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

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

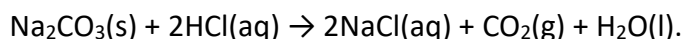
$$V(\text{NaOH}) = 19 \text{ ml} = 0,019 \text{ dm}^3$$

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

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

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

Seoksen natriumkarbonaatti reagoi suolahapon kanssa seuraavasti:



Näytteeseen lisätyn suolahapon kokonaisainemäärä on

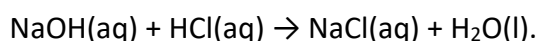
$$n(\text{HCl})_{\text{lisätty}} = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 2,0 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,045 \text{ dm}^3 = 0,09000 \text{ mol}.$$

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

$$\begin{aligned} m - \%(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl})} \cdot 100\% \\ &= \frac{1,749 \text{ g}}{2,898 \text{ g}} \cdot 100\% \\ &= 60,35\% \approx 60\% \end{aligned}$$

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

2.20 Kalsiumkarbonaatin määrittäminen kananmunankuoresta takaisintitrauksella

Terve ja vahva kananmunan kuori voi sisältää jopa 90 % kalsiumkarbonaattia. Vahva kuori on välttämätön suoja linnunpoikaselle kuoren sisällä. Jotkut ympäristöön kulkeutuneet kemikaalit aiheuttavat muun muassa linnunpoikasten myöhäisempää kuoriutumista ja munien määrän pienenemistä. Diklooridifenyyli-trikloorietaanin (DDT) on todettu ohentavan munankuoria ravintoketjun huipulla. Heikommat munankuoret murtuvat hautovien emolintujen painosta ja linnunpoikaset kuolevat ennen aikaansa. Suomessa merikotkien ja muuttohaukkojen tiedetään kärsineen tästä. DDT on tehokas hyönteismyrkky, jolla saatiin malariaa levittäviä hyönteisiä tapettua tehokkaasti. Myöhemmin huomattiin DDT:n käytön olevan vahingollista linnuille ja eläimille. Suomessa DDT:n käyttö kiellettiin 1970-luvulla. Kalsiumkarbonaatin pitoisuus munankuoreissa voidaan määrittää takaisintitrauksella. Takaisintitraus tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että ensin kalsiumkarbonaatti reagoi hapon (suolahapon) kanssa. Happoa lisätään ylimäärin, jotta varmasti kaikki kalsiumkarbonaatti reagoi. Kun reaktio on tapahtunut, titrataan ylimääräinen happo emäksellä (natriumhydroksidilla). Natriumhydroksidititrauksella saadaan selville, kuinka paljon ylimääräistä happoa on lisätty kalsiumkarbonaatin joukkoon.



Suolahappo reagoi sekä kalsiumkarbonaatin että natriumhydroksidin kanssa.

Katso takaisintitraustyö videolta. Merkitse muistiin havainnot ja mittaustulokset.

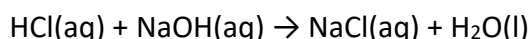
- Määritä mittaustulosten perusteella kananmunankuoren kalsiumkarbonaatin pitoisuus massaprosenteina. Mitä havaintoja teit työstä?
- Mitä voit päätellä kananmunankuoren vahvuudesta?
- Mitkä tekijät voivat vaikuttaa tuloksen luotettavuuteen?
- Miksi kalsiumkarbonaatin pitoisuutta ei määritetä titraamalla sitä suoraan suolahapolla?

Ratkaisu:

a) Kirjoitetaan ensin kalsiumkarbonaatin ja suolahapon välisen hajoamisreaktion tasapainotettu reaktioyhtälö.



Kirjoitetaan myös suolahapon ja natriumhydroksidin välisen neutraloitumisreaktion tasapainotettu reaktioyhtälö.



Lasketaan happo-emästitrauksen perusteella, kuinka monta moolia suolahappoa on reagoinut natriumhydroksidin kanssa. Tätä nimitetään suolahapon ylimääräksi, koska suolahappoa lisättiin kalsiumkarbonaatin sekaan enemmän kuin mitä happoa reagoi kalsiumkarbonaatin kanssa.

HCl:n ylimäärän eli natriumhydroksidin kanssa reagoineen suolahapon määrän laskeminen

$$\begin{aligned}c(\text{NaOH}) &= 0,1709 \text{ mol/l} \\V(\text{NaOH, alkulukema}) &= 0,00 \text{ ml} \\V(\text{NaOH, loppulukema}) &= 42,00 \text{ ml}\end{aligned}$$

Natriumhydroksidin kulutus on
 $V(\text{NaOH}) = 0,04200 \text{ l}$.

Reaktioyhtälön kertoiminen mukaan suolahapon ainemäärä on

$$\begin{aligned}n(\text{HCl}) &= n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \\&= 0,1709 \text{ mol/l} \cdot 0,042 \text{ l} \\&= 7,1778 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.\end{aligned}$$

Kalsiumkarbonaatin kanssa reagoineen suolahapon määrä

Lasketaan suolahapon kokonaisainemäärä

$$\begin{aligned}V(\text{HCl}) &= 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ l} \\c(\text{HCl}) &= 1,020 \text{ mol/l}\end{aligned}$$

Suolahapon kokonaisainemäärä on

$$n(\text{HCl}) = 1,020 \text{ mol/l} \cdot 0,025 \text{ l} = 2,550 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Kananmunan kuoren kanssa reagoineen suolahapon ainemäärä on

$$\begin{aligned}n(\text{HCl}) &= n(\text{HCl, kokonaisainemäärä}) - n(\text{HCl, NaOH:n kanssa reagoi}) \\&= 2,550 \cdot 10^{-2} \text{ mol} - 7,178 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\&= 1,832 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\end{aligned}$$

Kalsiumkarbonaatin ainemäärä näytteessä

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan kalsiumkarbonaatin ainemäärä on

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 1,832 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 9,160 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Kalsiumkarbonaatin massaprosenttinen osuus kananmunan kuoressa.

Lasketaan kalsiumkarbonaatin massa

$$\begin{aligned}m(\text{munankuori}) &= 1,001 \text{ g} \\M(\text{CaCO}_3) &= 100,09 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

Kalsiumkarbonaatin massa on

$$\begin{aligned}m(\text{CaCO}_3) &= n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) \\ &= 9,160 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 100,09 \text{ g/mol} \\ &= 0,9168 \text{ g}\end{aligned}$$

Kalsiumkarbonaattia on munankuoressa massaprosentteina

$$m - \%(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{munankuori})} \cdot 100\% = \frac{0,9168\text{g}}{1,001\text{g}} \cdot 100\% = 91,59\% \approx 92\%.$$

Havainnot: suolahappo on kirkas väritön liuos, munankuori on valkoista kiinteää ainetta.

Suolahappo reagoi munankuoren kanssa, munankuoren osia häviää näkyvistä.

Lämmityksen jälkeen erlenmeyerin reunoilla on vähän valkoista kiinteää ainetta (proteiinia munankuoressa).

Bromitymolisininen lisäys sai liuoksen muuttumaan keltaisen väriseksi. (Bromitymolisininen on keltainen happamissa olosuhteissa.)

Titrauksen ekvivalenttipisteessä liuos on haalean sininen, bromitymolisininen on vaihtanut väriä.

b) Kalsiumkarbonaattimäärän perusteella kyseessä on vahva (terve) munankuori.

c) Tuloksen luotettavuuteen voivat vaikuttaa seuraavat tekijät:

- munankuori ei ole täysin liuennut happoon
- munankuori ei ollut täysin kuiva
- titrauksen päätepiste havaitaan liian myöhään
- titraus suoritettiin ekvivalenttipisteen kohdalla nopeasti, jolloin päätepiste havaitaan virheellisesti (emäksen kulutus liian suuri)
- käytetyn natriumhydroksidin konsentraatio ei ole aivan tarkka
- käytetyn suolahapon konsentraatio ei ole aivan tarkka
- kananmunan kuoressa jokin toinen ainesosa reagoi myös suolahapon kanssa (lisää emäksen kulutusta).

d) – Kananmunankuori liukenee hitaasti suolahappoon, jolloin titraus kestää pitkään.

– Kananmunankuori ei välttämättä liukene laimeaan suolahappoon, joten happoa joutuu lisäämään enemmän kuin stoikiometrinen suhde edellyttää.

– Reaktiossa muodostuu kaasukuplia (vapautuva CO_2), jotka häiritsevät titrauksen päätepisteen havaitsemista.

– Kaksi nestettä reagoivat paremmin keskenään kuin neste ja kiinteä aine. Nesteet pystyvät sekoittumaan ja reagoimaan paremmin kuin kiinteä aine ja neste. Kiinteän aineen tapauksessa reaktio tapahtuu kiinteän aineen ja nesteen rajapinnalla.