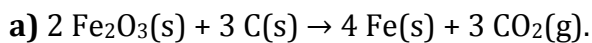


## Jakso 0. Materiaalit ja teknologia

9. Rautaa voidaan puhdistaa pelkistämällä sitä rauta(III)oksidista alkuainehiilen avulla. Raudan lisäksi reaktiossa muodostuu hiilidioksidia.

- a) Kirjoita tapahtumaa kuvaava tasapainotettu reaktioyhtälö olomuodon symboleineen.  
b) Laske, kuinka monta grammaa hiiltä tarvitaan pelkistämään 1,2 kg rauta(III)oksidia raudaksi.  
c) Laske, mikä tilavuus hiilidioksidia tällöin muodostuu NTP-oloissa.

### Ratkaisu



b)

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1,2 \text{ kg} = 1\,200 \text{ g}$$

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

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

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

Lasketaan rauta(III)oksidin ainemäärä:

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{1\,200 \text{ g}}{159,70 \text{ g/mol}} = 7,514 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien perusteella:

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{3}{2} \Rightarrow n(\text{C}) = \frac{3}{2} \cdot n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{3}{2} \cdot 7,514 \text{ mol} = 11,27 \text{ mol.}$$

Tarvittava hiilen massa on:

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 11,27 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 135,4 \text{ g} \approx 140 \text{ g.}$$

c)

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 7,514 \text{ mol (kohdasta a)}$$

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

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

Tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien perusteella:

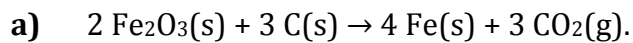
$$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{3}{2} \Rightarrow n(\text{CO}_2) = \frac{3}{2} \cdot n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{3}{2} \cdot 7,514 \text{ mol} = 11,27 \text{ mol.}$$

Hiilidioksidin tilavuus saadaan ratkaistua suureyhtälöstä:

$$n = \frac{V}{V_m}, \text{ josta}$$

$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = 11,27 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 252,6 \text{ dm}^3 \approx 250 \text{ dm}^3.$$

**Vastaus:**



b)  $m(\text{C}) = 140 \text{ g}.$

c)  $V(\text{CO}_2) = 250 \text{ dm}^3.$

**10.** Deodoranteissa, erityisesti antiperspiranteissa, on käytetty erilaisia alumiinisuoloja, joiden tehtävänä on supistaa hikirauhasten tiehyitä ja vähentää siten hien erityistä. Eräs tällainen suola on alumiinikloridi, jonka käytöstä luovuttiin, koska se ärsytti monien käyttäjien ihoa ja aiheutti vaatteisiin vaikeasti puhdistettavia tahroja. Ratkaise, kuinka monta grammaa alumiinikloridia syntyy, kun 18,0 grammaa alumiinia ja 16,0 grammaa klooria reagoivat.

**Ratkaisu:**

$$m(\text{Al}) = 18,0 \text{ g}$$

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

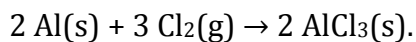
$$m(\text{Cl}_2) = 16,0 \text{ g}$$

$$M(\text{Cl}_2) = 70,90 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{AlCl}_3) = 133,33 \text{ g/mol}$$

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

Tasapainotettu reaktioyhtälö on:



Lasketaan kummankin lähtöaineen ainemäärä, jotta saadaan selville reaktion rajoittava tekijä:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{18,0 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} = 0,66716 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{m(\text{Cl}_2)}{M(\text{Cl}_2)} = \frac{16,0 \text{ g}}{70,90 \text{ g/mol}} = 0,22567 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella  $\frac{n(\text{Cl}_2)}{n(\text{Al})} = \frac{3}{2}$ .

Jotta kaikki alumiini reagoisi, tarvittava kloorin ainemäärä on:

$$\frac{3}{2} \cdot n(\text{Al}) = \frac{3}{2} \cdot 0,66716 \text{ mol} = 1,0007 \text{ mol.}$$

Klooria on käytettävissä vain 0,22567 moolia, joten se on reaktion rajoittava tekijä. Ratkaistaan muodostuvan alumiinikloridin ainemäärä kloorin ainemäärän avulla. Reaktioyhtälön kertoimien perusteella:

$$\frac{n(\text{AlCl}_3)}{n(\text{Cl}_2)} = \frac{2}{3}, \text{ josta}$$

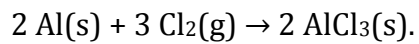
$$n(\text{AlCl}_3) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{Cl}_2) = \frac{2}{3} \cdot 0,22567 \text{ mol} = 0,15045 \text{ mol}.$$

Muodostuvan alumiinikloridin massa on:

$$m(\text{AlCl}_3) = n(\text{AlCl}_3) \cdot M(\text{AlCl}_3) = 0,15045 \text{ mol} \cdot 133,33 \text{ g/mol} = 20,059 \text{ g} \approx 20,1 \text{ g}.$$

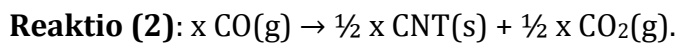
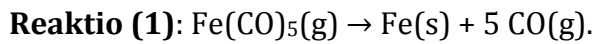
**Vastaus:**

Reaktioyhtälö on:



$$m(\text{AlCl}_3) = 20,1 \text{ g}.$$

**11.** Lyhenne CNT tulee sanoista *carbon nanotube*. Tällaisia hiilinanoputkia voidaan valmistaa niin sanotulla HIPCO-menetelmällä. Lyhenne HIPCO puolestaan tulee sanoista *high pressure carbon monoxide*. HIPCO-menetelmä hyödyntää seuraavia reaktioita:



Hiilinanoputken kasvaminen atomi atomilta tapahtuu reaktiossa **(1)** muodostuneen raudan pinnalla. Tyypillisessä nanoputkessa on 3 000 hiiliatomia. Ratkaise, mikä tilavuus hiilimonoksidia (NTP-oloissa) tarvitaan tällaisen nanoputken valmistamiseksi. Mikä on valmistetun nanoputken massa?

**Ratkaisu:**

$$N(\text{C}) = 3\,000 \text{ kpl}$$

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

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

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

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

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

Ratkaistaan hiiliatomien ainemäärä suureyhtälöstä:

$$n = \frac{N}{N_A}, \text{ joten } n(\text{C}) = \frac{3\,000 \text{ kpl}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ kpl/mol}} = 4,98173 \cdot 10^{-21} \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön **(2)** perusteella:

$$\frac{n(\text{CO})}{n(\text{CNT})} = \frac{1}{\frac{1}{2}} \Rightarrow n(\text{CO}) = 2 \cdot n(\text{CNT}), \text{ joten}$$

$$n(\text{CO}) = 2 \cdot 4,98173 \cdot 10^{-21} \text{ mol} = 9,96346 \cdot 10^{-21} \text{ mol.}$$

Ratkaistaan hiilimonoksidin tilavuus suureyhtälöstä:

$$n = \frac{V}{V_m}, \text{ josta } V(\text{CO}) = n(\text{CO}) \cdot V_m$$

$$\Rightarrow V(\text{CO}) = 9,96346 \cdot 10^{-21} \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 2,23281 \cdot 10^{-19} \text{ dm}^3 \approx 2,233 \cdot 10^{-19} \text{ dm}^3.$$

Nanoputken massa on:

$$m(\text{CNT}) = n(\text{CNT}) \cdot M(\text{C}) = 4,98173 \cdot 10^{-21} \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 5,98306 \cdot 10^{-20} \text{ g} \approx 5,983 \cdot 10^{-20} \text{ g}.$$

**Vastaus:**

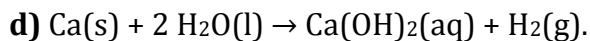
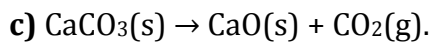
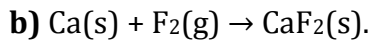
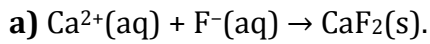
$$V(\text{CO}) = 2,233 \cdot 10^{-19} \text{ dm}^3$$

$$m(\text{CNT}) = 5,983 \cdot 10^{-20} \text{ g}.$$

## Jakso 2 Hapettumis-pelkistymisreaktiot ja sähkökemian

### Luku 2.1 Hapetusluku ja reaktioyhtälöiden tasapainottaminen

2.4 Missä seuraavista reaktioista kalsium hapettuu? Perustele vastauksesi hapetuslukumuutoksen avulla.



#### Ratkaisu:

a)

Kalsiumin hapetusluku lähtöaineessa on +II.

Kalsiumin hapetusluku reaktiotuotteessa on +II.

Kalsium ei hapetu, sillä hapetusluku ei muutu.

b)

Kalsiumin hapetusluku lähtöaineessa on 0.

Kalsiumin hapetusluku reaktiotuotteessa on +II.

Kalsium hapettuu, sillä hapetusluku kasvaa.

c)

Kalsiumin hapetusluku lähtöaineessa on +II.

Kalsiumin hapetusluku reaktiotuotteessa on +II.

Kalsium ei hapetu, sillä hapetusluku ei muutu.

d)

Kalsiumin hapetusluku lähtöaineessa on +0.

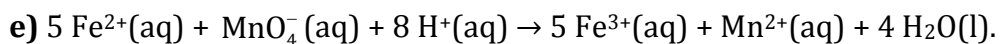
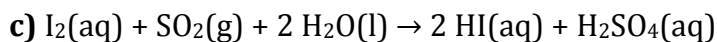
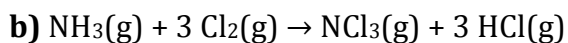
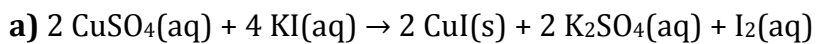
Kalsiumin hapetusluku reaktiotuotteessa on +II.

Kalsium hapettuu, sillä hapetusluku kasvaa.

#### Vastaus:

Kalsium hapettuu reaktioissa **b)** ja **d)**. Molemmissa reaktioissa kalsiumin hapetusluku kasvaa.

2.5 Ratkaise hapetuslukumuutosten avulla, mikä alkuaine hapettuu ja mikä pelkistyy seuraavissa reaktioissa:



**Ratkaisu:**

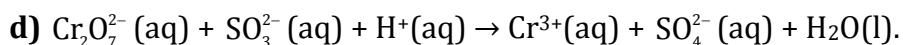
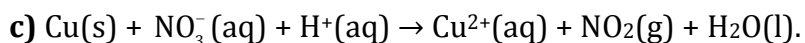
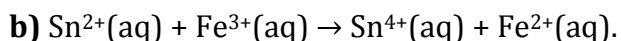
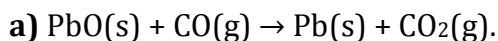
	Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa
a)	Cu	+II	+I (hapetusluku pienenee; pelkistyy)
	S	+VI	+VI
	O	-II	-II
	K	+I	+I
	I	-I	0 (hapetusluku kasvaa; hapettuu)
			-I (ei muutosta)
b)	N	-III	+III (hapetusluku kasvaa; hapettuu)
	H	+I	+I
	Cl	0	-I (hapetusluku pienenee; pelkistyy)
c)	I	0	-I (hapetusluku pienenee; pelkistyy)
	S	+IV	+VI (hapetusluku kasvaa; hapettuu)
	O	-II	-II
	H	+I	+I
d)	Mn	+IV	+II (hapetusluku pienenee; pelkistyy)
	O	-II	-II
	H	+I	+I
	Cl	-I	-I
			0 (hapetusluku kasvaa; hapettuu)
e)	Fe	+II	+III (hapetusluku kasvaa; hapettuu)
	Mn	+VII	+II (hapetusluku pienenee; pelkistyy)
	O	-II	-II
	H	+I	+I



**Vastaus:**

- a) jodi hapettuu;  $-I \rightarrow 0$   
kupari pelkistyy;  $+II \rightarrow +I$
- b) typpi hapettuu;  $-III \rightarrow +III$   
kloori pelkistyy;  $0 \rightarrow -I$
- c) rikki hapettuu;  $+IV \rightarrow +VI$   
jodi pelkistyy;  $0 \rightarrow -I$
- d) kloori hapettuu;  $-I \rightarrow 0$   
mangaani pelkistyy;  $+IV \rightarrow +II$
- e) rauta hapettuu;  $+II \rightarrow +III$   
mangaani pelkistyy;  $+VII \rightarrow +II$

**2.6** Tasapainota reaktioyhtälöt hapetuslukujen avulla. Tarkista ionireaktioissa, että sähkövarausten (ionien varausten) summa on yhtä suuri lähtöaineissa ja reaktiotuotteissa.



**Ratkaisu:**

a)

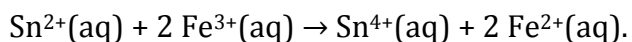
Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Pb	+II	0	pelkistyy	2
C	+II	+IV	hapettuu	2
O	-II	-II	ei muutosta	

Koska luovutettujen ja vastaanotettujen elektronien määrä on kaksi, tasapainotettu reaktioyhtälö on  $\text{PbO(s)} + \text{CO(g)} \rightarrow \text{Pb(s)} + \text{CO}_2\text{(g)}$ .

b)

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Sn	+II	+IV	hapettuu	2
Fe	+III	+II	pelkistyy	1

Jotta luovutettujen ja vastaanotettujen elektronien määrä on sama, laitetaan rauta-ionien eteen kertoimeksi kaksi. Tasapainotettu reaktioyhtälö on:



Sähkövarausten tarkistus:

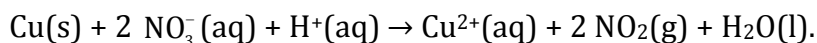
Lähtöaineet:  $1 \cdot (2+) + 2 \cdot (3+) = 8+$

Reaktiotuotteet:  $1 \cdot (4+) + 2 \cdot (2+) = 8+$

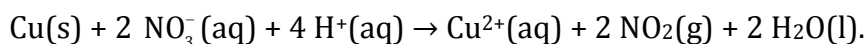
c)

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Cu	0	+II	hapettuu	2
N	+V	+IV	pelkistyy	1
O	-II	-II	ei muutosta	
H	+I	+I	ei muutosta	

Tasapainotetaan luovutettujen ja vastaanotettujen elektronien määrä laittamalla kerroin kaksi nitraatti-ionin ja typpidioksidin eteen. Tässä vaiheessa reaktioyhtälö on:



Kun vielä täsmätään vedyn ja hapen kertoimet, tasapainotetuksi reaktioyhtälöksi saadaan:



Sähkövarausten tarkistus:

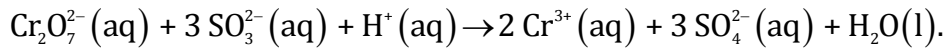
$$\text{Lähtöaineet: } 2 \cdot (1-) + 4 \cdot (1+) = 2+$$

$$\text{Reaktiotuotteet: } 1 \cdot (2+) = 2+$$

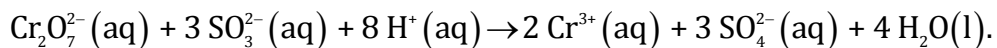
d)

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Cr	+VI	+III	pelkistyy	3
O	-II	-II	ei muutosta	
S	+IV	+VI	hapettuu	2
H	+I	+I	ei muutosta	

Koska dikromaatti-ionissa  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  on kaksi kromiatomia, jotka kumpikin pelkistyvät  $\text{Cr}^{3+}$ -ioneiksi, tarvitaan tähän pelkistymiseen yhteensä kuusi elektronia. Lähtöaineena olevan sulfiitti-ionin  $\text{SO}_3^{2-}$  ja reaktiotuotteena muodostuvan sulfaatti-ionien  $\text{SO}_4^{2-}$  eteen tulee siksi kerroin 3. Tässä vaiheessa reaktioyhtälö on:



Kun vielä täsmätään hapen ja vedyn kertoimet, tasapainotetuksi reaktioyhtälöksi saadaan:



Sähkövarausten tarkistus:

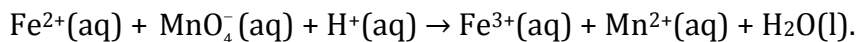
$$\text{Lähtöaineet: } 1 \cdot (2-) + 3 \cdot (2-) + 8 \cdot (1+) = 0$$

$$\text{Reaktiotuotteet: } 2 \cdot (3+) + 3 \cdot (2-) = 0$$

**Vastaus:**

- a)  $\text{PbO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
- b)  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2 \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- c)  $\text{Cu}(\text{s}) + 2 \text{NO}_3^-(\text{aq}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{NO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- d)  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 3 \text{SO}_3^{2-}(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l}).$

**2.7** Raudanpuutosanemiaan tarkoitetut tuotteet sisältävät usein kidevedetöntä rauta(II)sulfaattia. Tuotteen rautaionipitoisuus saadaan selville hapetus-pelkistytitrauksella, kun hapettimena käytetään permanganaatti-ioneja sisältävää liuosta seuraavan tasapainottamattoman reaktioyhtälön mukaisesti:



**a)** Tasapainota reaktioyhtälö hapetuslukujen avulla.

**b)** Selitä, mitä reaktioyhtälöön merkitty  $\text{H}^{+}(\text{aq})$  tarkoittaa.

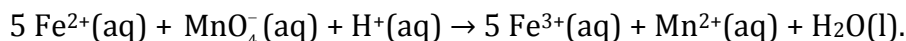
**c)** Ratkaise rauta(II)-ionien määrä (milligrammoina) sellaisessa rautatablettinäytteessä, jonka hapetus-pelkistytitrauksessa kului 8,20 millilitraa hapanta kaliumpermanganaattiliuosta ( $c = 0,0200 \text{ mol/dm}^3$ ).

**Ratkaisu:**

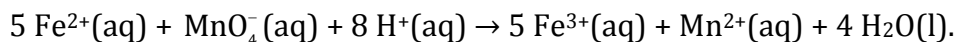
**a)**

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Fe	+II	+III	hapettuu	1
Mn	+VII	+II	pelkistyy	5
H	+I	+I	ei muutosta	
O	-II	-II	ei muutosta	

Tasapainotetaan siirtyvien elektronien määrä:



Tasapainotetaan muut atomit:



Tarkistetaan sähkövarausten summa:

lähtöaineet:  $5(2+) + (1-) + 8(1+) = 17+$

reaktiotuotteet:  $5(3+) + 1(2+) = 17+$

**b)**  $\text{H}^+(\text{aq})$  tarkoittaa hapanta vesiliuosta.

**c)**

$$c(\text{KMnO}_4) = 0,0200 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{KMnO}_4) = 8,20 \text{ ml} = 0,0820 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Fe}^{2+}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

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

$$n(\text{MnO}_4^-) = n(\text{KMnO}_4) = c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4)$$

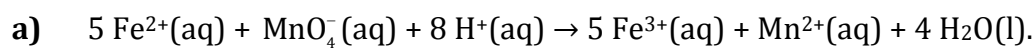
$$= 0,0200 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0820 \text{ dm}^3 = 1,6400 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot n(\text{MnO}_4^-) = 5 \cdot 1,6400 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 8,2000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m(\text{Fe}^{2+}) = n(\text{Fe}^{2+}) \cdot M(\text{Fe}^{2+}) = 8,2000 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g/mol} = 0,45797 \text{ g} \approx 458 \text{ mg.}$$

**Vastaus:**

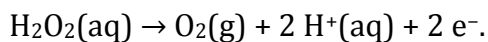


**b)**  $\text{H}^+(\text{aq})$  tarkoittaa hapanta vesiliuosta.

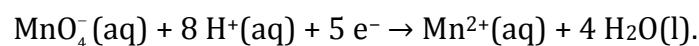
**c)**  $m(\text{Fe}^{2+}) = 458 \text{ mg.}$

**2.8** Vetyperoksidiliuoksen pitoisuus voidaan määrittää hapetus-pelkistytitrauksella käyttämällä hapettimena kaliumpermanganaattiliuosta. Hapettumista ja pelkistymistä kuvaavat osareaktiot ovat:

Hapen hapettuminen vetyperoksidista:



Mangaanin pelkistyminen permanganaatti-ionista happamassa liuoksessa:



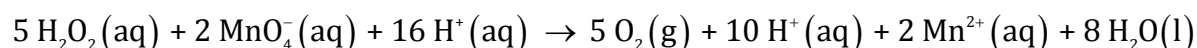
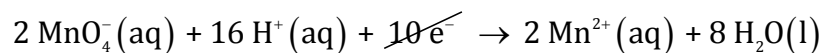
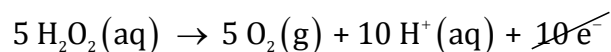
**a)** Laadi hapettumis-pelkistymistapahtuman kokonaisreaktion reaktioyhtälö.

**b)** Opiskelija valmisti tutkittavasta vetyperoksidiliuoksesta laimennoksen pipetoimalla sitä täyspipetillä 10 millilitraa ja laimentamalla sen 100 millilitraksi mittapullossa. Näin valmistetusta laimennoksesta hän pipetoi tarkasti 25 millilitran näytteen, jonka hän titransi kaliumpermanganaattiliuoksella ( $c = 0,25 \text{ mol/dm}^3$ ). Titrauksen päätepisteessä kaliumpermanganaattiliuosta oli kulunut 30 millilitraa. Ratkaise alkuperäisen vetyperoksidiliuoksen konsentraatio.

**Ratkaisu:**

**a)**

Siirtyvien elektronien lukumäärä saadaan samaksi, kun hapettumista kuvaava osareaktio kerrotaan viidellä ja pelkistymistä kuvaava osareaktio kahdella. Kirjoitetaan nämä osareaktiot allekkain ja laaditaan niiden avulla kokonaisreaktion yhtälö seuraavasti:



Tarkistetaan vielä, että sähkövarausten summa on yhtä suuri molemmilla puolilla reaktioyhtälöä:

$$\text{Lähtöaineet: } 2 \cdot (1-) + 16 \cdot (1+) = 14+$$

$$\text{Reaktiotuotteet: } 10 \cdot (1+) + 2 \cdot (2+) = 14+$$

**b)**

$$V_{\text{laimennettu}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{KMnO}_4) = 0,25 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{KMnO}_4) = 30 \text{ ml} = 0,030 \text{ dm}^3$$

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

Titrauksessa kuluneiden permanganaatti-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{MnO}_4^-) = n(\text{KMnO}_4) = c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) = 0,25 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,030 \text{ dm}^3 = 7,500 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O}_2)}{n(\text{MnO}_4^-)} = \frac{5}{2} \Rightarrow n(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{5}{2} \cdot n(\text{MnO}_4^-) = \frac{5}{2} \cdot 7,500 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,875 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

Laimennetun vetyperoksidiliuoksen konsentraatio on:

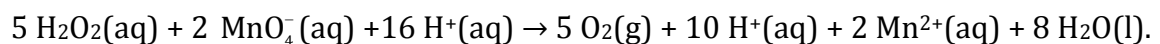
$$c_{\text{laimennettu}}(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{n_{\text{laimennettu}}(\text{H}_2\text{O}_2)}{V_{\text{laimennettu}}(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{1,875 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,025 \text{ dm}^3} = 0,7500 \text{ mol/dm}^3.$$

Alkuperäisen vetyperoksidiliuoksen konsentraatio on kymmenkertainen (laimennettu 10 millilitraa 100 millilitraksi), joten

$$c_{\text{alkuperäinen}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 10 \cdot 0,7500 \text{ mol/dm}^3 = 7,500 \text{ mol/dm}^3 \approx 7,5 \text{ mol/dm}^3.$$

**Vastaus:**

**a)** Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



**b)**  $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 7,5 \text{ mol/dm}^3$



**2.9** Hopea saadaan liukenemaan laimeaan typpihappoliuokseen seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



**a)** Tasapainota reaktioyhtälö hapetuslukujen avulla.

**b)** Ratkaise, mikä tilavuus (NTP-oloissa) typpimonoksidia muodostuu, kun 120 milligrammaa hopeaa liuotetaan ylimäärään typpihappoa.

**Ratkaisu:**

**a)**

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Ag	0	+I	hapettuu	1
H	+I	+I	ei muutosta	
N	+V	+V (hopeanitraatissa)	ei muutosta	
N	+V	+II (typpimonoksidissa)	pelkistyy	3
O	-II	-II	ei muutosta	

Kun osa typpihapon typpiatomeista pelkistyy typpimonoksidiksi, tarvitaan kolme elektronia yhtä typpiatomia kohden. Samalla kolmen hopea-atomia on hapetettava. Elektronien tasapainotusta varten lisätään hopean ja hopeanitraatin kertoimiksi kolme. Tässä vaiheessa reaktioyhtälö on:



Muiden atomien tasapainotusta varten lisätään kertoimet typpihapon ja veden eteen. Koska osa typpiatomeista ei pelkisty (typpihapon nitraatti-ionit ovat hopeanitraatissa), tulee typpihapon kertoimeksi laittaa neljä. Vety- ja loput happiatomit saadaan tasapainotettua, kun veden kertoimeksi laitetaan kaksi. Lopullinen reaktioyhtälö on:



**b)**

$$m(\text{Ag}) = 120 \text{ mg} = 0,120 \text{ g}$$

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

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

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

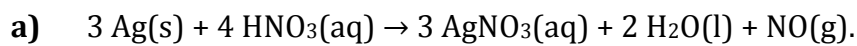
$$n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} = \frac{0,120 \text{ g}}{107,87 \text{ g/mol}} = 1,1125 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{NO})}{n(\text{Ag})} = \frac{1}{3} \Rightarrow n(\text{NO}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{Ag}) = \frac{1}{3} \cdot 1,1125 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 3,7083 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$V(\text{NO}) = n(\text{NO}) \cdot V_m = 3,7083 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3 = 8,3103 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \approx 8,31 \text{ ml.}$$

**Vastaus:**

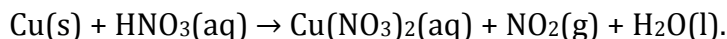


**b)**  $V(\text{NO}) = 8,31 \text{ ml.}$

**2.10** Kirjoita tasapainotettu reaktioyhtälö, kun kupari reagoi väkevän typpihappoliuoksen kanssa. Reaktiossa muodostuu veteen liukenevaa kupari(II)nitraattia, typpidioksidikaasua ja vettä. Kuinka monta millilitraa typpihappoa, jonka konsentraatio on 2,50 mol/dm<sup>3</sup>, tarvitaan liuottamaan 1,25 gramman painoinen kuparinaula? Kuinka monta kuutiodesimetriä typpidioksidikaasua (NTP-oloissa) reaktiossa muodostuu?

**Ratkaisu:**

Tasapainottamaton reaktioyhtälö on:

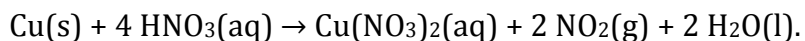


Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Cu	0	+II	hapettuu	2
H	+I	+I	ei muutosta	
N	+V	+V (kuparinitraatissa)	ei muutosta	
N	+V	+IV (typpidioksidissa)	pelkistyy	1
O	-II	-II	ei muutosta	

Täsmätään siirtyvien elektronien määrä. Kuparin hapettuessa vapautuu kaksi elektronia. Tällöin kaksi typpihapon typpiatomia pelkistyy typpidioksidiksi, joten typpihapon ja NO<sub>2</sub>:n kertoimet ovat tässä vaiheessa 2. Reaktioyhtälö on:



Koska typpeä on myös kupari(II)nitraatissa, tulee typpihapon kertoimeksi laittaa 4. Tasapainotetaan vielä vety- ja happiatomit lisäämällä veden eteen kerroin 2. Reaktioyhtälö on:



$$m(\text{Cu}) = 1,25 \text{ g}$$

$$M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g/mol}$$

$$c(\text{HNO}_3) = 2,50 \text{ mol/dm}^3$$

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

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

$$V(\text{NO}_2) = ?$$

Kuparin ainemäärä on:

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{1,25 \text{ g}}{63,55 \text{ g/mol}} = 0,019670 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan typpihapon ainemäärä on:

$$\frac{n(\text{HNO}_3)}{n(\text{Cu})} = \frac{4}{1} \Rightarrow n(\text{HNO}_3) = 4 \cdot n(\text{Cu}) = 4 \cdot 0,019670 \text{ mol} = 0,078680 \text{ mol.}$$

Kysytty typpihapon tilavuus on:

$$V(\text{HNO}_3) = \frac{n(\text{HNO}_3)}{c(\text{HNO}_3)} = \frac{0,078680 \text{ mol}}{2,50 \text{ mol/dm}^3} = 0,031472 \text{ dm}^3 \approx 31,5 \text{ ml.}$$

Reaktioyhtälön kertoimien mukaan typpidioksidin ainemäärä on:

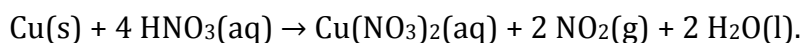
$$\frac{n(\text{NO}_2)}{n(\text{Cu})} = \frac{2}{1} \Rightarrow n(\text{NO}_2) = 2 \cdot n(\text{Cu}) = 2 \cdot 0,019670 \text{ mol} = 0,039340 \text{ mol.}$$

Kysytty typpidioksidin tilavuus on:

$$V(\text{NO}_2) = n(\text{NO}_2) \cdot V_m = 0,039340 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 0,88161 \text{ dm}^3 \approx 0,882 \text{ dm}^3.$$

### **Vastaus:**

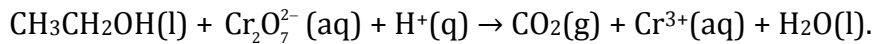
Reaktioyhtälö on



$$V(\text{HNO}_3) = 31,5 \text{ ml}$$

$$V(\text{NO}_2) = 0,882 \text{ dm}^3.$$

**2.11** Moottoriajoneuvoa kuljettavan henkilön veren etanolipitoisuuden (rattijuopumuksen) rajana on 0,5 ‰. Se tarkoittaa, että etanolipitoisuus ei saa ylittää 0,5 grammaa yhdessä kilogrammassa seerumia. Etanolipitoisuus voidaan määrittää kaasukromatografisesti tai värireaktiolla, joka perustuu etanolin ja dikromaatti-ionien väliseen hapettumis-pelkistymisreaktioon happamassa liuoksessa. Tämän reaktion tasapainottamaton reaktioyhtälö on:



Ratkaise, ylittikö erään kuljettajan veren etanolipitoisuus rattijuopumusrajan, kun 25,00 gramman seeruminäytteen täydelliseen reaktioon dikromaatti-ionien kanssa kului 17,35 millilitraa kaliumdikromaattiliuosta, jonka konsentraatio oli 0,02500 mol/dm<sup>3</sup>.

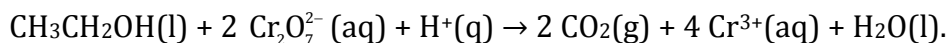
**Ratkaisu:**

Reaktioyhtälön tasapainotusta varten selvitetään siirtyvien elektronien määrä:

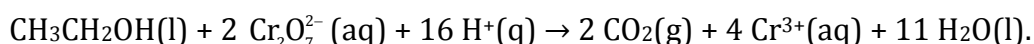
Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
C	-II	+IV	hapettuu	6
H	+I	+I	ei muutosta	
O	-II	-II	ei muutosta	
Cr	+VI	+III	pelkistyy	3

**Huom:** hiilen hapetusluku ( $x$ ) etanolissa on laskettu lausekkeesta  $2x + 6(+1) + (-2) = 0$ , josta ratkaistuna  $x = -2$ .

Koska etanolissa on kaksi hiiliatomia, vapautuu näiden hapettuessa yhteensä 12 elektronia (6 elektronia/atomi). Tällöin yhteensä neljä dikromaatti-ionin kromiatomia pelkistyy. Kun täsmätään siirtyvien elektronien määrä, reaktioyhtälö on:



Tasapainotetaan vielä vety- ja happiatomit:



Tarkistetaan sähkövarausten summa:

lähtöaineet:  $2(2-) + 16(1+) = 12+$

reaktiotuotteet:  $4(3+) = 12+$

$$m(\text{seerumi}) = 25,00 \text{ g} = 0,02500 \text{ kg}$$

$$V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 17,35 \text{ ml} = 0,01735 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,02500 \text{ mol/dm}^3$$

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

$$\text{etanolipitoisuus (g/kg)} = ?$$

Reaktiossa kuluneiden dikromaatti-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

$$= 0,02500 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,01735 \text{ dm}^3 = 4,33750 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}{n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})} = \frac{1}{2} \Rightarrow n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{1}{2} \cdot 4,33750 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 2,16875 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Etanolin massa 25,00 grammassa seerumia on:

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

$$= 2,16875 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 46,068 \text{ g/mol} = 0,00999100 \text{ g.}$$

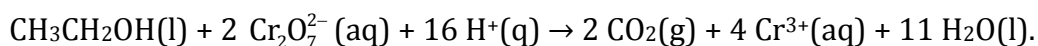
Yksi kilogramma seerumia sisältää etanolia

$$\frac{1 \text{ 000 g}}{25,00 \text{ g}} \cdot 0,00999100 \text{ g} = 0,399640 \text{ g} \approx 0,3996 \text{ g.}$$

Koska  $0,4 \text{ g/kg} < 0,5 \text{ g/kg}$ , etanolipitoisuus ei ylittynyt.

### Vastaus:

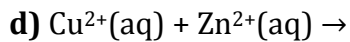
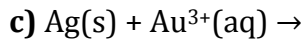
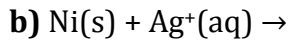
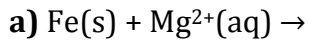
Reaktioyhtälö on



Etanolipitoisuus ei ylittynyt ( $0,4 \text{ g/kg} < 0,5 \text{ g/kg}$ ).

## Luku 2.2 Spontaanit hapettumis-pelkistymisreaktiot

2.13 Päättele metallien jännitesarjan avulla, mitkä seuraavista reaktioista tapahtuvat spontaanisti. Kirjoita spontaanien reaktioiden tasapainotettu reaktioyhtälö.



### Ratkaisu:

a)

Reaktiossa rauta on atomimuodossa eli mahdollisimman pelkistyneessä muodossa.

Magnesiumionit eivät hapeta rautaa, sillä rauta on magnesiumia jalompi (alempana metallien jännitesarjassa). **Reaktio ei tapahdu** spontaanisti.

b)

Reaktiossa nikkeli on atomimuodossa eli mahdollisimman pelkistyneessä muodossa.

Hopea puolestaan on ionimuodossa eli hapettuneessa muodossa. Koska hopea on nikkeliä jalompi metalli, se pyrkii pelkistymään. Reaktiossa nikkeli hapettuu pelkistäen hopeaionit alkuaine hopeaksi eli **reaktio on spontaani**.

Reaktioyhtälö on  $\text{Ni(s)} + 2 \text{Ag}^{+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Ag(s)}$ .

c)

Reaktiossa hopea on atomimuodossa eli mahdollisimman pelkistyneessä muodossa.

Kulta puolestaan on ionimuodossa eli hapettuneessa muodossa. Koska kulta on hopeaa jalompi, se pyrkii pelkistymään. Reaktiossa hopea hapettuu ja kultaionit pelkistyvät alkuaine kullaksi eli **reaktio on spontaani**.

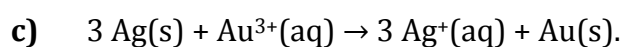
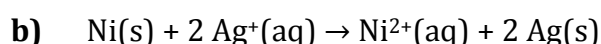
Reaktioyhtälölö on  $3 \text{Ag(s)} + \text{Au}^{3+}(\text{aq}) \rightarrow 3 \text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Au(s)}$ .

d)

Reaktiossa sekä kupari että sinkki ovat molemmat hapettuneessa muodossa. Reaktiossa ei ole ainetta, joka voisi pelkistää nämä ionit eli luovuttaa elektroneja. **Reaktio ei tapahdu** spontaanisti.

### Vastaus:

Reaktiot **b)** ja **c)** tapahtuvat spontaanisti. Reaktioyhtälöt ovat:



2.14 Päätele metallien jännitesarjan avulla, tapahtuuko reaktio, kun

a) rautanaula pudotetaan kupari(II)sulfaatin vesiliuokseen

b) hopeaketju pudotetaan suolahappoliuokseen

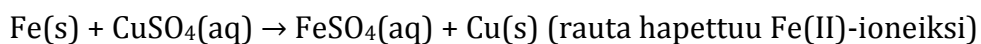
c) tinanappi pudotetaan suolahappoliuokseen.

Kirjoita tapahtuvien reaktioiden tasapainotetut reaktioyhtälöt.

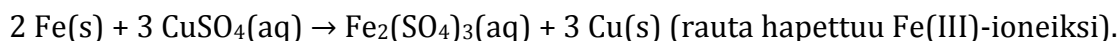
**Ratkaisu:**

a)

Reaktiossa rauta on alkuainemuodossa ja kuparit  $\text{Cu}^{2+}$ -ioneina. Koska kupari on rautaa jalompi metalli, se pyrkii pelkistymään. **Reaktio tapahtuu.** Reaktioyhtälö on:



tai

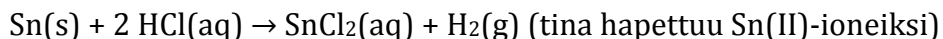


b)

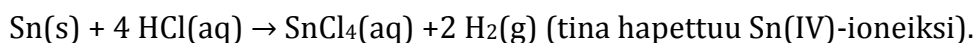
Reaktiossa hopea on alkuainemuodossa eli mahdollisimman pelkistyneessä muodossa. Koska hopea on vedyn alapuolella metallien jännitesarjassa, se ei liukene suolahappoon (vetyä ei pelkisty) eli **reaktiota ei tapahdu.**

c)

Reaktiossa tina on alkuainemuodossa eli se voi pelkistyä tinaioneiksi. Koska tina on vedyn yläpuolella metallien jännitesarjassa, se pelkistää vetyä suolahapon vesiliuoksen  $\text{H}^+$ -ioneista. **Reaktio tapahtuu.** Reaktioyhtälö on:

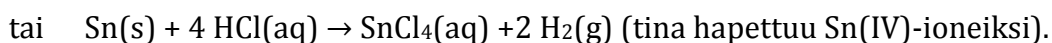
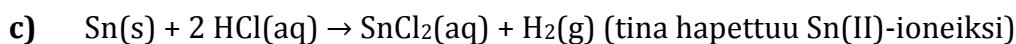
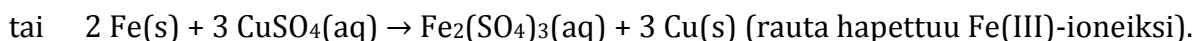
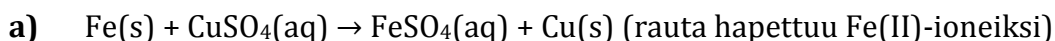


tai



**Vastaus:**

Reaktiot a) ja c) tapahtuvat. Reaktioyhtälöt ovat:





**2.15** Rautalevy upotetaan liuokseen:  $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ,  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  ja  $\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ . Perustele normaalipotentialien avulla, missä liuoksissa rautalevyn pinnalle muodostuu metallikerros.

**Ratkaisu:**

Rautalevyn pinnalle muodostuu metallikerros liuoksissa, joissa on  $\text{Ag}^+$ - tai  $\text{Cu}^{2+}$ -ioneja.

Rauta on näitä metalleja epäjalompi (normaalipotentialitaulukossa ylempänä), jolloin rautaatomit hapettuvat ja hopea- tai kupari-ionit pelkistyvät alkuaine metalliksi.

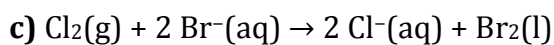
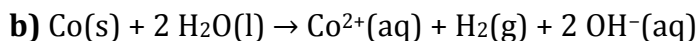
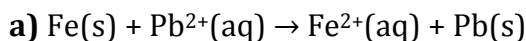
Hopea-ioneja sisältävässä liuoksessa  $E_h + E_p = +0,45 \text{ V} + 0,80 \text{ V} = +1,25 \text{ V}$ .

Kupari(II)-ioneja sisältävässä liuoksessa  $E_h + E_p = +0,45 \text{ V} + 0,34 \text{ V} = +0,79 \text{ V}$ .

**Vastaus:**

Metallikerros muodostuu hopeaioneja ( $E_h + E_p = +1,25 \text{ V}$ ) ja kupari(II)-ioneja ( $E_h + E_p = +0,79 \text{ V}$ ) sisältävissä liuoksissa.

**2.16** Ratkaise normaalipotentialien avulla, mitkä seuraavista reaktioista ovat spontaaneja:



d) pala litiummetallia laitetaan veteen

e) kultasormuksen päälle johdetaan kloorikaasua

f) hopeaketju pudotetaan typpihappoa sisältävään astiaan.

**Ratkaisu:**

a)

Reaktioyhtälön perusteella rauta hapettuu ( $E_h = +0,45 \text{ V}$ ) ja lyijy(II)-ionit pelkistyvät ( $E_p = -0,13 \text{ V}$ ). Hapettumis- ja pelkistymispotentiaalien summa on  $+0,32 \text{ V}$ , joten **reaktio on spontaani**.

b)

Reaktioyhtälön perusteella koboltti hapettuu ( $E_h = +0,28 \text{ V}$ ) ja vedestä pelkistyy vetykaasua ( $E_p = -0,83 \text{ V}$ ). Hapettumis- ja pelkistymispotentiaalien summa on  $-0,55 \text{ V}$ , joten **reaktio ei ole spontaani**.

c)

Reaktioyhtälön perusteella bromidi-ionit hapettuvat ( $E_h = -1,07 \text{ V}$ ) ja kloori pelkistyy ( $E_p = +1,36 \text{ V}$ ). Hapettumis- ja pelkistymispotentiaalien summa on  $+0,29 \text{ V}$ , joten **reaktio on spontaani**.

d)

Mikäli reaktio tapahtuu, litium hapettuu ja vedestä pelkistyy vetykaasua. Reaktioyhtälö on  $2 \text{Li(s)} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Li}^{+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^{-}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$ .

$E_h + E_p = +3,04 \text{ V} + (-0,83 \text{ V}) = +2,21 \text{ V}$ , eli **reaktio on spontaani**.

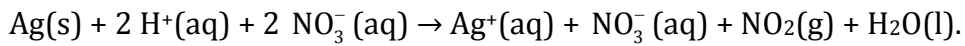
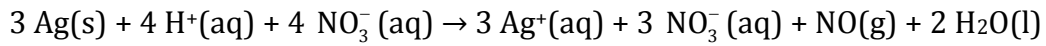
e)

Mikäli reaktio tapahtuu, kulta hapettuu ( $E_h = -1,69 \text{ V}$ ) ja kloori pelkistyy ( $E_p = +1,36 \text{ V}$ ).

$E_h + E_p = -1,69 \text{ V} + 1,36 \text{ V} = -0,33 \text{ V}$ , eli **reaktio ei ole spontaani**.

f)

Mikäli reaktio tapahtuu, hopea hapettuu ja typpihapon nitraatti-ioneista vapautuu joko typpimonoksidia NO (laimea typpihappoliuos) tai typpidioksidia NO<sub>2</sub> (väkevä typpihappoliuos). Reaktioyhtälöt ovat



$$E_h + E_p \text{ (ylempi reaktio)} = -0,80 \text{ V} + 0,96 \text{ V} = +0,16 \text{ V}.$$

$$E_h + E_p \text{ (alempi reaktio)} = -0,80 \text{ V} + 0,80 \text{ V} = +0,00 \text{ V}.$$

Vain **ylempi reaktio tapahtuu spontaanisti.**

**Vastaus:**

Spontaaneja ovat reaktiot

a)  $(E_h + E_p = +0,32 \text{ V})$

c)  $(E_h + E_p = +0,29 \text{ V})$

d)  $(E_h + E_p = +2,21 \text{ V})$

f)  $(E_h + E_p = +0,16 \text{ V}).$

## Luku 2.3 Sähkökemialliset parit virtalähteinä

**2.28** Opiskelijaa kiinnosti, kuinka sähkökemiallisen parin elektrolyyttiliuoksen konsentraatio vaikuttaa parin lähdejännitteeseen, sillä normaalipotentialitaulukkaan kirjatut arvot on saatu niin sanotuissa standardiolosuhteissa, jolloin ionikonsentraatio on  $1,0 \text{ mol/dm}^3$  ja lämpötila  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hän rakensi sinkki-kupariparin, ja sen lähdejännitettä mitatessaan vaihteli joko sinkki- tai kupari-ionien konsentraatiota, pitäen liuosten lämpötilan  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa.

Opiskelijan saamat tulokset on kirjattu oheiseen taulukkaan.

$c(\text{Zn}^{2+}) \text{ mol/dm}^3$	$c(\text{Cu}^{2+}) \text{ mol/dm}^3$	Mitattu lähdejännite $V$
1,0	1,0	1,10
0,50	1,0	1,11
0,20	1,0	1,12
0,10	1,0	1,13
1,0	0,50	1,09
1,0	0,20	1,08
1,0	0,10	1,07

**a)** Päätele tuloksista, kuinka kupari-ionien konsentraation pieneneminen vaikuttaa parin lähdejännitteen arvoon.

**b)** Laadi kuvaaja, jolta näkyy kuinka sinkki-ionikonsentraatio vaikuttaa parin lähdejännitteen arvoon, kun kupari-ionikonsentraatio pidetään vakiona.

**c)** Kun anodi- ja katodiliuoksen ionipitoisuus vaihtelee, sähkökemiallisen parin lähdejännite voidaan laskea käyttämällä niin sanottua Nernstin yhtälöä. Tämä yhtälö on:

$$E_{\text{pari}} = E^0 - \frac{0,05916}{z} \cdot \log \frac{c(\text{anodiliuos})}{c(\text{katodiliuos})},$$

missä

$E^0$  = taulukoitujen normaalipotentialiarvojen avulla laskettu parin lähdejännite

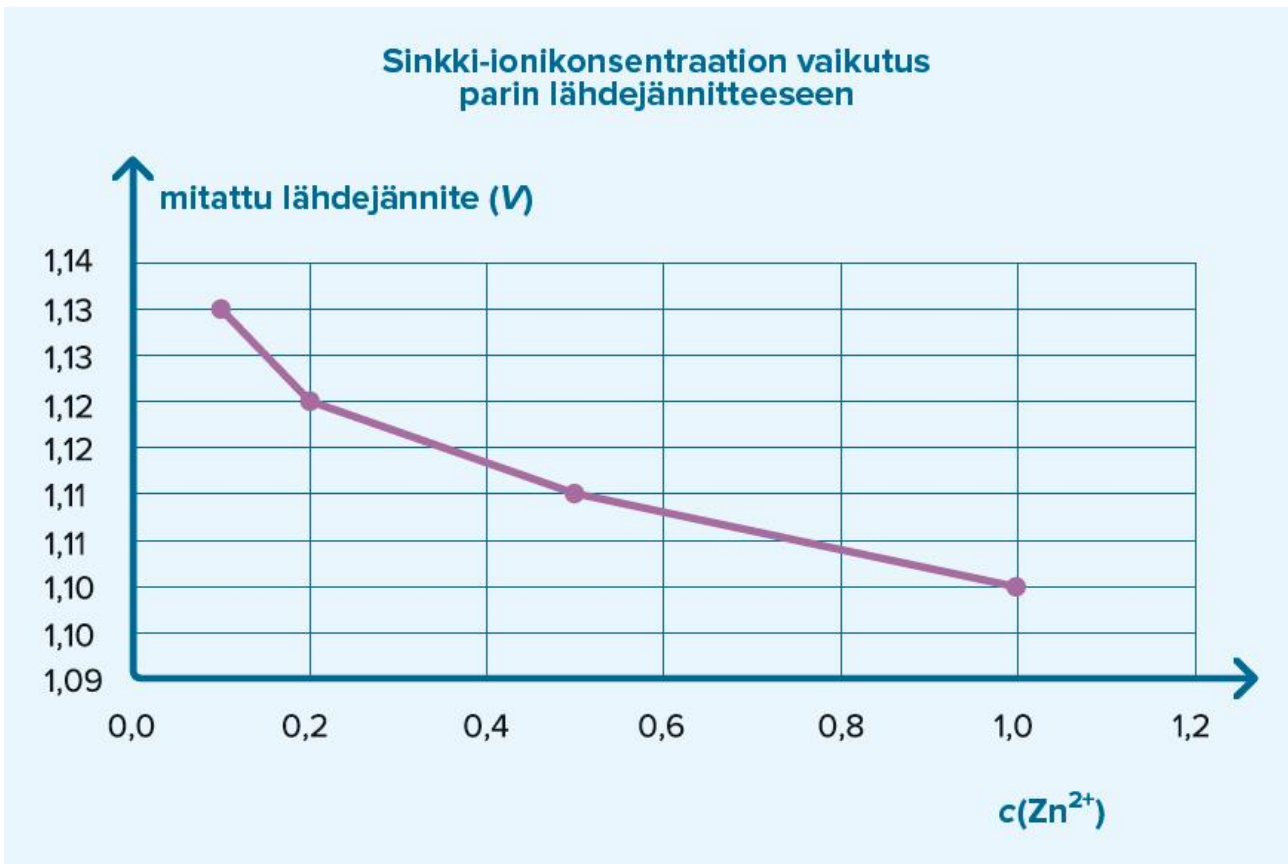
$z$  = kennossa siirtyvien elektronien lukumäärä.

Laske, mikä olisi sinkki-kupariparin lähdejännite, kun sinkki-ionien konsentraatio on  $0,010 \text{ mol/dm}^3$  ja kupari-ionikonsentraatio on  $1,0 \text{ mol/dm}^3$ .

**Ratkaisu:**

a) Parin lähdejännitteen arvo pienenee, kun kupari-ionien konsentraatio pienenee.

b)



c)

Sijoitetaan yhtälöön  $E_{\text{pari}} = E^0 - \frac{0,05916}{z} \cdot \log \frac{c(\text{anodiliuos})}{c(\text{katodiliuos})}$  seuraavat arvot:

$$E^0 = E_h + E_p = +0,76 \text{ V} + (+0,34 \text{ V}) = +1,10 \text{ V}$$

$$z = 2$$

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

$$c(\text{katodiliuos}) = 1,0 \text{ mol/dm}^3$$

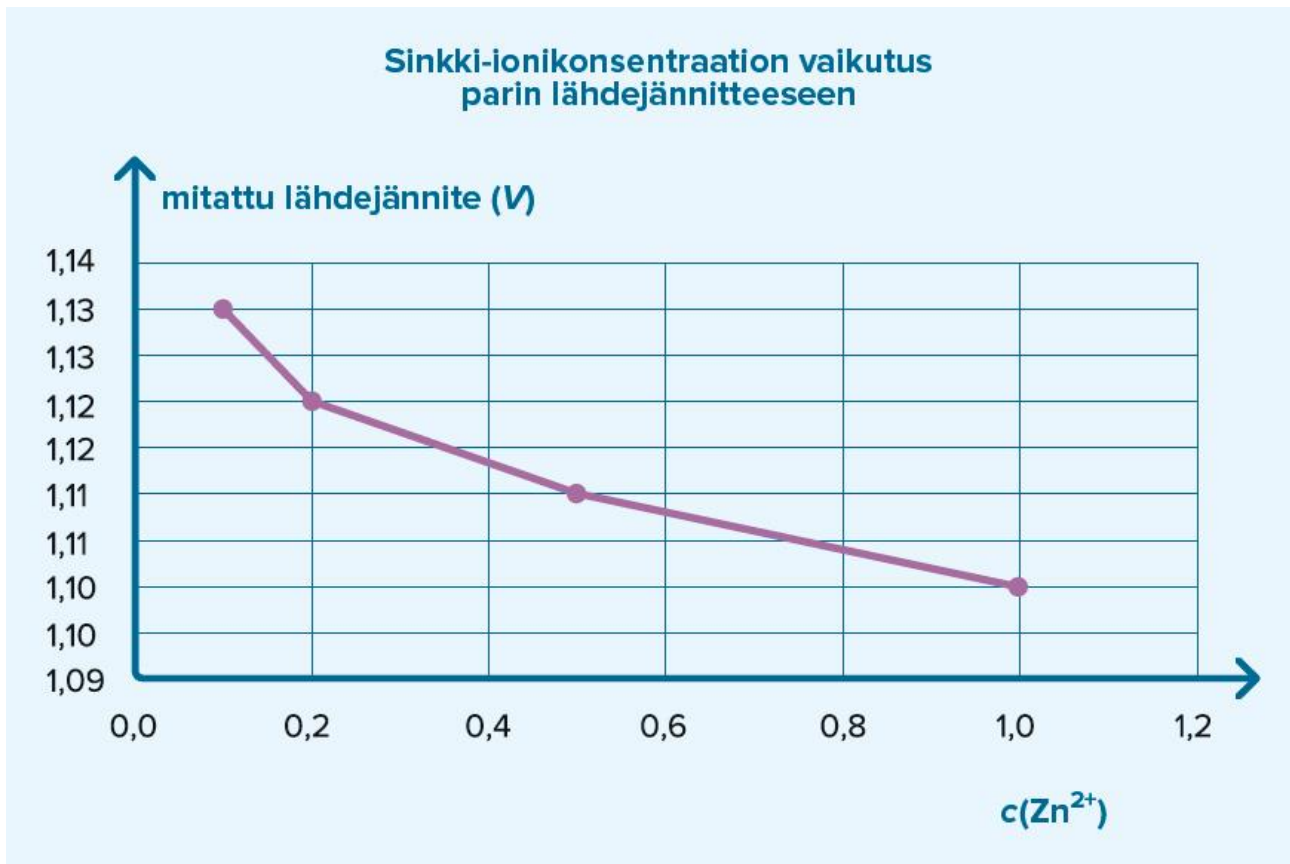
ja ratkaistaan  $E_{\text{pari}}$ :

$$E_{\text{pari}} = 1,10 - \frac{0,05916}{2} \cdot \log \frac{0,010}{1,0},$$

$$\text{josta } E_{\text{pari}} = (1,10 + 0,05916) \text{ V} = 1,16 \text{ V}.$$

Vastaus:

- a) Lähdejännitteen arvo pienenee.
- b)



- c)  $E_{\text{pari}} = 1,16 \text{ V}$ .

## Luku 2.4 Elektrolyysi – pakotettu hapettumis-pelkistymisreaktio

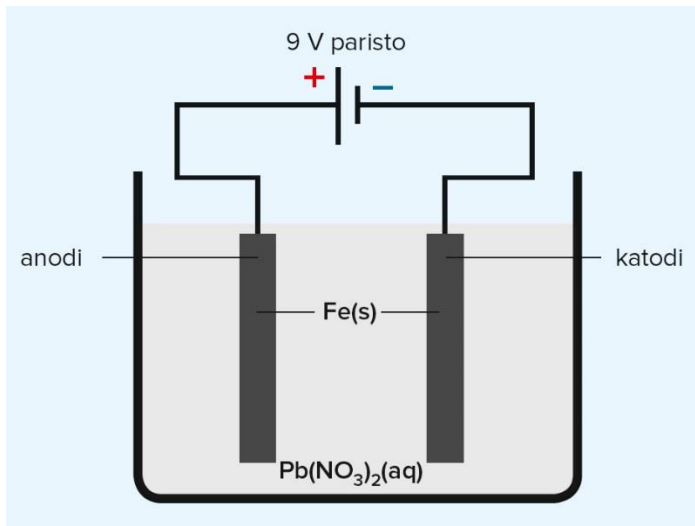
2.37 Kaksi opiskelijaryhmää saivat tehtäväksi havainnollistaa elektrolyysiä muille kemian kurssilaisille.

Opettaja antoi ryhmälle 1 tarvikkeet: rautaelektrodit, 9 V:n paristo, johtimet ja lyijynitraatin vesiliuos. Ryhmä 2 puolestaan sai tarvikkeet: grafiittielektrodin katodiksi ja sinkkielektrodin anodiksi, johtimet, jännitelähde ja hopeanitraatin vesiliuos.

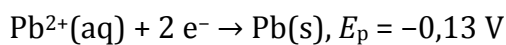
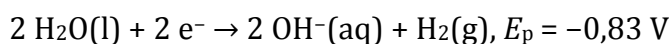
Piirrä, millaiset koejärjestelyt ryhmien tulee rakentaa. Tutki normaalipotentialien avulla, mitä tuotteita näissä demonstraatioissa muodostui.

### Ratkaisu:

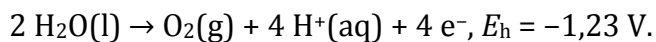
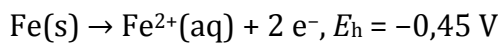
**Ryhmä 1.** Piirros koejärjestelystä:



Mahdolliset pelkistymisreaktiot katodilla:

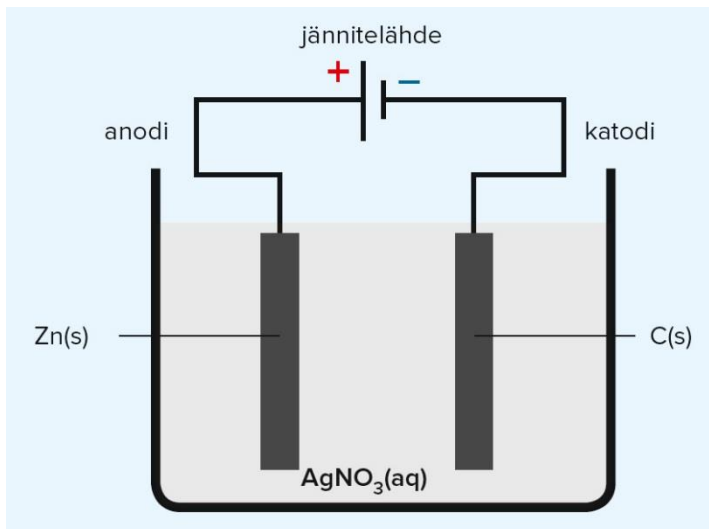


Mahdolliset hapettumisreaktiot anodilla:

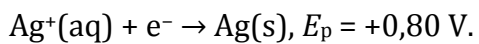
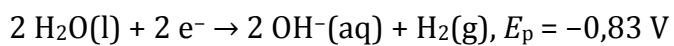


Katodilla muodostuu alkuaine lyijyä. Anodilla muodostuu rauta(II)-ioneja.

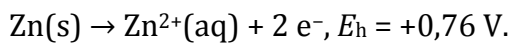
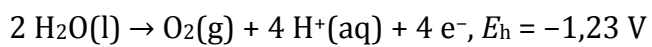
## Ryhmä 2. Piirros koejärjestelystä:



Mahdolliset pelkistymisreaktiot katodilla:



Mahdolliset hapettumisreaktiot anodilla:

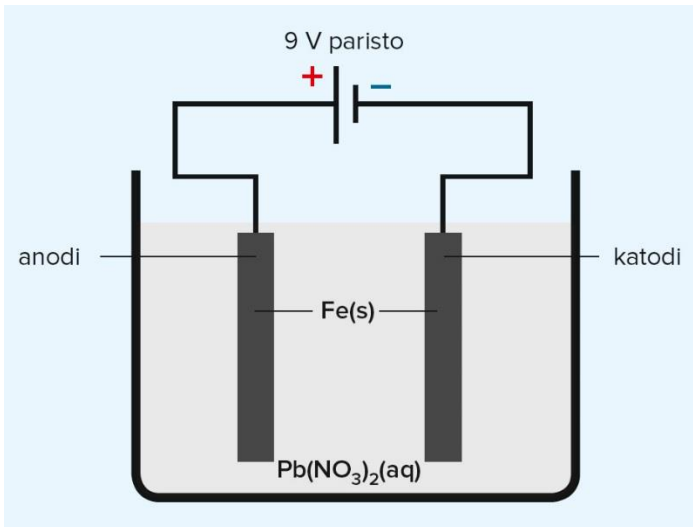


Katodilla muodostuu alkuaine hopeaa. Anodilla muodostuu sinkki-ioneja.



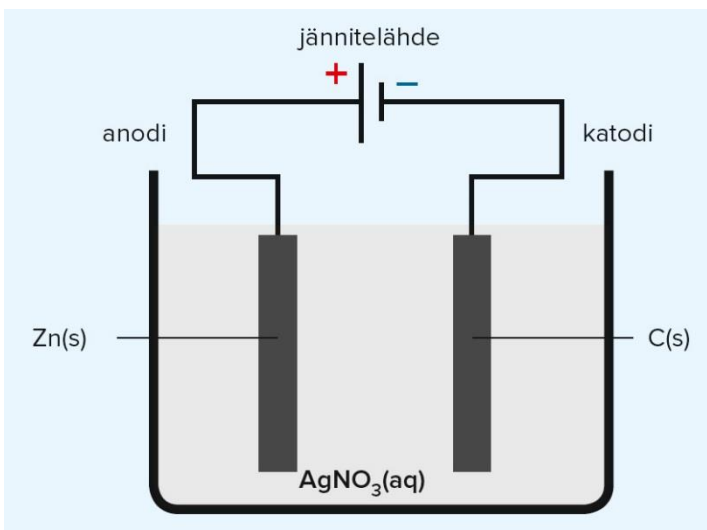
**Vastaus:**

**Ryhmä 1.** Piirros koejärjestelystä:



Katodilla muodostuu lyijyä. Anodilla muodostuu rauta(II)-ioneja.

**Ryhmä 2.** Piirros koejärjestelystä



Katodilla muodostuu hopeaa. Anodilla muodostuu sinkki-ioneja.

**2.39** Ratkaise, kuinka kauan kestää, jotta saadaan 10,0 A:n sähkövirtaa käyttämällä elektrolyyttisesti tuotettua

a) 5,0 mol hopeaa  $\text{Ag}^+$ -ioneja sisältävästä vesiliuoksesta

b)  $6,0 \cdot 10^6$  kulta-atomia  $\text{Au}^{3+}$ -ioneja sisältävästä vesiliuoksesta

c) 1,0 kg alumiinia  $\text{Al}^{3+}$ -ioneja sisältävästä vesiliuoksesta.

Ilmoita ajat tunteina.

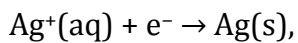
**Ratkaisu:**

Ratkaisun kaikissa kohdissa käytetään suureyhtälöä  $It = nzF$ , josta ratkaistaan aika ( $t$ ) seuraavasti:

$$t = \frac{n \cdot z \cdot F}{I}$$

a)

Hopeaionien pelkistymisreaktio on:



joten  $z = 1$

$I = 10,0 \text{ A}$

$n(\text{Ag}) = 5,0 \text{ mol}$

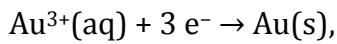
$F = 96\,485 \text{ As/mol}$

$t = ?$

$$t = \frac{5,0 \text{ mol} \cdot 1 \cdot 96\,485 \text{ A} \cdot \text{s/mol}}{10,0 \text{ A}} = 48\,242 \text{ s} \approx 48 \cdot 10^3 \text{ s} \approx 13 \text{ tuntia.}$$

**b)**

Kultaionien pelkistymisreaktio on:



$$\text{joten } z = 3$$

$$I = 10,0 \text{ A}$$

$$N(\text{Au}) = 6,0 \cdot 10^6$$

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

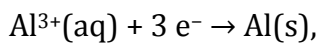
$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$t = ?$$

$$t = \frac{\frac{6,0 \cdot 10^6}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}} \cdot 3 \cdot 96\,485 \text{ A} \cdot \text{s/mol}}{10,0 \text{ A}} = 2,884 \cdot 10^{-13} \text{ s} = 8,011 \cdot 10^{-17} \text{ h} \approx 8,0 \cdot 10^{-17} \text{ h}.$$

**c)**

Alumiini-ionien pelkistymisreaktio on:



$$\text{joten } z = 3.$$

$$I = 10,0 \text{ A}$$

$$m(\text{Al}) = 1,0 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$$

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

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$t = ?$$

$$t = \frac{\frac{1\,000 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} \cdot 3 \cdot 96\,485 \text{ A} \cdot \text{s/mol}}{10,0 \text{ A}} = 1\,072\,850 \text{ s} = 298,0 \text{ h} \approx 3,0 \cdot 10^2 \text{ h}.$$

**Vastaus:**

**a)**  $t = 13 \text{ tuntia.}$

**b)**  $t = 8,0 \cdot 10^{-17} \text{ h.}$

**c)**  $t = 3,0 \cdot 10^2 \text{ h.}$

**2.40** Hopeanitraatin vesiliuosta elektrolysoitiin 30 minuuttia. Elektrolyysin aikana pelkistyi 6,2 g hopeaa.

**a)** Kirjoita anodi- ja katodireaktiot.

**b)** Kuinka suurta sähkövirtaa käytettiin?

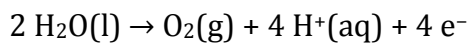
**c)** Kuinka suuri tilavuus (NTP) happea muodostui?

**d)** Kuinka monta grammaa kultaa muodostuisi samassa ajassa ja samalla virranvoimakkuudella kulta(III)kloridin vesiliuoksesta?

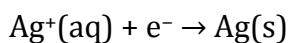
**Ratkaisu:**

**a)**

anodireaktio:



katodireaktio:



**b)**

$$m(\text{Ag}) = 6,2 \text{ g}$$

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

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$t = 30 \text{ min} = 1\,800 \text{ s}$$

$$I = ?$$

$$It = n z F \Rightarrow I = \frac{n(\text{Ag}) \cdot z F}{t} = \frac{m(\text{Ag}) \cdot z F}{M(\text{Ag}) \cdot t} = \frac{6,2 \text{ g} \cdot 1 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}}{107,87 \text{ g/mol} \cdot 1\,800 \text{ s}} = 3,081 \text{ A} \approx 3,1 \text{ A.}$$

**c)**

Anodireaktion perusteella

$$z = 4$$

$$I = 3,081 \text{ A (kohdasta a)}$$

$$t = 30 \text{ min} = 1\,800 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

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

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

Ratkaistaan muodostuvan hapen ainemäärä suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

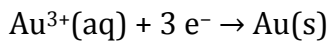
$$n(\text{O}_2) = \frac{It}{zF} = \frac{3,081 \text{ A} \cdot 1\,800 \text{ s}}{4 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 0,01437 \text{ mol.}$$

Kysytty hapen tilavuus NTP-oloissa on:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m = 0,01437 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 0,3220 \text{ dm}^3 \approx 0,32 \text{ dm}^3.$$

**d)**

Kulta-ionien pelkistymisreaktion



perusteella

$$z = 3$$

$$I = 3,081 \text{ A (kohdasta a)}$$

$$t = 30 \text{ min} = 1\,800 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

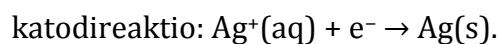
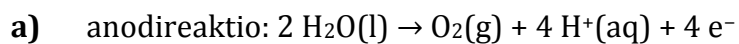
$$M(\text{Au}) = 196,97 \text{ g/mol}$$

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

Ratkaistaan kysytty kullan massa suureyhtälöstä  $It = nzF = \frac{m}{M}zF$ , josta

$$m(\text{Au}) = \frac{It \cdot M(\text{Au})}{zF} = \frac{3,081 \text{ A} \cdot 1\,800 \text{ s} \cdot 196,97 \text{ g/mol}}{3 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 3,774 \text{ g} \approx 3,8 \text{ g.}$$

**Vastaus:**



**b)**  $I = 3,1 \text{ A.}$

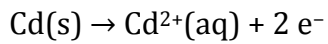
**c)**  $V(\text{O}_2) = 0,32 \text{ dm}^3.$

**d)**  $m(\text{Au}) = 3,8 \text{ g.}$

**2.41** 150 milliampeerin virtaa käyttävä kamera toimii Ni-Cd-akulla. Kuinka monta milligrammaa kadmiummetallia hapettuu, kun kameraa käytetään 2,0 tuntia?

**Ratkaisu:**

Kadmiumin hapettumisreaktion



perusteella

$$z = 2$$

$$I = 150 \text{ mA} = 0,150 \text{ A}$$

$$t = 2,0 \text{ h} = 7\,200 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$M(\text{Cd}) = 112,41 \text{ g/mol}$$

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

Ratkaistaan kadmiumin massa suureyhtälöstä  $It = nzF = \frac{m}{M}zF$ , josta

$$m(\text{Cd}) = \frac{It \cdot M(\text{Cd})}{zF} = \frac{0,150 \text{ A} \cdot 7\,200 \text{ s} \cdot 112,41 \text{ g/mol}}{2 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 0,6292 \text{ g} \approx 630 \text{ mg.}$$

**Vastaus:**

$$m(\text{Cd}) = 630 \text{ mg.}$$

**2.42** Erään suolasulatteen elektrolyysissä muodostui katodille 1,40 g metallia. Elektrolyysissä käytettiin 6,50 A:n virtaa, ja se kesti 23 minuuttia. Ratkaise, mikä metalli oli kyseessä, kun sen kloridia sisältävän suolan kaava on  $MCl_3$ .

**Ratkaisu:**

$$m(M) = 1,40 \text{ g}$$

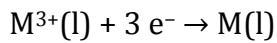
$$I = 6,50 \text{ A}$$

$$t = 23 \text{ min} = 1\,380 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$M = ?$$

Annetun kaavan ( $MCl_3$ ) perusteella metalli-ionin varaus on  $M^{3+}$ . Metallionien pelkistymisreaktion



perusteella  $z = 3$ . Ratkaistaan metallin moolimassa  $M$  suureyhtälöstä  $It = nzF = \frac{m}{M} \cdot z \cdot F$ , josta

$$M(M) = \frac{m(M) \cdot z \cdot F}{I \cdot t} = \frac{1,40 \text{ g} \cdot 3 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}}{6,50 \text{ A} \cdot 1\,380 \text{ s}} = 45,18 \approx 45,2 \text{ g/mol.}$$

Taulukkokirjan perusteella lähimpänä tätä moolimassaa on skandiumin (Sc) moolimassa (44,96 g/mol).

**Vastaus:**

Metalli oli skandiumia.

**2.43** Iridium on platinaa muistuttava jalometalli, joka kestää kaikista metalleista parhaiten korroosiota. Sitä käytetään muun muassa sytytystulppien kärjissä ja platinaan lisättynä valmistettaessa korkeita lämpötiloja kestäviä metallikappaleita. Metallista iridiumia saadaan valmistettua pelkistämällä sitä elektrolyyttisesti. Eräessä elektrolyysissä muodostui 5,07 g iridiumia, kun sulan, iridiumia sisältävän yhdisteen läpi johdettiin 3,20 A:n virtaa 40,0 minuutin ajan. Mikä oli iridiumin hapetusluku kyseisessä yhdisteessä?

**Ratkaisu:**

$$I = 3,20 \text{ A}$$

$$m(\text{Ir}) = 5,07 \text{ g}$$

$$M(\text{Ir}) = 192,22 \text{ g/mol}$$

$$t = 40,0 \text{ min} = 2\,400 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$z = ?$$

Ratkaistaan elektrolyysissä muodostuneen iridiumin ainemäärä:

$$n(\text{Ir}) = \frac{m(\text{Ir})}{M(\text{Ir})} = \frac{5,07 \text{ g}}{192,22 \text{ g/mol}} = 0,026376 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan  $z$  suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

$$z = \frac{I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{3,20 \text{ A} \cdot 2\,400 \text{ s}}{0,026376 \text{ mol} \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 3,02 \approx 3.$$

Iridiumin hapetusluku yhdisteessä oli siten +III.

**Vastaus:**

Iridiumin hapetusluku oli +III.



**2.44** Kemian tunnilla valmistettiin vetykaasua hajottamalla vettä elektrolyyttisesti. Kuinka kauan kesti valmistaa 25 millilitraa vetykaasua, kun käytettiin 25 mA:n virtaa? Vetykaasun lämpötila oli 22 °C ja paine 0,99 bar.

**Ratkaisu:**

$$V(\text{H}_2) = 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ dm}^3$$

$$I = 25 \text{ mA} = 0,025 \text{ A}$$

$$T = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$$

$$p = 0,99 \text{ bar}$$

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

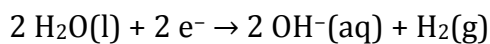
$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$t = ?$$

Ratkaistaan valmistetun vetykaasun ainemäärä ideaalikaasun tilanyhtälöstä  $pV = nRT$ , josta

$$n(\text{H}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{0,99 \text{ bar} \cdot 0,025 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}} = 0,001009 \text{ mol.}$$

Vedyn pelkistymisreaktion



perusteella  $z = 2$ . Ratkaistaan aika suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

$$t = \frac{nzF}{I} = \frac{0,001009 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}}{0,025 \text{ A}} = 7\,788 \text{ s} \approx 2,2 \text{ h.}$$

**Vastaus:**

$$t = 2,2 \text{ h.}$$

## 2.45 Laske.

a) Mikä sähkömäärä tarvitaan kromattaessa auton puskuri, jonka pinta-ala on  $0,32 \text{ m}^2$ ,  $0,23 \text{ mm}$ :n paksuisella kromikerroksella? Kromaus tehdään kromaatti-ioneja  $\text{CrO}_4^{2-}$  sisältävästä liuoksesta (kromin tiheys on  $7,20 \text{ g/cm}^3$ .)

b) Kuinka suuri virta tarvitaan, jotta pinnoitus saataisiin tehtyä minuutissa?

### Ratkaisu:

a)

Kromin hapetusluku kromaatti-ionissa  $\text{CrO}_4^{2-}$  on +VI. Yhden kromiatomin pelkistämiseen tarvitaan siis 6 elektronia eli  $z = 6$ .

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$M(\text{Cr}) = 52,00 \text{ g/mol}$$

$$Q = ?$$

Lasketaan, mikä massa kromia tarvitaan pinnoitettavan puskurin pinta-alan, kromikerroksen paksuuden ja kromin tiheyden avulla:

$$m(\text{Cr}) = 3\,200 \text{ cm}^2 \cdot 0,023 \text{ cm} \cdot 7,20 \text{ g/cm}^3 = 529,9 \text{ g.}$$

Lasketaan, mikä on tarvittavan kromin ainemäärä:

$$n(\text{Cr}) = \frac{m(\text{Cr})}{M(\text{Cr})} = \frac{529,9 \text{ g}}{52,00 \text{ g/mol}} = 10,19 \text{ mol.}$$

Kysytty sähkömäärä saadaan suureyhtälöstä  $Q = n \cdot z \cdot F$ , josta

$$Q = 10,19 \text{ mol} \cdot 6 \cdot 96\,485 \text{ As/mol} = 5,899 \cdot 10^6 \text{ As} \approx 5,9 \cdot 10^6 \text{ As.}$$

b)

$$t = 60 \text{ s}$$

$$Q = 5,899 \cdot 10^6 \text{ As (kohdasta a)}$$

$$I = ?$$

Ratkaistaan  $I$  suureyhtälöstä  $Q = I \cdot t$ , josta

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{5,899 \cdot 10^6 \text{ As}}{60 \text{ s}} = 98\,320 \text{ A} \approx 98 \text{ kA.}$$

### Vastaus:

a)  $Q = 5,9 \cdot 10^6 \text{ As.}$

b)  $I = 98 \text{ kA.}$

**2.46** Pinta-alaltaan  $1,00 \text{ dm}^2$ :n kokoinen metallilevy halutaan pinnoittaa  $0,0020 \text{ cm}$ :n vahvuisella sinkkikerroksella. Elektrolyyttiliuoksena käytetään sinkkikloridin vesiliuosta ja anodina puhdasta sinkkilevyä.

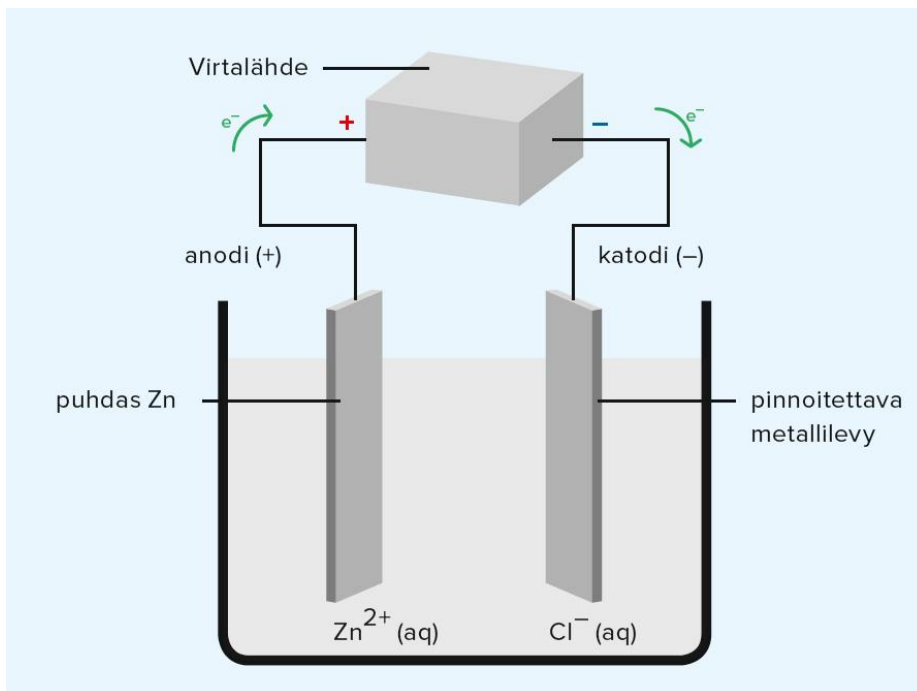
a) Mallinna laitteistoa piirroksella.

b) Kirjoita anodi- ja katodireaktiot.

c) Laske, kuinka kauan pinnoitus kestää, kun käytetään  $2,5 \text{ A}$ :n virtaa, jota saadaan hyödynnettyä  $93$ -prosenttisesti. Sinkin tiheys on  $7,13 \text{ g/cm}^3$ .

**Ratkaisu:**

a)



b)

Anodireaktio:  $\text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 e^{-}$

Katodireaktio:  $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 e^{-} \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$

c)

Sinkin hapettumis- tai pelkistymisreaktion perusteella  $z = 2$ ,

$$I = 0,93 \cdot 2,5 \text{ A} = 2,325 \text{ A}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$t = ?$$

Lasketaan pinnoitukseen tarvittavan sinkin massa levyn pinta-alan, pinnoitteen paksuuden ja sinkin tiheyden avulla:

$$m(\text{Zn}) = 100 \text{ cm}^2 \cdot 0,0020 \text{ cm} \cdot 7,13 \text{ g/cm}^3 = 1,426 \text{ g}.$$

Lasketaan tarvittavan sinkin ainemäärä:

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

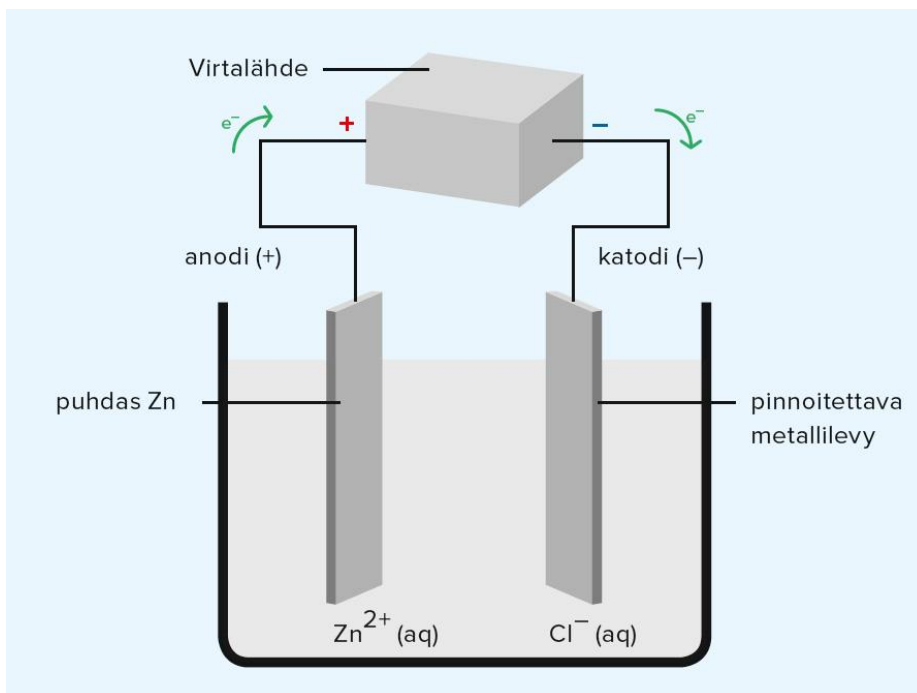
$$\Rightarrow n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = \frac{1,426 \text{ g}}{65,38 \text{ g/mol}} = 0,02181 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan  $t$  suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

$$t = \frac{n(\text{Zn}) \cdot zF}{I} = \frac{0,02181 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}}{2,325 \text{ A}} = 1\,810 \text{ s} = 30,17 \text{ min} \approx 30 \text{ min}.$$

**Vastaus:**

a)



- b) Anodireaktio:  $\text{Zn(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$   
Katodireaktio:  $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn(s)}$ .
- c)  $t = 30 \text{ min}$

**2.47** Eräs suolasulate sisältää 10,7 grammaa natriumioneja ja 1,3 grammaa magnesiumioneja. Kuinka kauan elektrolyysin täytyy kestää, jotta seoksesta saadaan erottumaan 1,0 grammaa natriumia, kun käytettävissä on 5,0 A:n tasavirtalähde?

### Ratkaisu

$$m(\text{Na}^+) = 10,7 \text{ g}$$

$$m(\text{Mg}^{2+}) = 1,3 \text{ g}$$

$$m(\text{Na}) = 1,0 \text{ g}$$

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

$$M(\text{Na}) = 22,99 \text{ g/mol}$$

$$I = 5,0 \text{ A}$$

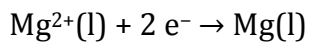
$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

$$t = ?$$

Metallien jalousjärjestyksen perusteella seoksesta pelkistyy ensin magnesiumionit. Lasketaan seoksessa olevien magnesiumionien ainemäärä:

$$n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M(\text{Mg})} = \frac{1,3 \text{ g}}{24,31 \text{ g/mol}} = 0,05348 \text{ mol.}$$

Magnesiumionien pelkistymisreaktion



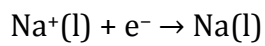
perusteella  $z = 2$ . Ratkaistaan suureyhtälöstä  $It = nzF$  aika, joka tarvitaan magnesiumionien pelkistämiseen:

$$t = \frac{n(\text{Mg}^{2+}) \cdot z \cdot F}{I} = \frac{0,05348 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}}{5,0 \text{ A}} = 2\,064 \text{ s.}$$

Lasketaan, mikä ainemäärä natriumia pitäisi saada erottumaan:

$$n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})} = \frac{1,0 \text{ g}}{22,99 \text{ g/mol}} = 0,04350 \text{ mol.}$$

Natriumionien pelkistymisreaktion



perusteella  $z = 1$ . Ratkaistaan suureyhtälöstä  $It = nzF$  aika, joka tarvitaan natriumionien pelkistämiseen:

$$t = \frac{n(\text{Na}^+) \cdot z \cdot F}{I} = \frac{0,04350 \text{ mol} \cdot 1 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}}{5,0 \text{ A}} = 839,4 \text{ s.}$$

Kokonaisaika, joka tarvitaan, jotta natriumia saadaan erottumaan 1,0 grammaa, on  $2\,064 \text{ s} + 839,4 \text{ s} = 2\,903,4 \text{ s} \approx 48 \text{ min.}$

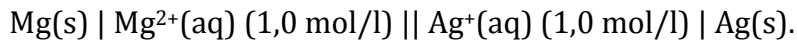
**Vastaus:**

$t = 48 \text{ min.}$

## Jakso 2 Harjoittele lisää!

### Ylioppilastehtäviä

1. Tarkastellaan galvaanista kennoa (25 °C), jonka kennokaavio on seuraava:



**a)** Määritä kennon lähdejännite ja esitä kennon kokonaisreaktio. (2p)

**b)** Mitkä ovat puolikennojen  $\text{Mg}^{2+}$ - ja  $\text{Ag}^{+}$ -ionikonsentraatiot, kun kennosta on otettu 100 mA sähkövirtaa 8,0 tunnin ajan. Molempien puolikennojen liuostilavuudet ovat 150 millilitraa. (4p)

(Yo syksy 2016)

### Ratkaisu:

**a)**

Anodilla magnesium hapettuu:  $\text{Mg(s)} \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-}$ .

Katodilla hopeaionit pelkistyvät:  $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ag(s)}$ .

Kennon kokonaisreaktio on  $\text{Mg(s)} + 2 \text{Ag}^{+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Ag(s)}$ .

$$E_{\text{h}}(\text{Mg}) = +2,37 \text{ V}$$

$$E_{\text{p}}(\text{Ag}^{+}) = +0,80 \text{ V}$$

$$\text{Lähdejännite}/E_{\text{pari}} = 2,37 \text{ V} + 0,80 \text{ V} = 3,17 \text{ V}.$$

**b)**

$$I = 100 \text{ mA} = 0,100 \text{ A}$$

$$t = 8,0 \text{ h} = 28\,800 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

Magnesiumin hapettumisreaktiosta  $z = 2$ .

Hopeaionien pelkistymisreaktiosta  $z = 1$ .

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

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

$$c(\text{Ag}^{+}) = ?$$

Ratkaistaan hapettuvien magnesiumionien ainemäärä suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

$$n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{0,100 \text{ A} \cdot 28\,800 \text{ s}}{2 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 0,014925 \text{ mol.}$$

Magnesiumionien konsentraatio kasvaa, joten uusi ionikonsentraatio on:

$$c(\text{Mg}^{2+}) = 1,0 \text{ mol/l} + \frac{0,014925 \text{ mol}}{0,150 \text{ l}} = 1,0995 \text{ mol/l} \approx 1,1 \text{ mol/l.}$$

**(Huom. yhteenlaskussa merkitsevät numerot katsotaan desimaalien mukaan eli vastauksessa on yksi desimaali.)**

Ratkaistaan pelkistyvien hopeaionien ainemäärä suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

$$n(\text{Ag}^+) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{0,100 \text{ A} \cdot 28\,800 \text{ s}}{1 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 0,029849 \text{ mol.}$$

Hopeaionien konsentraatio pienenee, joten uusi ionikonsentraatio on:

$$c(\text{Ag}^+) = 1,0 \text{ mol/l} - \frac{0,029849 \text{ mol}}{0,150 \text{ l}} = 0,80101 \text{ mol/l} \approx 0,8 \text{ mol/l.}$$

**(Huom. vähennyslaskussa merkitsevät numerot katsotaan desimaalien mukaan eli vastauksessa on yksi desimaali.)**

**Vastaus:**

- a) Lähdejännite on 3,17 V.  
Kennon kokonaisreaktio on  
 $\text{Mg(s)} + 2 \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Ag(s)}.$
- b)  $c(\text{Mg}^{2+}) = 1,1 \text{ mol/l}$   
 $c(\text{Ag}^+) = 0,8 \text{ mol/l}.$



2. Litiummetallia valmistetaan elektrolysoimalla inerteillä grafiittielektrodeilla sulaa litiumkloridia 10,0 A:n sähkövirralla 2,00 tunnin ajan.

a) Laske elektrolyysissä muodostuvan litiummetallin massa. Kuinka suuri tilavuus kloorikaasua syntyy samassa ajassa, kun kaasun lämpötila on 290 °C ja paine on 101,325 kPa? (4p)

b) Inerteillä grafiittielektrodeilla elektrolysoidaan litiumkloridin vesiliuosta, jonka konsentraatio on 1,0 mol/l ja lämpötila 25 °C. Mitkä ovat anodi- ja katodireaktiot? (2p)

(Yo kevät 2016)

**Ratkaisu:**

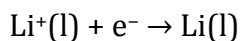
a)

$$I = 10,0 \text{ A}$$

$$t = 2,00 \text{ h} = 7\,200 \text{ s}$$

$$F = 96\,485 \text{ As/mol}$$

Litiumionien pelkistymisreaktion



perusteella  $z = 1$

$$M(\text{Li}) = 6,941 \text{ g/mol}$$

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

Ratkaistaan pelkistyvien litiumionien ainemäärä suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

$$n(\text{Li}^+) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{10,0 \text{ A} \cdot 7\,200 \text{ s}}{1 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 0,74623 \text{ mol.}$$

Muodostuvan litiumin massa  $m(\text{Li}) = 0,74623 \text{ mol} \cdot 6,941 \text{ g/mol} = 5,1796 \text{ g} \approx 5,18 \text{ g}$ .

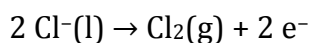
$$p(\text{Cl}_2) = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T(\text{Cl}_2) = (290 + 273,15) \text{ K} = 563,15 \text{ K}$$

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

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

Kloridi-ionien hapettumisreaktion



perusteella  $z = 2$ . Ratkaistaan hapettuvien kloridi-ionien ainemäärä suureyhtälöstä  $It = nzF$ , josta

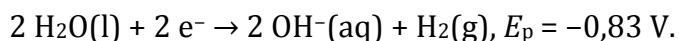
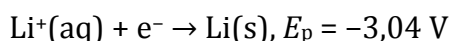
$$n(\text{Cl}^{-}) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{10,0 \text{ A} \cdot 7 \cdot 200 \text{ s}}{2 \cdot 96\,485 \text{ As/mol}} = 0,37311 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kloorin tilavuus ideaalikaasun tilanyhtälöstä  $pV = nRT$ , josta

$$V(\text{Cl}_2) = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0,37311 \text{ mol} \cdot 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 563,15 \text{ K}}{101,325 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = 0,017242 \text{ m}^3 \approx 17,2 \text{ dm}^3.$$

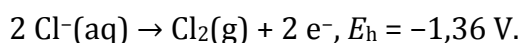
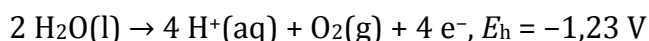
**b)**

Mahdolliset pelkistymisreaktiot katodilla ovat:



Koska vedyn pelkistymispotentiaali vedestä on suurempi, katodilla muodostuu vetyä.

Mahdolliset hapettumisreaktiot anodilla ovat:

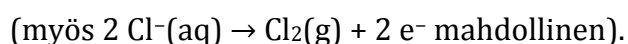
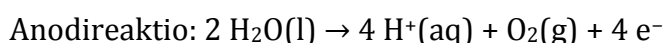
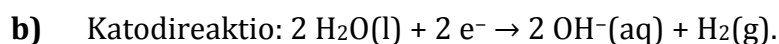


Koska hapen hapettumispotentiaali vedestä on suurempi, anodilla muodostuu happea.

**(Huom. Vastauksessa voi myös mainita, että klooriakin voi muodostua, sillä kloorin hapettumispotentiaalinen arvo on hyvin lähellä hapen arvoa.)**

**Vastaus:**

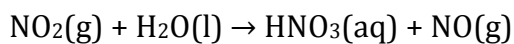
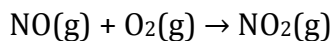
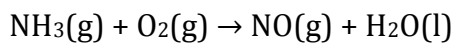
**a)**  $m(\text{Li}) = 5,18 \text{ g}, V(\text{Cl}_2) = 17,2 \text{ dm}^3$



## Jakso 3 Reaktiosarja- ja seoslaskut

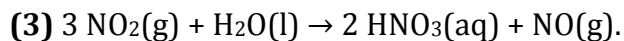
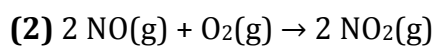
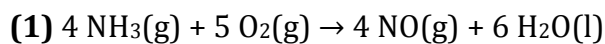
### Luku 3.1 Reaktiosarjojen laskennallinen käsittely

**3.1** Typpihappoa valmistetaan teollisesti ammoniakista niin sanotulla Ostwaldin menetelmällä seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti. Tasapainota reaktioyhtälöt ensin erikseen ja laadi niistä kokonaisreaktion reaktioyhtälö. Hyödynnä kokonaisreaktion reaktioyhtälöä ja ratkaise, kuinka monta moolia ammoniakkia tarvitaan, jotta saadaan 1,0 moolia typpihappoa?



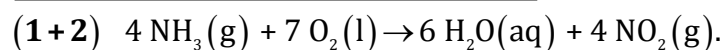
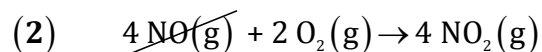
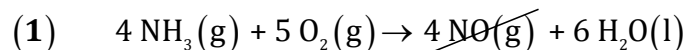
#### Ratkaisu:

Tasapainotetut reaktioyhtälöt ovat (reaktioyhtälöt on numeroitu kokonaisreaktion reaktioyhtälön laatimista varten):

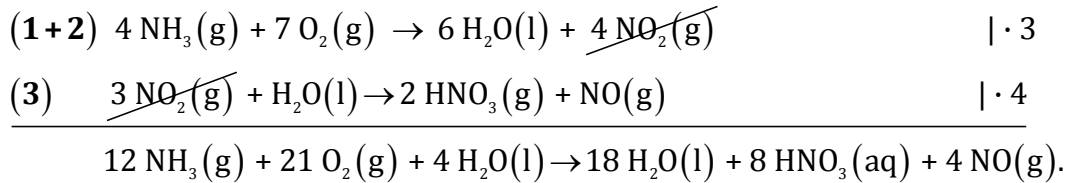


Reaktioiden **(1)** ja **(2)** yhteinen aine on typpimonoksidi NO.

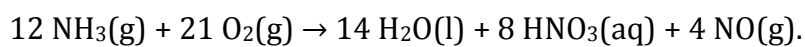
Eliminoidaan tämä aine kertomalla reaktioyhtälö **(2)** kahdella ja laskemalla reaktioyhtälöt **(1)** ja **(2)** tämän jälkeen puolittain yhteen. Näin saatua reaktiota on merkitty tunnuksella **(1+2)**.



Seuraavassa vaiheessa eliminoidaan edellä saadun reaktion **(1+2)** ja alkuperäisen reaktion **(3)** yhteinen aine eli typpidioksidi  $\text{NO}_2$  kertomalla reaktio **(1+2)** kolmella ja reaktio **(3)** neljällä. Lasketaan jälleen nämä reaktioyhtälöt puolittain yhteen, jolloin saadaan:



Saadusta reaktioyhtälöstä voidaan vielä vähentää neljä moolia vesimolekyyliä molemmilta puolilta reaktioyhtälöä, jolloin kokonaisreaktion reaktioyhtälöksi saadaan:



Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella

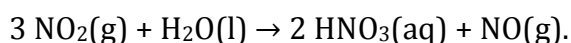
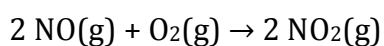
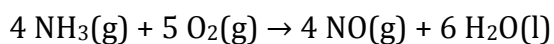
$$\frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{HNO}_3)} = \frac{12}{8} = 1,5$$

$$\Rightarrow n(\text{NH}_3) = 1,5 \cdot n(\text{HNO}_3).$$

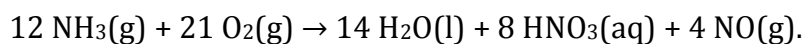
Kun  $n(\text{HNO}_3) = 1,0 \text{ mol}$ , tarvittava  $n(\text{NH}_3) = 1,5 \cdot 1,0 \text{ mol} = 1,5 \text{ mol}$ .

### Vastaus:

Reaktioyhtälöt ovat:

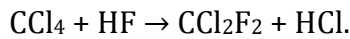
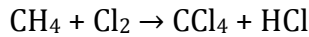


Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



$$n(\text{NH}_3) = 1,5 \text{ mol}.$$

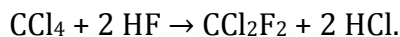
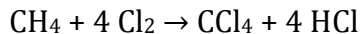
**3.2** Ponnekaasuina ja jäähdytysaineina käytetyt CFC-yhdisteet eli niin sanotut freonit, ovat vaikuttaneet maapallon otsonikerroksen ohenemiseen, joten niiden käytöstä on luovuttu ja tilalle on kehitetty ympäristöystävällisempiä aineita. Tavallisinta freonia eli difluoridikloorimetaania valmistettiin seuraavalla reaktiosarjalla:



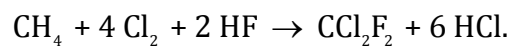
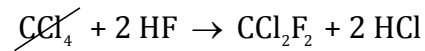
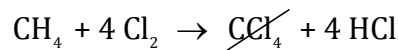
Laadi kokonaisreaktion reaktioyhtälö ja laske, kuinka suuri tilavuus kloorikaasua (NTP-oloissa) tarvitaan, jotta muodostuisi 156 mg difluoridikloorimetaania.

**Ratkaisu:**

Erikseen tasapainotetut reaktioyhtälöt ovat:



Koska yhteisenä aineena olevan  $\text{CCl}_4$ :n kerroin on sama molemmissa reaktioissa, voidaan reaktiot laskea puolittain yhteen kokonaisreaktion yhtälöksi:



$$m(\text{CCl}_2\text{F}_2) = 156 \text{ mg} = 0,156 \text{ g}$$

$$M(\text{CCl}_2\text{F}_2) = 120,91 \text{ g/mol}$$

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

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

Difluoridikloorimetaanin ainemäärä on:

$$n(\text{CCl}_2\text{F}_2) = \frac{m(\text{CCl}_2\text{F}_2)}{M(\text{CCl}_2\text{F}_2)} = \frac{0,156 \text{ g}}{120,91 \text{ g/mol}} = 0,0012902 \text{ mol}$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella:

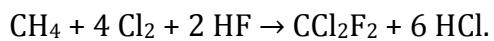
$$\frac{n(\text{Cl}_2)}{n(\text{CCl}_2\text{F}_2)} = \frac{4}{1} \Rightarrow n(\text{Cl}_2) = 4 \cdot n(\text{CCl}_2\text{F}_2) = 4 \cdot 0,0012902 \text{ mol} = 0,0051608 \text{ mol}.$$

Kloorikaasun tilavuus NTP-olosuhteissa on:

$$V(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \cdot V_m = 0,0051608 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 0,11565 \text{ dm}^3 \approx 0,116 \text{ dm}^3.$$

**Vastaus:**

Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



$$V(\text{Cl}_2) = 0,116 \text{ dm}^3.$$

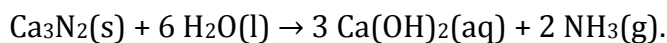
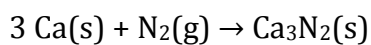
**3.3** Korkeassa lämpötilassa typpikaasu reagoi kalsiummetallin kanssa siten, että muodostuu kalsiumnitridiä  $\text{Ca}_3\text{N}_2$ . Kun tämän kiinteän aineen annetaan reagoida veden kanssa, muodostuu kalsiumhydroksidin vesiliuos ja ammoniakkikaasua.

**a)** Laadi näiden reaktioiden ja kokonaisreaktion reaktioyhtälöt. Merkitse aineiden olomuodot huoneen lämpötilassa.

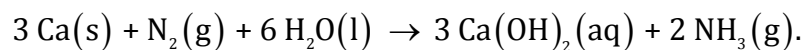
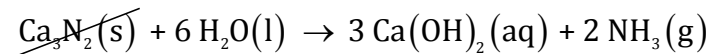
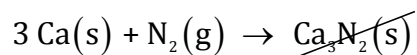
**b)** Laske, kuinka monta kilogrammaa ammoniakkia voidaan enintään valmistaa, kun käytettävissä on  $0,800 \text{ m}^3$  typpikaasua (NTP) ja  $3,50 \text{ kg}$  kalsiummetallia.

**Ratkaisu:**

**a)** Erikseen kirjoitetut ja tasapainotetut reaktioyhtälöt ovat:



Koska yhteisen aineen ( $\text{Ca}_3\text{N}_2$ ) kerroin on sama molemmissa reaktioyhtälöissä, voidaan tämä aine eliminoida ja laskea reaktioyhtälöt puolittain yhteen. Kokonaisreaktion reaktioyhtälöksi saadaan:



**b)**

$$V(\text{N}_2) = 800 \text{ dm}^3$$

$$m(\text{Ca}) = 3,50 \text{ kg} = 3\,500 \text{ g}$$

$$M(\text{Ca}) = 40,08 \text{ g/mol}$$

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

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

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

Koska tehtävässä on annettu kahden lähtöaineen (typpikaasu ja kalsium) määrä, tulee ensin ratkaista reaktion rajoittava tekijä.

Typpikaasun ainemäärä on:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} = \frac{800 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 35,698 \text{ mol}.$$

Kalsiumin ainemäärä on:

$$n(\text{Ca}) = \frac{m(\text{Ca})}{M(\text{Ca})} = \frac{3\,500\text{ g}}{40,08\text{ g/mol}} = 87,325\text{ mol.}$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella  $\frac{n(\text{Ca})}{n(\text{N}_2)} = \frac{3}{1}$ .

Tämän perusteella 35,698 mol typpikaasua vaatisi täydellisesti reagoidakseen  $3 \cdot 35,698\text{ mol} = 107,09\text{ mol}$  kalsiumia.

Koska kalsiumia on käytössä vain 87,325 mol, loppuu se reaktiossa ensin, eli se on reaktion rajoittava tekijä. Muodostuvan ammoniakkin ainemäärä lasketaan siis kalsiumin ainemäärän perusteella.

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella:

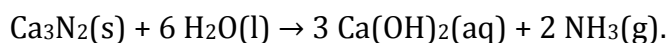
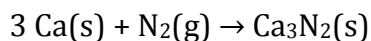
$$\frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{Ca})} = \frac{2}{3} \Rightarrow n(\text{NH}_3) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{Ca}) = \frac{2}{3} \cdot 87,325\text{ mol} = 58,217\text{ mol.}$$

Kysytty ammoniakkin massa on:

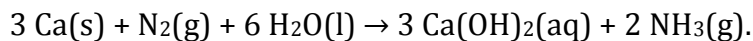
$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 58,217\text{ mol} \cdot 17,034\text{ g/mol} = 991,67\text{ g} \approx 0,992\text{ kg.}$$

**Vastaus:**

**a)** Reaktioyhtälöt ovat:



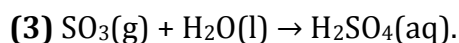
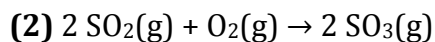
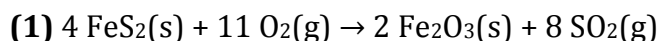
Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



**b)**  $m(\text{NH}_3) = 0,992\text{ kg.}$



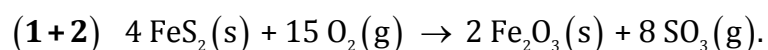
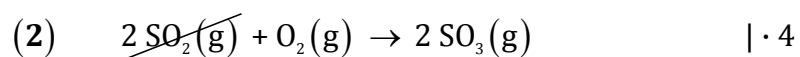
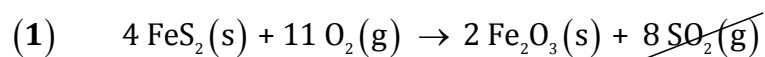
**3.4** Rikkihappoa saadaan valmistettua hapettamalla pyriittiä FeS<sub>2</sub> seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti:



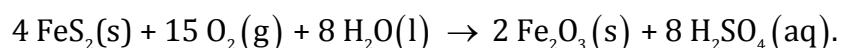
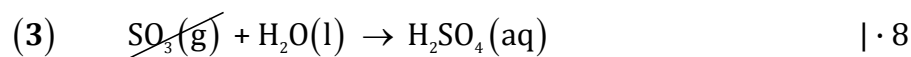
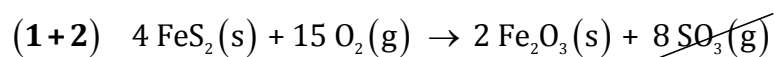
Laske, kuinka monta litraa 96,0-massaprosenttista rikkihappoliuosta (tiheys 1,84 kg/dm<sup>3</sup>) voidaan valmistaa 500 kilogrammasta pyriittiä.

**Ratkaisu:**

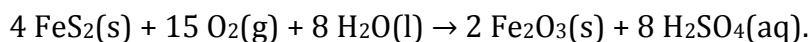
Kokonaisreaktion reaktioyhtälön laatimista varten eliminoidaan reaktioyhtälöistä **(1)** ja **(2)** yhteinen aine (SO<sub>2</sub>) kertomalla reaktio **(2)** neljällä ja laskemalla reaktioyhtälöt puolittain yhteen.



Näin saadun reaktion ja reaktion **(3)** yhteinen aine on SO<sub>3</sub>, joka saadaan eliminoitua kertomalla reaktioyhtälö **(3)** kahdeksalla. Lasketaan tämän jälkeen reaktiot **(1+2)** ja **(3)** puolittain yhteen:



Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



$$m(\text{FeS}_2) = 500 \text{ kg} = 500\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{FeS}_2) = 119,99 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(\text{H}_2\text{SO}_4) = 96,0 \%$$

$$\rho(\text{liuos}) = 1,84 \text{ kg/dm}^3$$

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

Pyriitin ainemäärä on:

$$n(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{FeS}_2)}{M(\text{FeS}_2)} = \frac{500\,000 \text{ g}}{119,99 \text{ g/mol}} = 4\,167,0 \text{ mol.}$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{FeS}_2)} = \frac{8}{4} \Rightarrow n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot n(\text{FeS}_2) = 2 \cdot 4\,167,0 \text{ mol} = 8\,334,0 \text{ mol.}$$

Lasketaan rikkihapon massa liuoksessa:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8\,334,0 \text{ mol} \cdot 98,086 \text{ g/mol} = 817\,450 \text{ g.}$$

Koska rikkihapon pitoisuudeksi on ilmoitettu 96 m-%, on koko liuoksen massan oltava:

$$m(\text{liuos}) = \frac{817\,450 \text{ g}}{0,96} = 851\,510 \text{ g.}$$

Hyödyntämällä suureyhtälöä  $\rho = \frac{m}{V}$  saadaan kysytty liuostilavuus ratkaistua seuraavasti:

$$V(\text{liuos}) = \frac{m(\text{liuos})}{\rho(\text{liuos})} = \frac{851,510 \text{ kg}}{1,84 \text{ kg/dm}^3} = 462,78 \text{ dm}^3 \approx 463 \text{ l.}$$

**Vastaus:**

$$V(\text{liuos}) = 463 \text{ litraa.}$$

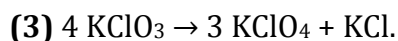
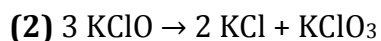
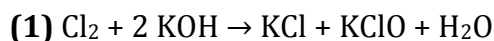
3.5 Kaliumperkloraattia  $\text{KClO}_4$  voidaan valmistaa seuraavalla reaktiosarjalla:



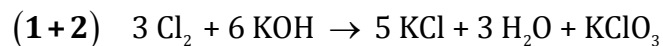
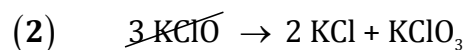
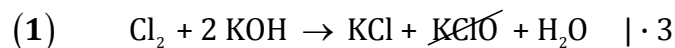
Määritä reaktioyhtälöiden kertoimet ja laadi kokonaisreaktion reaktioyhtälö. Mikä tilavuus kloorikaasua ( $t = 22,0 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $p = 1\,035 \text{ mbar}$ ) tarvitaan, kun valmistetaan 200 g kaliumperkloraattia?

**Ratkaisu:**

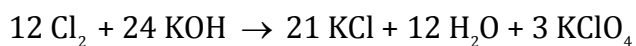
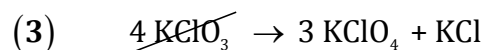
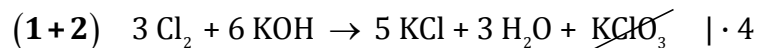
Tasapainotetut reaktioyhtälöt ovat:



Eliminoidaan reaktioyhtälöistä **(1)** ja **(2)** yhteinen aine ( $\text{KClO}$ ) kertomalla reaktioyhtälö **(1)** kolmella, ja lasketaan reaktioyhtälöt tämän jälkeen puolittain yhteen:



Eliminoidaan vielä näin saadusta reaktioyhtälöstä ja reaktioyhtälöstä **(3)** yhteinen aine ( $\text{KClO}_3$ ) ja lasketaan nämäkin reaktioyhtälöt puolittain yhteen:



Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



$$m(\text{KClO}_4) = 200 \text{ g}$$

$$M(\text{KClO}_4) = 138,55 \text{ g/mol}$$

$$T = (22 + 273,15) \text{ K} = 295,15 \text{ K}$$

$$p = 1\,035 \text{ mbar} = 1,035 \text{ bar}$$

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

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

Kaliumperkloraaatin ainemäärä on:

$$n(\text{KClO}_4) = \frac{m(\text{KClO}_4)}{M(\text{KClO}_4)} = \frac{200 \text{ g}}{138,55 \text{ g/mol}} = 1,4435 \text{ mol.}$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Cl}_2)}{n(\text{KClO}_4)} = \frac{12}{3} \Rightarrow n(\text{Cl}_2) = 4 \cdot n(\text{KClO}_4) = 4 \cdot 1,4435 \text{ mol} = 5,7740 \text{ mol.}$$

Kysytty kloorikaasun tilavuus saadaan ratkaistua ideaalikaasun tilanyhtälöstä  $pV = nRT$ , josta

$$V(\text{Cl}_2) = \frac{nRT}{p} = \frac{5,7740 \text{ mol} \cdot 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}}{1,035 \text{ bar}} = 136,90 \text{ dm}^3 \approx 137 \text{ dm}^3.$$

### Vastaus:

Reaktioyhtälöt ovat:

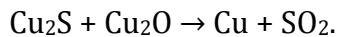
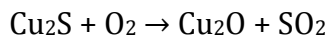
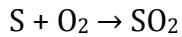
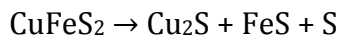


Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



$$V(\text{Cl}_2) = 137 \text{ dm}^3.$$

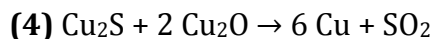
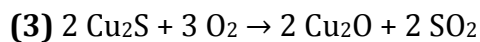
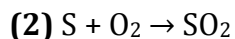
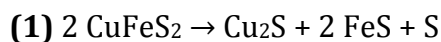
**3.6** Kuparin valmistuksen suurin ympäristöongelma on prosessissa syntyvä rikkidioksidi. Niin sanottu liekkisulatusmenetelmä on Suomessa kehitetty, muita valmistustapoja ympäristöystävällisempi tehokkaamman rikkidioksidin talteenoton ansiosta. Menetelmä hyödyntää muun muassa kuparikiisua  $\text{CuFeS}_2$ , joka muutetaan kuumentamalla kupari(I)sulfidiksi. Osa tästä sulfidista hapetetaan kupari(I)oksidiksi. Tämä oksidi reagoi jäljellä olevan kupari(I)sulfidin kanssa, jolloin muodostuu metallista kuparia. Prosessia kuvaavat reaktioyhtälöt ovat:



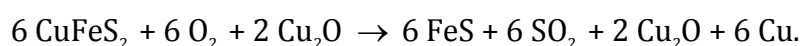
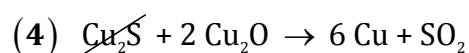
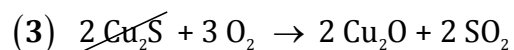
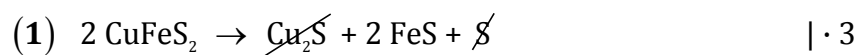
Laadi kokonaisreaktion yhtälö ja laske mikä tilavuus rikkidioksidia (NTP-oloissa) syntyy, kun valmistetaan 1,0 kg kuparia.

### Ratkaisu:

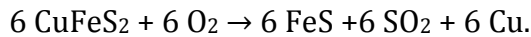
Tasapainotetut reaktioyhtälöt ovat:



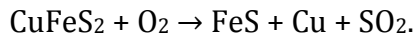
Koska reaktiossa **(1)** muodostuvaa kupari(I)sulfidia  $\text{Cu}_2\text{S}$  tarvitaan yhteensä 3 moolia reaktioiden **(3)** ja **(4)** lähtöaineena, tulee reaktio **(1)** kertoa kolmella. Tästä seuraa, että myös reaktio **(2)** tulee kertoa kolmella, jotta kaikki reaktiossa **(1)** muodostunut rikki hapettuu rikkidioksidiksi. Eliminoidaan tämän jälkeen  $\text{Cu}_2\text{S}$  ja  $\text{S}$  ja lasketaan kaikki reaktiot puolittain yhteen:



Reaktioyhtälöstä voidaan vähentää vielä 2 moolia Cu<sub>2</sub>O:a molemmilta puolin, jolloin saadaan:



Tämän reaktioyhtälön pienimmät kokonaislukukertoimet ovat:



$$m(\text{Cu}) = 1,0 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$$

$$M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g/mol}$$

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

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

Kuparin ainemäärä on:

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{1\,000 \text{ g}}{63,55 \text{ g/mol}} = 15,74 \text{ mol}.$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella:

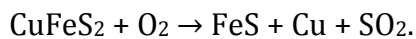
$$n(\text{SO}_2) = n(\text{Cu}) = 15,74 \text{ mol}.$$

Muodostuvan rikkidioksidin tilavuus NTP-olosuhteissa on:

$$V(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \cdot V_m = 15,74 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 352,7 \text{ dm}^3 \approx 350 \text{ dm}^3.$$

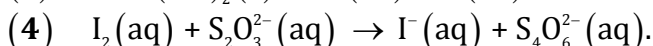
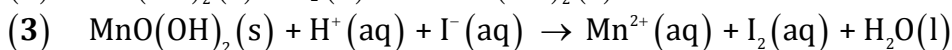
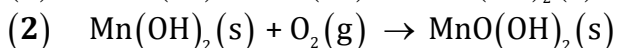
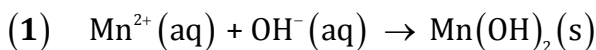
**Vastaus:**

Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:



$$V(\text{SO}_2) = 350 \text{ dm}^3.$$

**3.7** Luonnonvesien laatua arvioitaessa vedestä määritetään usein niin sanottu biologinen hapenkulutus (BOD). Tässä menetelmässä vesinäyte kyllästetään hapella ja happipitoisuus määritetään viiden vuorokauden kuluttua. Mikäli happipitoisuus tällöin on hyvin alhainen, on vedessä paljon orgaanista ainesta, joiden hapettumisreaktioissa on kulunut happea. Alhainen happipitoisuus on laadultaan huonon veden merkki. Veteen liunneen hapen määrä analysoidaan niin sanotulla Winklerin menetelmällä, jossa hyödynnetään seuraavia reaktioita:



**a)** Tasapainota reaktioyhtälöt. Hyödynnä reaktioiden **(2)** – **(4)** tasapainotuksessa hapetuslukuja.

**b)** Ratkaise veteen liunneen hapen konsentraatio seuraavien tietojen perusteella: kun reaktiossa **(3)** vapautunut jodi titrattiin natriumtiosulfaattiliuoksella, jonka konsentraatio oli  $5,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ , kului tätä liuosta 5,25 millilitraa. Tutkitun vesinäytteen tilavuus oli 50,0 millilitraa.

### Ratkaisu:

**a)**

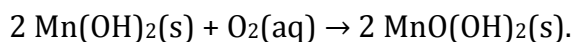
Reaktioyhtälö **(1)** on tasapainotettuna  $\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s})$ .

Reaktioyhtälön **(2)** tasapainotus hapetuslukujen avulla:

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Mn	+II	+IV	2
O	-II 0 (alkuaine hapessa)	-II	2
H	+I	+I	

Koska molemmat happimolekyylin atomit pelkistyvät hapetusluvulle -II, eli siirtyvien elektronien määrä on yhteensä neljä, tulee kahden mangaani-ionin hapettua.

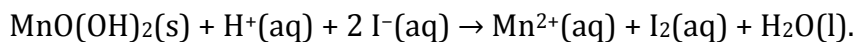
Tasapainotettu reaktioyhtälö **(2)** on:



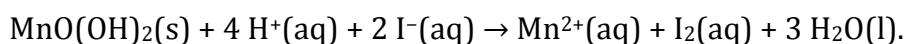
Reaktioyhtälön **(3)** tasapainotus hapetuslukujen avulla:

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Mn	+IV	+II	2
O	-II	-II	
H	+I	+I	
I	-I	0	1

Yhden jodimolekyylin I<sub>2</sub> muodostumiseksi kahden jodidi-ionin on hapetuttava, jolloin siirtyvien elektronien määrä on kaksi. Tällöin yksi mangaani(IV)-ioni pelkistyy. Kun tasapainotetaan elektronit, reaktioyhtälö on:



Kun tasapainotetaan happi- ja vetyatomit, reaktioyhtälöksi saadaan:

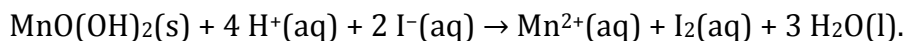


Tarkistetaan sähkövaraukset:

$$\text{Lähtöaineet: } 4 \cdot (+1) + 2 \cdot (-1) = +2$$

$$\text{Reaktiotuotteet: } 1 \cdot (+2) = +2$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö **(3)** on:

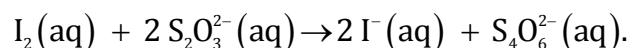




Reaktioyhtälön (4) tasapainotus hapetuslukujen avulla:

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
I	0	-I	1
S	+II	+II½ (laskennallisesti)	0,5
O	-II	-II	

Kun yksi jodimolekyyli pelkistyy jodidi-ioneiksi, tarvitaan kaksi elektronia. Tällöin yhteensä neljän tiosulfaatti-ionin rikkiatomin on hapetettava, joten tiosulfaatti-ionin ( $S_2O_3^{2-}$ ) eteen tulee kerroin 2. Reaktioyhtälö on tässä vaiheessa:

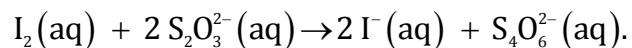


Myös muut atomit (happi) on tasapainossa. Tarkistetaan sähkövaraukset:

$$\text{Lähtöaineet: } 2 \cdot (-2) = -4$$

$$\text{Reaktiotuotteet } 2 \cdot (-1) + 1 \cdot (-2) = -4$$

Tasapainotettu reaktioyhtälö (4) on:



**b)**

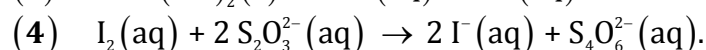
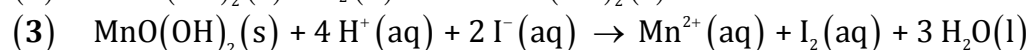
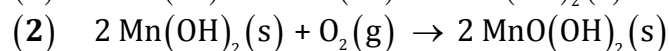
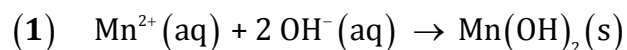
$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 5,25 \text{ ml} = 0,00525 \text{ dm}^3$$

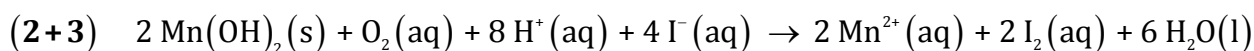
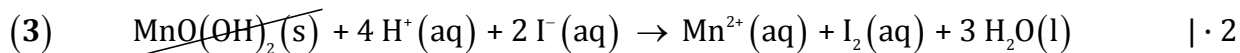
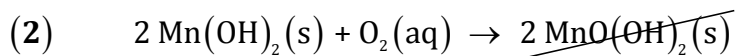
$$V(\text{vesinäyte}) = 50,0 \text{ ml} = 0,0500 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{O}_2(aq)) = ?$$

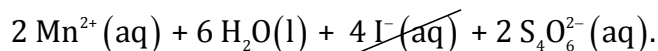
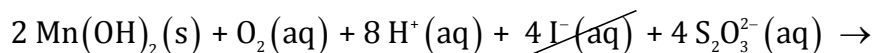
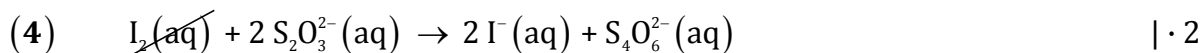
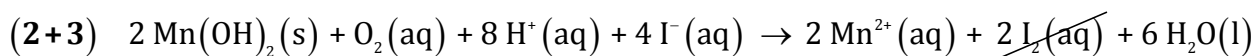
Reaktioyhtälöt ovat:



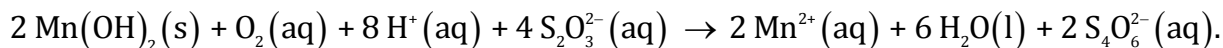
Yhdistetään reaktiot **(2)** ja **(3)** kertomalla reaktioyhtälö **(3)** kahdella ja eliminoidaan yhteinen aine ( $\text{MnO}(\text{OH})_2$ ) sekä lasketaan reaktiot puolittain yhteen:



Eliminoidaan näin saadusta reaktiosta **(2+3)** ja reaktiosta **(4)** yhteinen aine ( $\text{I}_2$ ) kertomalla reaktio **(4)** kahdella ja laskemalla reaktiot puolittain yhteen:



Tästä reaktiosta voidaan vielä eliminoida 4 moolia jodidi-ioneja  $\text{I}^-$  molemmilta puolilta reaktioyhtälöä, jolloin kokonaisreaktion reaktioyhtälöksi saadaan:



Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella  $\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})} = \frac{1}{4}$ .

Lasketaan tiosulfaatti-ionien ainemäärä:

$$\begin{aligned} n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) &= n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,00525 \text{ dm}^3 \\ &= 2,6250 \cdot 10^{-5} \text{ mol}. \end{aligned}$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella

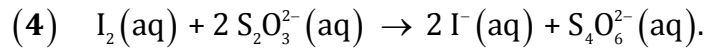
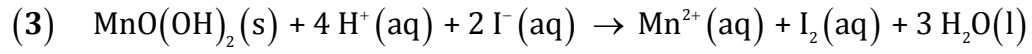
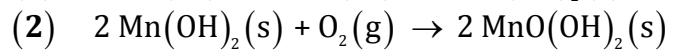
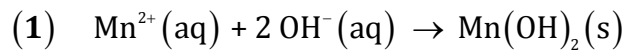
$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} \cdot n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{4} \cdot 2,6250 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = 6,5625 \cdot 10^{-6} \text{ mol}.$$

Kysytty veteen liuennan hapen konsentraatio on:

$$c(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)}{V(\text{vesinäyte})} = \frac{6,5625 \cdot 10^{-6} \text{ mol}}{0,0500 \text{ dm}^3} = 1,3125 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

**Vastaus:**

**a)**



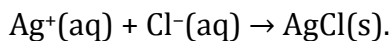
**b)**  $c(\text{O}_2(\text{aq})) = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ .

## Luku 3.2 Seosreaktioiden laskennallinen käsittely

**3.8** Kiinteä hopeanitraatti sisälsi epäpuhtautena natriumnitraattia. Kun 3,012 grammaa tätä seosta liuotettiin veteen ja seokseen lisättiin ylimäärin natriumkloridiliuosta, hopeaionit saostuivat hopeakloridina. Kun saostuma suodatettiin, kuivattiin ja punnittiin, sen massaksi saatiin 2,466 g. Mikä oli epäpuhtautena olevan natriumnitraatin osuus massaprosentteina?

### Ratkaisu:

Hopeaionien saostumista kuvaava reaktioyhtälö on:



$$m(\text{AgNO}_3 + \text{NaNO}_3) = 3,012 \text{ g}$$

$$m(\text{AgCl}) = 2,466 \text{ g}$$

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

$$M(\text{AgNO}_3) = 169,88 \text{ g/mol}$$

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

Lasketaan saostuneen hopeakloridin ainemäärä:

$$n(\text{AgCl}) = \frac{m(\text{AgCl})}{M(\text{AgCl})} = \frac{2,466 \text{ g}}{143,32 \text{ g/mol}} = 0,0172063 \text{ mol.}$$

Saostumisreaktion reaktioyhtälön perusteella  $n(\text{Ag}^+) = n(\text{AgCl}) = 0,0172063 \text{ mol}$ .

Koska yksi mooli hopeanitraattia tuottaa veteen liuetessaan yhden moolin hopeaioneja,

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{Ag}^+) = 0,0172063 \text{ mol.}$$

Seoksessa olleen hopeanitraatin massa on:

$$m(\text{AgNO}_3) = n(\text{AgNO}_3) \cdot M(\text{AgNO}_3) = 0,0172063 \text{ mol} \cdot 169,88 \text{ g/mol} = 2,92301 \text{ g.}$$

Seoksessa olleen natriumnitraatin massa on:

$$m(\text{NaNO}_3) = m(\text{seos}) - m(\text{AgNO}_3) = 3,012 \text{ g} - 2,92301 \text{ g} = 0,088990 \text{ g.}$$

$$m\text{-}\%(\text{NaNO}_3) = \frac{m(\text{NaNO}_3)}{m(\text{seos})} \cdot 100 \% = \frac{0,088990 \text{ g}}{3,012 \text{ g}} \cdot 100 \% = 2,9545 \% \approx 2,955 \%.$$

### Vastaus:

$$m\text{-}\%(\text{NaNO}_3) = 2,955 \%.$$

**3.9** Eräs lannoite sisältää ammoniumsulfaattia  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ja kaliumsulfaattia  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Kun tätä seosta kuumennetaan väkevässä natriumhydroksidiliuoksessa, vapautuu pistävän hajuista ammoniakkikaasua. Kun 0,225 grammaa lannoitetta käsiteltiin natriumhydroksidiliuoksella ja vapautunut ammoniakkikaasu johdettiin veteen, saatiin liuos, jonka neutraloitumiseen kului 15,7 millilitraa suolahappoliuosta, jonka konsentraatio oli  $0,100 \text{ mol/dm}^3$ . Kuinka monta grammaa ammoniumsulfaattia lannoite sisälsi?

**Ratkaisu:**

Tehtävän tiedoilla voidaan ratkaista ammoniumsulfaatin  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  määrä, sillä ammoniakkia muodostuu vain tästä yhdisteestä. Ammoniakin vesiliuoksen ja suolahapon välillä tapahtuu seuraava neutraloitumisreaktio:

$\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ , joka voidaan esittää myös seuraavasti:

$\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4) = 0,225 \text{ g}$$

$$c(\text{HCl}) = 0,100 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 15,7 \text{ ml} = 0,0157 \text{ dm}^3$$

$$M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 132,154 \text{ g/mol}$$

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = ?$$

Lasketaan ammoniakin vesiliuoksen neutraloitumiseen kuluneen suolahapon ainemäärä:

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 0,100 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0157 \text{ dm}^3 = 1,5700 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Ammoniumsulfaatin  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  kaavasta nähdään, että yksi mooli ammoniumsulfaattia tuottaa kaksi mooli ammoniakkia  $\text{NH}_3$ . Lannoitenäytteessä olleen ammoniumsulfaatin ainemäärä on siten:  $n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{NH}_3) = \frac{1}{2} \cdot 1,5700 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 7,8500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ .

Ratkaistaan kysytty ammoniumsulfaatin massa:

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = n \cdot M = 7,8500 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 132,154 \text{ g/mol} = 0,10374 \text{ g} \approx 0,104 \text{ g.}$$

**Vastaus:**

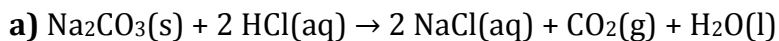
$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 0,104 \text{ g.}$$

**3.10** Kun natriumkarbonaattia ja natriumkloridia sisältävään seokseen lisätään suolahappoa, havaitaan värittömän ja hajuttoman kaasun muodostumista. Seoksen koostumusta varten tehtiin seuraava tutkimus: seosta punnittiin 3,00 grammaa, ja siihen lisätiin ylimäärä suolahappoa. Reaktiossa muodostuneen kaasun tilavuus oli 315 cm<sup>3</sup>, kun lämpötila oli 21,0 °C ja paine 96,5 kPa.

a) Kirjoita kaasun muodostumista kuvaavan reaktion tasapainotettu reaktioyhtälö.

b) Ratkaise seoksen sisältämän natriumkarbonaatin osuus massaprosentteina.

**Ratkaisu:**



b)

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}) = 3,00 \text{ g}$$

$$V(\text{CO}_2) = 315 \text{ cm}^3 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T = (21,0 + 273,15) \text{ K} = 294,15 \text{ K}$$

$$p = 96,5 \text{ kPa} = 96,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

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

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

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

Lasketaan hiilidioksidin ainemäärä ideaalikaasun tilanyhtälöstä  $pV = nRT$ , josta

$$n(\text{CO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{96,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 315 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 294,15 \text{ K}} = 0,012429 \text{ mol.}$$

a)-kohdan reaktioyhtälön perusteella  $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0,012429 \text{ mol}$ .

Lasketaan natriumkarbonaatin massa seoksessa:

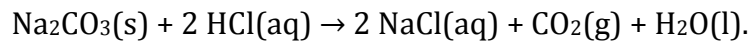
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,012429 \text{ mol} \cdot 105,99 \text{ g/mol} = 1,3173 \text{ g.}$$

Natriumkarbonaatin osuus massaprosentteina on:

$$m\text{-}\%(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{seos})} \cdot 100\% = \frac{1,3173 \text{ g}}{3,00 \text{ g}} \cdot 100\% = 43,910\% \approx 43,9\%$$

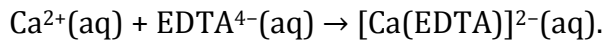
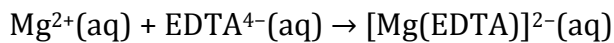
**Vastaus:**

**a)** Reaktioyhtälö on:



**b)**  $m\text{-}\%(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 43,9\%$ .

**3.11** Veden kokonaiskovuus voidaan analysoida kompleksometrisellä titrauksella, jolloin veden kovuuden aiheuttavat  $\text{Ca}^{2+}$ - ja  $\text{Mg}^{2+}$ -ionit reagoivat seuraavasti:



Reaktiossa merkintä  $\text{EDTA}^{4-}(\text{aq})$  tarkoittaa etyleenidiamiinitetraetikkahapon natriumsuolasta ( $\text{Na}_4\text{EDTA}$ ) tulleita ioneja.

Eräässä vesitutkimuksessa 0,100 litran vesinäyte kulutti 31,5 ml EDTA-liuosta, jonka konsentraatio oli 0,0104 mol/l. Kun vedestä otettiin vielä toinen 0,100 litran näyte, josta saostettiin kalsiumionit sulfaattina, ja liuokseen jääneet magnesiumionit titrattiin kuten edellä, kului tässä titrauksessa EDTA-liuosta 18,7 ml. Laske  $\text{Ca}^{2+}$ - ja  $\text{Mg}^{2+}$ -ionien konsentraatiot tutkitussa vesinäytteessä.

**Ratkaisu:**

$$V(\text{vesinäyte}_1) = 100 \text{ ml}$$

$$V(\text{vesinäyte}_2) = 100 \text{ ml}$$

$$V_1(\text{EDTA}) = 31,5 \text{ ml} = 0,0315 \text{ l}$$

$$V_2(\text{EDTA}) = 18,7 \text{ ml} = 0,0187 \text{ l}$$

$$c(\text{EDTA}) = 0,0104 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) = ?$$

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

EDTA:n ainemäärä ( $n_1$ ), joka reagoi sekä kalsium- että magnesiumionien kanssa on  
 $n_1(\text{EDTA}) = c(\text{EDTA}) \cdot V_1(\text{EDTA}) = 0,0104 \text{ mol/l} \cdot 0,0315 \text{ l} = 3,2760 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ , joten  
 $n(\text{Ca}^{2+}) + n(\text{Mg}^{2+}) = 3,2760 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ .

EDTA:n ainemäärä ( $n_2$ ), joka reagoi vain magnesiumionien kanssa on:

$$n_2(\text{EDTA}) = c(\text{EDTA}) \cdot V_2(\text{EDTA}) = 0,0104 \text{ mol/l} \cdot 0,0187 \text{ l} = 1,9448 \cdot 10^{-4} \text{ mol}, \text{ joten}$$
$$n(\text{Mg}^{2+}) = 1,9448 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Vesinäytteen kalsiumionien ainemäärä saadaan laskettua seuraavasti:

$$n(\text{Ca}^{2+}) = [n(\text{Ca}^{2+}) + n(\text{Mg}^{2+})] - n(\text{Mg}^{2+}) = 3,2760 \cdot 10^{-4} \text{ mol} - 1,9448 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$
$$= 1,3312 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$



Kysytyt ionien konsentraatiot ovat:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V(\text{näyte})} = \frac{1,3312 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ l}} = 1,3312 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \approx 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Mg}^{2+}) = \frac{n(\text{Mg}^{2+})}{V(\text{näyte})} = \frac{1,9448 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ l}} = 1,9448 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \approx 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

**Vastaus:**

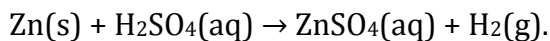
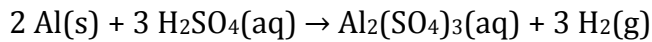
$$c(\text{Ca}^{2+}) = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Mg}^{2+}) = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

**3.12** Metalliseos sisältää sinkkiä ja alumiinia, jotka reagoivat happojen kanssa vetykaasua vapauttaen. Kun metalliseoksesta otettiin 1,00 g:n näyte ja sen annettiin reagoita rikkihapon kanssa, vapautui 84,0 milligrammaa vetykaasua. Kuinka monta grammaa alumiinia oli seoksessa?

**Ratkaisu:**

Metallien reaktiot rikkihapon kanssa ovat:



$$m(\text{Al} + \text{Zn}) = 1,00 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2) = 84,0 \text{ mg} = 0,0840 \text{ g}$$

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

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

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

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

Lasketaan vapautuneen vetykaasun ainemäärä:

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{0,0840 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol}} = 0,041667 \text{ mol.}$$

Alumiinin ja rikkihapon välisen reaktion reaktioyhtälöstä nähdään, että alumiinin ja tästä reaktiosta vapautuneen vetykaasun ainemäärien suhde on:

$$\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{Al})} = \frac{3}{2}, \text{ joten } n(\text{H}_2) = \frac{3}{2} \cdot n(\text{Al}).$$

Sinkin ja rikkihapon välisen reaktion reaktioyhtälöstä puolestaan nähdään, että sinkin ja tästä reaktiosta vapautuneen vetykaasun ainemäärien suhde on:

$$\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{Zn})} = \frac{1}{1}, \text{ joten } n(\text{H}_2) = n(\text{Zn}).$$

Edellä laskettu vetykaasun ainemäärä voidaan siten merkitä seuraavasti:

$$n(\text{H}_2) = 0,041667 \text{ mol} = \frac{3}{2} \cdot n(\text{Al}) + n(\text{Zn}).$$

Kun merkitään seoksessa olevan alumiinin massaa merkinnällä  $x$  g, on seoksessa olevan sinkin massa tällöin  $(1,00 - x)$  g. Alumiinin ja sinkin ainemäärät voidaan edellisten merkintöjen ja suureyhtälön  $n = \frac{m}{M}$  avulla merkitä seuraavasti:

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

$$n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = \frac{(1,00 - x) \text{ g}}{65,38 \text{ g/mol}}$$

Kun lausekkeeseen  $n(\text{H}_2) = 0,041667 \text{ mol} = \frac{3}{2} \cdot n(\text{Al}) + n(\text{Zn})$  sijoitetaan alumiinin ja sinkin ainemäärien lausekkeet, saadaan:

$0,041667 = \frac{3}{2} \cdot \frac{x}{26,98} + \frac{(1,00 - x)}{65,38}$ . Laskuissa yksiköt on jätetty pois. Kun tästä lausekkeesta lasketaan  $x$ :n arvo, saadaan  $x = 0,65436 \Rightarrow m(\text{Al}) = 0,65436 \text{ g} \approx 0,654 \text{ g}$ .

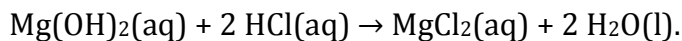
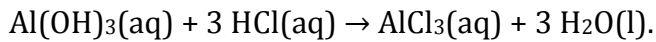
**Vastaus:**

$$m(\text{Al}) = 0,654 \text{ g}.$$

**3.13** Mahahappojen neutralointiin tarkoitetut lääkkeet (antasidit) sisältävät muun muassa alumiinihydroksidia ja magnesiumhydroksidia. Kun 2,50 grammaa erästä antasidia neutraloitiin suolahappoliuoksella, titrauksessa kului 37,7 millilitraa suolahappoa, jonka konsentraatio oli 2,50 mol/dm<sup>3</sup>. Ratkaise kummankin hydroksidin massa näytteessä.

**Ratkaisu:**

Neutraloitumisreaktiot ovat:



$$m(\text{Al(OH)}_3 + \text{Mg(OH)}_2) = 2,50 \text{ g}$$

$$c(\text{HCl}) = 2,50 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 37,7 \text{ ml} = 0,0377 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Al(OH)}_3) = 78,004 \text{ g/mol}$$

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

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

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

Ratkaistaan neutraloitumisreaktiossa kuluneen suolahapon ainemäärä:

$$n(\text{HCl}) = c \cdot V = 2,50 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0377 \text{ dm}^3 = 0,092450 \text{ mol}.$$

Alumiinihydroksidin neutraloitumisreaktion perusteella tässä reaktiossa kuluneen suolahapon ainemäärä on:

$$\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{Al(OH)}_3)} = \frac{3}{1}, \text{ joten } n(\text{HCl}) = 3 \cdot n(\text{Al(OH)}_3).$$

Magnesiumhydroksidin neutraloitumisreaktion perusteella tässä reaktiossa kuluneen suolahapon ainemäärä on:

$$\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{Mg(OH)}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{HCl}) = 2 \cdot n(\text{Mg(OH)}_2).$$

Kun yhdistetään laskettu suolahapon ainemäärä ja edelliset lausekkeet, saadaan

$$0,092450 \text{ mol} = 3 \cdot n(\text{Al(OH)}_3) + 2 \cdot n(\text{Mg(OH)}_2).$$

Kun tähän lausekkeeseen sijoitetaan alumiinin massa (merkintä  $x$ ) ja moolimassa sekä magnesiuminhydroksidin massa (merkintä  $2,50 - x$ ) ja moolimassa, saadaan:

$$0,092450 = 3 \cdot \frac{x}{78,004} + 2 \cdot \frac{(2,50 - x)}{58,326} \quad (\text{lasku on suoritettu ilman yksiköitä}).$$

Kun lasketaan  $x$ :n arvo, saadaan  $x = 1,6131 = m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,6131 \text{ g} \approx 1,61 \text{ g}$   
 $m(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 2,50 \text{ g} - 1,6131 \text{ g} = 0,88690 \text{ g} \approx 0,89 \text{ g}$ .

**Vastaus:**

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,61 \text{ g}$$

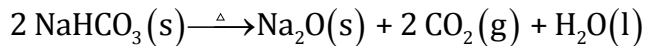
$$m(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 0,89 \text{ g}.$$

**3.14** Kuumennettaessa 10,0 g natriumvetykarbonaatin ja kalsiumkarbonaatin seosta muodostui näiden metallien oksideja ja 4,69 g hiilidioksidia. Kuinka monta grammaa kalsiumkarbonaattia seos sisälsi?

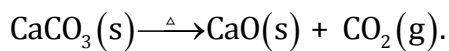
**Ratkaisu:**

Kuumennuksen aikana tapahtuvat reaktiot ovat:

Natriumvetykarbonaatin hajoaminen:



Kalsiumkarbonaatin hajoaminen:



$$m(\text{NaHCO}_3 + \text{CaCO}_3) = 10,0 \text{ g}$$

$$m(\text{CO}_2) = 4,69 \text{ g}$$

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

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

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

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

Lasketaan reaktioissa muodostuneen hiilidioksidin kokonaisainemäärä:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{4,69 \text{ g}}{44,01 \text{ g/mol}} = 0,10657 \text{ mol.}$$

Kun merkitään seoksessa olevan kalsiumkarbonaatin massaa merkinnällä  $x$  g, natriumvetykarbonaatin massa on  $(10,0 - x)$  g.

Hyödyntämällä suureyhtälöä  $n = \frac{m}{M}$  ja sijoittamalla siihen äsken merkityt massat, saadaan natriumvetykarbonaatin ja kalsiumkarbonaatin ainemäärät lausekkeiksi:

$$n(\text{NaHCO}_3) = \frac{m(\text{NaHCO}_3)}{M(\text{NaHCO}_3)} = \frac{(10,0 - x) \text{ g}}{84,008 \text{ g/mol}}$$

ja

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{x \text{ g}}{100,09 \text{ g/mol}}.$$

Natriumvetykarbonaatin hajoamisreaktion reaktioyhtälöstä nähdään, että tästä reaktiosta vapautuneen hiilidioksidin ainemäärä  $n(\text{CO}_2) = n(\text{NaHCO}_3)$ .

Vastaavasti kalsiumkarbonaatin hajoamisreaktion reaktioyhtälöstä nähdään, että tässä reaktiossa vapautuneen hiilidioksidin ainemäärä  $n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3)$ .

Koska hiilidioksidin kokonaisainemäärä tiedetään, voidaan tämä määrä ilmoittaa natriumvetykarbonaatin ja kalsiumkarbonaatin ainemäärien avulla seuraavasti:

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{NaHCO}_3) + n(\text{CaCO}_3).$$

Sijoittamalla tähän lausekkeeseen natriumvetykarbonaatin ja kalsiumkarbonaatin ainemäärien lausekkeet, saadaan:

$$0,10657 = \frac{(10,0 - x)}{84,008} + \frac{x}{100,09} \text{ (laskuun ei ole merkitty yksiköitä.)}$$

Kun tästä lasketaan  $x$ :n arvo, saadaan  $x = 6,5178 \Rightarrow m(\text{CaCO}_3) = 6,5178 \text{ g} \approx 6,52 \text{ g}$ .

**Vastaus:**

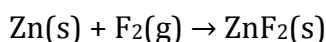
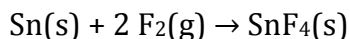
$$m(\text{CaCO}_3) = 6,52 \text{ g}.$$

**3.15** Tinaa ja sinkkiä sisältävästä metalliseoksesta otettiin 1,540 g:n näyte. Näytteen annettiin reagoita fluorikaasun kanssa, jota oli ylimäärin. Reaktiossa saatiin tina(IV)fluoridin ja sinkkifluoridin seos, jonka massa oli 2,489 g.

- a) Kirjoita tasapainotetut reaktioyhtälöt, kun seoksen metallit reagoivat fluorikaasun kanssa.  
b) Laske metalliseoksen massaprosenttinen koostumus.

**Ratkaisu:**

a)



b)

$$m(\text{Sn} + \text{Zn}) = 1,540 \text{ g}$$

$$m(\text{SnF}_4 + \text{ZnF}_2) = 2,489 \text{ g}$$

$$M(\text{SnF}_4) = 194,71 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{ZnF}_2) = 103,38 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Sn}) = 118,71 \text{ g/mol}$$

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

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

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

Merkitään seoksessa olleen tinan massaa merkinnällä  $x$  g. Sinkin massa on tällöin  $(1,540 \text{ g} - x)$  g.

Tinan ja sinkin ainemäärien lausekkeet ovat siten:

$$n(\text{Sn}) = \frac{x \text{ g}}{118,71 \text{ g/mol}}$$

$$n(\text{Zn}) = \frac{(1,540 - x) \text{ g}}{65,38 \text{ g/mol}}$$

Kohdan a) reaktioyhtälöiden perusteella:

$$n(\text{SnF}_4) = n(\text{Sn}) = \frac{x \text{ g}}{118,71 \text{ g/mol}}$$

$$n(\text{ZnF}_2) = n(\text{Zn}) = \frac{(1,540 - x) \text{ g}}{65,38 \text{ g/mol}}$$



Lisäksi tiedetään, että  $m(\text{SnF}_4) + m(\text{ZnF}_2) = 2,489 \text{ g}$ .

Suureyhtälöä  $m = n \cdot M$  käyttämällä, tämä lauseke voidaan kirjoittaa muotoon:

$$2,489 \text{ g} = n(\text{SnF}_4) \cdot M(\text{SnF}_4) + n(\text{ZnF}_2) \cdot M(\text{ZnF}_2).$$

Kun tähän lausekkeeseen sijoitetaan edellä esitetyt tina(IV)fluoridin ja sinkkifluoridin ainemäärien lausekkeet, saadaan:

$$2,489 = \frac{x}{118,71} \cdot M(\text{SnF}_4) + \frac{(1,540 - x)}{65,38} \cdot M(\text{ZnF}_2).$$

Kun tähän lausekkeeseen vielä sijoitetaan tina(IV)fluoridin ja sinkkifluoridin moolimassojen lukuarvot ja ratkaistaan  $x$ :n arvo, saadaan:

$$2,489 = \frac{x}{118,71} \cdot 194,71 + \frac{(1,540 - x)}{65,38} \cdot 103,38 \text{ (laskuun ei ole merkitty yksiköitä.)}$$

$$x = 0,914173 \Rightarrow m(\text{Sn}) = 0,914173 \text{ g}.$$

Lasketaan tinan osuus massaprosentteina:

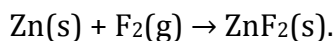
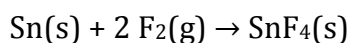
$$m\text{-}\%(\text{Sn}) = \frac{0,914173 \text{ g}}{1,540 \text{ g}} \cdot 100 = 59,3619 \% \approx 59,36 \%$$

Sinkin osuus on:  $100,00 \% - 59,36 \% = 40,64 \%$ .

**(Huom! Lasku ratkaistu siten, että välituloksiin on merkitty kuusi merkitsevää numeroa = kaksi enemmän kuin annetuissa massoissa. Tarkemmilla arvoilla laskettaessa prosentiosuudet ovat 59,35 % ja 40,65 %).**

### Vastaus:

a) Reaktioyhtälöt ovat:



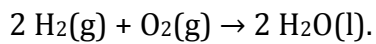
b)  $m\text{-}\%(\text{Sn}) = 59,36 \%$

$$m\text{-}\%(\text{Zn}) = 40,36 \%$$

**3.16** Vetyä ja happea sisältävän kaasuseoksen tilavuus on 47,2 ml (NTP). Seoksen läpi johdetaan sähköpurkaus, jolloin kaikki happi reagoi muodostaen vettä. Ratkaise alkuperäisen seoksen tilavuusprosenttinen koostumus, kun reagoimatta jääneen vedyn tilavuus oli 10,6 ml (NTP).

**Ratkaisu:**

Hapen ja vedyn välillä tapahtuvan reaktion reaktioyhtälö on:



$$V(\text{O}_2 + \text{H}_2) = 47,2 \text{ ml}$$

$$V(\text{H}_2)_{\text{reagoimaton}} = 10,6 \text{ ml}$$

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

$$\text{til-\%}(\text{H}_2) = ?$$

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

Reaktiossa kuluneen hapen ja vedyn yhteistilavuus saadaan vähentämällä kaasujen kokonaistilavuudesta reagoimattoman vedyn tilavuus:

$$V(\text{O}_2 + \text{H}_2)_{\text{reagoinut}} = 47,2 \text{ ml} - 10,6 \text{ ml} = 36,6 \text{ ml}.$$

Reaktioyhtälön perusteella vedyn ja hapen ainemäärien suhde on  $\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}$ . Koska

molemmat lähtöaineet ovat kaasuja, voidaan ainemäärien suhde merkitä myös tilavuuksien

suhteena  $\frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}$ , josta  $V(\text{H}_2) = 2 \cdot V(\text{O}_2)$ .

Kun ilmoitetaan reagoineen kaasuseoksen tilavuus ( $V(\text{O}_2 + \text{H}_2)_{\text{reagoinut}} = 36,6 \text{ ml}$ ) tämän suhteen avulla, saadaan lauseke  $V(\text{O}_2) + 2 \cdot V(\text{O}_2) = 36,6 \text{ ml}$

$$\Rightarrow 3 \cdot V(\text{O}_2) = 36,6 \text{ ml}.$$

$$\text{Tästä ratkaistuna } V(\text{O}_2) = \frac{36,6 \text{ ml}}{3} = 12,2 \text{ ml}.$$

Reaktiossa kuluneen vedyn tilavuus on  $V(\text{H}_2) = 2 \cdot V(\text{O}_2) = 2 \cdot 12,2 \text{ ml} = 24,4 \text{ ml}$ .

Alkuperäisessä seoksessa olleen vedyn kokonaistilavuus on siten  $24,4 \text{ ml} + 10,6 \text{ ml} = 35,0 \text{ ml}$ .

Lasketaan vedyn ja hapen osuudet tilavuusprosentteina:

$$\text{til-}\%(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{seos})} \cdot 100 \% = \frac{35,0 \text{ ml}}{47,2 \text{ ml}} \cdot 100 \% = 74,153 \% \approx 74,2 \%$$

$$\text{til-}\%(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{seos})} \cdot 100 \% = \frac{12,2 \text{ ml}}{47,2 \text{ ml}} \cdot 100 \% = 25,847\% \approx 25,8 \%$$

**Vastaus:**

$$\text{til-}\%(\text{H}_2) = 74,2 \%$$

$$\text{til-}\%(\text{O}_2) = 25,8 \%$$

**3.17** Kun magnesiumnauhaa poltetaan kaasuliekissä, voi magnesiumoksidin lisäksi muodostua myös magnesiumnitridiä  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ , kun magnesium reagoi ilman typpikaasun kanssa. Kun tällaiseen seokseen lisätään vettä, magnesiumnitridi hajoaa magnesiumoksidiksi ja ammoniakiksi.

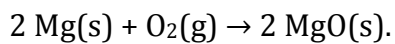
a) Kirjoita näiden reaktioiden tasapainotetut reaktioyhtälöt.

b) Opiskelija poltti upokkaassa palan magnesiumia ja sai lopputuotteen massaksi 0,470 g. Hän antoi muodostuneen lopputuotteen reagoita veden kanssa, ja haihdutti lopulta ylimääräisen veden pois. Punnittuaan kiinteän aineen uudelleen, sen massa oli 0,486 g. Kuinka monta massaprosenttia magnesiumnitridiä oli muodostunut magnesiumin palamisreaktiossa?

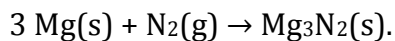
**Ratkaisu:**

a)

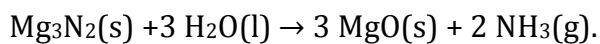
Magnesiumin reaktio hapen kanssa:



Magnesiumin reaktio typen kanssa:



Magnesiumnitridin hajoaminen veden vaikutuksesta:



b)

$$m(\text{MgO} + \text{Mg}_3\text{N}_2) = 0,470 \text{ g}$$

$$m(\text{MgO}) = 0,486 \text{ g}$$

$$M(\text{MgO}) = 40,31 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Mg}_3\text{N}_2) = 100,95 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(\text{Mg}_3\text{N}_2) = ?$$

Palamisreaktiossa muodostuneessa seoksessa magnesiumoksidin ( $\text{MgO}$ ) ja magnesiumnitridin ( $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ) yhteismassa on 0,470 g. Kun merkitään magnesiumnitridin massaa merkinnällä  $x$  g, on magnesiumoksidin massa tässä seoksessa

$$m_1(\text{MgO}) = (0,470 - x) \text{ g}.$$

Kun magnesiumnitridi reagoi veden kanssa, muodostuu lisää magnesiumoksidia. Merkitään magnesiumnitridin ja veden reaktion seurauksena syntynyttä magnesiumoksidin massaa merkinnällä  $m_2(\text{MgO})$ .

Koska magnesiumnitridin hajoamisen jälkeen kiinteä aine sisältää vain magnesiumoksidia, jonka massa on 0,486 g, saadaan lauseke:

$$0,486 \text{ g} = m_1(\text{MgO}) + m_2(\text{MgO}).$$

Kun tähän lausekkeeseen sijoitetaan edellä merkitty  $m_1(\text{MgO})$ , saadaan

$$0,486 = (0,470 - x) + m_2(\text{MgO}).$$

Kun hyödynnetään suureyhtälöä  $m = n \cdot M$ , saadaan edellinen lauseke muotoon:

$$0,486 = (0,470 - x) + n_2(\text{MgO}) \cdot M(\text{MgO}).$$

Magnesiumnitridin ja sen hajoamisreaktiossa muodostuneen magnesiumoksidin ainemäärien suhde on tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella:

$$\frac{n_2(\text{MgO})}{n(\text{Mg}_3\text{N}_2)} = \frac{3}{1}, \text{ joten } n_2(\text{MgO}) = 3 \cdot n(\text{Mg}_3\text{N}_2).$$

Magnesiumnitridin ainemäärä puolestaan on  $\frac{x \text{ g}}{M(\text{Mg}_3\text{N}_2)}$ .

Kun sijoitetaan nämä merkinnät lausekkeeseen  $0,486 = (0,470 - x) + n_2(\text{MgO}) \cdot M(\text{MgO})$ , saadaan:

$$0,486 = (0,470 - x) + 3 \cdot \frac{x}{M(\text{Mg}_3\text{N}_2)} \cdot M(\text{MgO}).$$

Sijoittamalla tähän lausekkeeseen magnesiumnitridin ja magnesiumoksidin moolimassat ja laskemalla  $x$ :n arvo, saadaan:

$$0,486 = (0,470 - x) + 3 \cdot \frac{x}{100,95} \cdot 40,31 \text{ (laskuun ei ole merkitty yksiköitä.)}, \text{ josta}$$

$$x = 0,080849 \Rightarrow m(\text{Mg}_3\text{N}_2) = 0,080849 \text{ g}.$$

Lasketaan lopuksi kysytty magnesiumnitridin osuus massaprosentteina:

$$m\text{-}\%(\text{Mg}_3\text{N}_2) = \frac{0,080849 \text{ g}}{0,470 \text{ g}} \cdot 100 \% = 17,202 \% \approx 17,2 \%$$

**Vastaus:**

$$m\text{-}\%(\text{Mg}_3\text{N}_2) = 17,2 \%$$

**3.18** Eräessä seoksessa oli  $x$  moolia kidevedellistä magnesiumsulfaattia  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  ja  $y$  moolia kidevedellistä sinkkisulfaattia  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ . Tätä seosta liuotettiin veteen 0,3973 g ja liuokseen lisättiin ylimäärin bariumkloridiliuosta, jolloin sulfaatti-ionit saostuivat bariumsulfaattina. Saostuma suodatettiin, kuivattiin ja punnittiin, jolloin massaksi saatiin 0,3550 g.

a) Merkitse ainemäärien  $x$  ja  $y$  avulla seoksen kokonaismassa.

b) Merkitse ainemäärien  $x$  ja  $y$  avulla saostuvien sulfaatti-ionien ainemäärä.

c) Ratkaise  $x:n$  ja  $y:n$  lukuarvot.

**Ratkaisu:**

a)

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O} + \text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = 0,3973 \text{ g}$$

$$n(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = x \text{ mol}$$

$$n(\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = y \text{ mol}$$

$$M(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = 246,492 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = 287,562 \text{ g/mol}$$

Suureyhtälöä  $m = n \cdot M$  käyttämällä, seoksen kokonaismassan lauseke on:

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O} + \text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})$$

$$= n(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) + n(\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})$$

$$\Rightarrow 0,3973 \text{ g} = x \text{ mol} \cdot 246,492 \text{ g/mol} + y \text{ mol} \cdot 287,562 \text{ g/mol}.$$

b)

Yhdisteiden kaavoista nähdään, että yksi mooli kidevedellistä magnesiumsulfaattia sisältää yhden moolin sulfaatti-ioneja. Samoin yksi mooli kidevedellistä sinkkisulfaattia sisältää yhden moolin sulfaatti-ioneja. Sulfaatti-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = x \text{ mol} + y \text{ mol}.$$

c)

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O} + \text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = 0,3973 \text{ g}$$

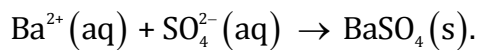
$$m(\text{BaSO}_4) = 0,3550 \text{ g}$$

$$M(\text{BaSO}_4) = 233,40 \text{ g/mol}$$

$$x = ?$$

$$y = ?$$

Sulfaatti-ionien saostumista kuvaava reaktioyhtälö on:



Saostuneen bariumsulfaatin ainemäärä on:

$$n(\text{BaSO}_4) = \frac{m(\text{BaSO}_4)}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{0,3550 \text{ g}}{233,40 \text{ g/mol}} = 1,52099 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Saostumisreaktion reaktioyhtälön perusteella:  $n(\text{SO}_4^{2-}) = n(\text{BaSO}_4) = 0,00152099 \text{ mol}$ .

b)-kohdan merkinnän mukaan  $n(\text{SO}_4^{2-}) = x \text{ mol} + y \text{ mol}$ .

a)-kohdan merkinnän mukaisesti  $x \text{ mol} \cdot 246,492 \text{ g/mol} + y \text{ mol} \cdot 287,562 \text{ g/mol} = 0,3973 \text{ g}$ .

Näistä lausekkeista saadaan seuraava yhtälöpari (yksiköt on jätetty merkitsemättä):

$$\begin{cases} x + y = 0,00152099 \\ x \cdot 246,492 + y \cdot 287,562 = 0,3973. \end{cases}$$

Kun ylemmästä yhtälöstä ratkaistaan  $y$  ja sijoitetaan se alempaan yhtälöön, saadaan

$$x \cdot 246,492 + (0,00152099 - x) \cdot 287,562 = 0,3973.$$

Tästä ratkaistuna

$$x = 9,75870 \cdot 10^{-4}$$

$$\Rightarrow x = 9,759 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$y = 0,00152099 - 9,75870 \cdot 10^{-4} = 5,4512 \cdot 10^{-4} \Rightarrow y = 5,451 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

**Vastaus:**

**a)**  $0,3973 \text{ g} = x \text{ mol} \cdot 246,492 \text{ g/mol} + y \text{ mol} \cdot 287,562 \text{ g/mol}$

**b)**  $n(\text{SO}_4^{2-}) = x \text{ mol} + y \text{ mol}$

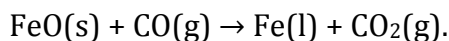
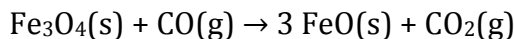
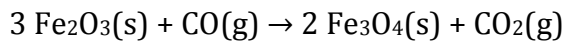
**c)**  $x = 9,759 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

$$y = 5,451 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

## Jakso 3 harjoittele lisää!

### Ylioppilastehtäviä

1. Teräksen valmistuksessa tarvittava raakarauta valmistetaan pelkistämällä rautamalmeja, jotka ovat pääasiassa raudan oksideja. Hematiittimalmin  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pelkistys tapahtuu korkeassa tornimaisessa uunissa eli masuunissa kolmessa vaiheessa:



a) Kirjoita kokonaisreaktion yhtälö. (1 p.)

b) Kuinka monta kilogrammaa rautaa saadaan, jos käytetään 125 kg  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ja hiilimonoksidia on ylimäärin? (3 p.)

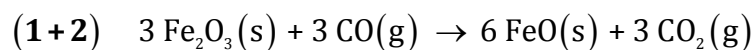
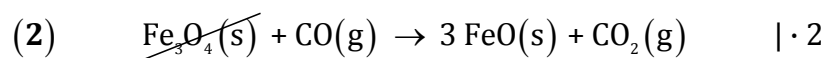
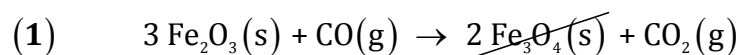
c) Masuuniin lisätään ylhäältä rautamalmin, koksen ja kalkkikiven seosta. Koksi on kivihiilestä valmistettua hiiltä. Alaosasta masuuniin puhalletaan kuumaa ilmaa. Sula rauta valuu masuunin pohjalle. Selitä, miksi masuuniin syötetään koksia ja ilmaa. (2 p.)

(Yo kevät 2016)

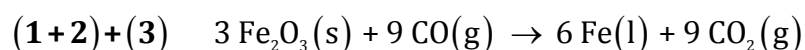
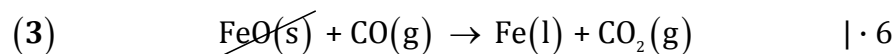
### Ratkaisu:

a)

Eliminoidaan seuraavista reaktioista (merkitty **(1)** ja **(2)**) yhteinen aine eli  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kertomalla alempi reaktio kahdella ja laskemalla reaktioyhtälöt puolittain yhteen.

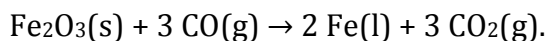


Eliminoidaan näin saadusta reaktiosta ja reaktiosarjan viimeisestä reaktiosta yhteinen aine ( $\text{FeO}$ ) kertomalla reaktio **(3)**  $\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$  kuudella ja laskemalla reaktioyhtälöt puolittain yhteen.





Kokonaisreaktion pienimmät kokonaislukukertoimet ovat:



**b)**

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 125 \text{ kg} = 125\,000 \text{ g}$$

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

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

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

Ratkaistaan rauta(III)oksidin ainemäärä:

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{125\,000 \text{ g}}{159,70 \text{ g/mol}} = 782,72 \text{ mol.}$$

Kokonaisreaktion reaktioyhtälön perusteella:

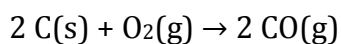
$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{2}{1}, \text{ joten } n(\text{Fe}) = 2 \cdot n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 2 \cdot 782,72 \text{ mol} = 1\,565,4 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kysytty raudan massa:

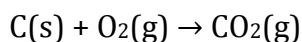
$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 1\,565,4 \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g/mol} = 87\,427 \text{ g} \approx 87,4 \text{ kg.}$$

**c)**

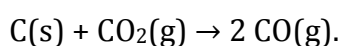
Reaktiosarjan eri vaiheissa tarvitaan hiilimonoksidia CO pelkistimenä. Koksen hiili ja ilman happi tuottavat sitä seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



tai:



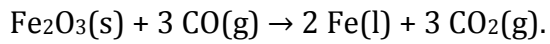
ja



Palamisreaktio on eksoterminen eli tuottaa lämpöä. Korkea lämpötila pitää raudan sulana, jolloin se valuu masuunin pohjalle.

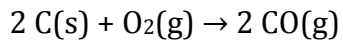
**Vastaus:**

- a) Kokonaisreaktion reaktioyhtälö on:

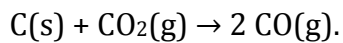
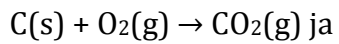


- b)  $m(\text{Fe}) = 87,4 \text{ kg}$ .

- c) Reaktiosarjan eri vaiheissa tarvitaan hiilimonoksidia CO pelkistimenä. Koksen hiili ja ilman happi tuottavat sitä seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



tai



Palamisreaktio on eksoterminen eli tuottaa lämpöä. Korkea lämpötila pitää raudan sulana, jolloin se valuu masuunin pohjalle.

2. Natriumkloridin ja kaliumkloridin suolaseosta punnittiin 25,0 g. Seos liuotettiin 200,0 millilitraan vettä, ja liuokseen lisättiin 600,0 ml  $\text{AgNO}_3$ -liuosta, jonka konsentraatio oli 0,700 mol/l. Muodostunut erittäin niukkaliukoinen saostuma suodatettiin. Jäljelle jääneeseen liuokseen upotettiin kuparilanka, jonka massa oli 100,00 g. Reaktion päätyttyä kuparilanka kuivatiin ja sen massaksi saatiin 101,52 g.

a) Kirjoita tutkimuksen aikana tapahtuvien reaktioiden yhtälöt. (2 p.)

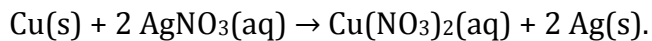
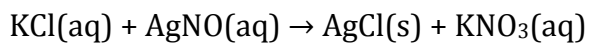
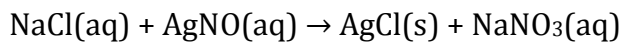
b) Laske suolaseoksen massaprosenttinen koostumus. (7 p.)

(Yo kevät 2016 jokeritehtävä)

### Ratkaisu:

a)

Reaktioyhtälöt ovat:



b)

$$m(\text{NaCl} + \text{KCl}) = 25,0 \text{ g}$$

$$V(\text{AgNO}_3) = 600,0 \text{ ml} = 0,6000 \text{ l}$$

$$c(\text{AgNO}_3) = 0,700 \text{ mol/l}$$

$$m_1(\text{kuparilanka}) = 100,00 \text{ g}$$

$$m_2(\text{kuparilanka}) = 101,52 \text{ g}$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,44 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{KCl}) = 74,55 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{AgNO}_3) = 169,88 \text{ g/mol}$$

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

$$M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g/mol}$$

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

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

Ratkaistaan kuparilangan massan muutoksesta ( $101,52 \text{ g} - 100,00 \text{ g} = 1,52 \text{ g}$ ), kuinka paljon hopeaioneja pelkistyi hopeanitraattiliuoksesta saostumisreaktioiden jälkeen. Koska kyseessä on hapettumis-pelkistymisreaktio, reaktiossa pelkistyy alkuaine hopeaa ja kupari hapettuu kupari-ioneiksi.

Merkitään muodostuneen hopean massaa seuraavasti:  $m(\text{Ag}) = x \text{ g}$

ja liuenneen kuparin massaa seuraavasti:  $m(\text{Cu}) = y \text{ g}$ .

Kuparilangan massan muutos on tällöin:  $1,52 \text{ g} = (x - y) \text{ g}$ .

Kun lausutaan kuparin massa ( $y$ ) hopean massan ( $x$ ) avulla, saadaan lauseke  $y = 1,52 - x$  (yksiköt jätetty merkitsemättä).

Reaktioyhtälöstä  $\text{Cu(s)} + 2 \text{AgNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu(NO}_3)_2(\text{aq}) + 2 \text{Ag(s)}$  nähdään, että  $n(\text{Ag}) = 2 \cdot n(\text{Cu})$ .

Hyödyntämällä suureyhtälöä  $n = \frac{m}{M}$ , edellä merkittyjä massojen lausekkeita ja tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien suhdetta, saadaan lauseke:

$$\frac{x}{107,87} = 2 \cdot \frac{(x - 1,52)}{63,55} \quad (\text{laskut suoritettu ilman yksiköitä}), \text{ josta ratkaistuna}$$

$$x = 2,1547 \text{ g} \Rightarrow m(\text{Ag}) = 2,1547 \text{ g}$$

Lasketaan liuoksesta pelkistyneiden hopeaionien ainemäärä:

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} = \frac{2,1547 \text{ g}}{107,87 \text{ g/mol}} = 0,019975 \text{ mol.}$$

Suolaseokseen lisättyjen hopeaionien kokonaisainemäärä on:

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{AgNO}_3) = c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) = 0,700 \text{ mol/l} \cdot 0,6000 \text{ l} = 0,42000 \text{ mol.}$$

Saostumisreaktioissa kuluneiden hopeaionien ainemäärä on:

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Ag}^+)_{\text{lisätty}} - n(\text{Ag}^+)_{\text{pelkistynyt}} = 0,42000 \text{ mol} - 0,019975 \text{ mol} = 0,40003 \text{ mol.}$$

Saostumisreaktioiden reaktioyhtälöiden perusteella

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Na}^+) + n(\text{K}^+) = 0,40003 \text{ mol.}$$

Hyödyntämällä tätä lauseketta ja suureyhtälöä  $n = \frac{m}{M}$  saadaan saostumisreaktiossa kuluneiden hopeaionien ainemäärän lausekkeeksi:

$$0,40003 = \frac{m(\text{Na}^+)}{M(\text{Na}^+)} + \frac{m(\text{K}^+)}{M(\text{K}^+)} = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} + \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl})}.$$

Kun merkitään suolaseoksessa olleen natriumkloridin massaa merkinnällä  $x$  g, on kaliumkloridin massa seoksessa  $(25,0 - x)$  g. Sijoittamalla nämä merkinnät ja natriumkloridin ja kaliumkloridin moolimassat edellä esitettyyn lausekkeeseen ja ratkaisemalla  $x$ :n arvo, saadaan:

$$0,40003 = \frac{x}{58,44} + \frac{(25,0 - x)}{74,55} \quad (\text{laskut suoritettu ilman yksiköitä), josta}$$

$$x = 17,492 \text{ g} \Rightarrow m(\text{NaCl}) = 17,492 \text{ g.}$$

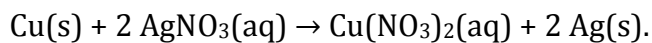
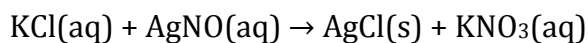
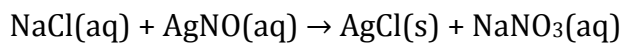
Lasketaan natriumkloridin massaprosenttinen osuus seoksessa:

$$m\text{-}\%(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{seos})} = \frac{17,492 \text{ g}}{25,0 \text{ g}} \cdot 100 \% = 69,968 \% \approx 70,0 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{KCl}) = 100,0 \% - 70,0 \% = 30,0 \%$$

**Vastaus:**

a) Reaktioyhtälöt ovat:



b)  $m\text{-}\%(\text{Na}) = 70,0 \%$

$$m\text{-}\%(\text{KCl}) = 30,0 \%$$

3. "Katsohan Watson", sanoi Sherlock Holmes, "olen saanut käsiini professori Moriartyn pirullisen keksinnön. Se on sinkki-magnesium-seos, jota hän aikoo käyttää tihutöissään, koska seos palaessaan kuumenee voimakkaasti. Meidän pitää määrittää seoksen koostumus. Watson, muistat varmaan kemian opinnoistasi, että molemmat seoksessa olevat metallit liukenevat suolahappoliuokseen, jolloin syntyy vetykaasua. Liuotamme tarkasti punnitun seosnäytteen ylimäärään suolahappoa ja punnitsemme muodostuneen vetykaasun. Tällöin voimme selvittää seoksen koostumuksen."

a) Laadi metallien liukenemista kuvaavat reaktioyhtälöt. (2 p.)

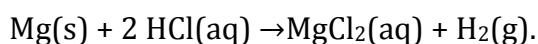
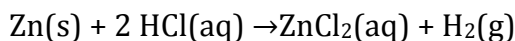
b) Kun 10,00 g sinkki- ja magnesiummetallien seosta liuotettiin ylimäärään suolahappoliuosta, vapautui 0,5171 g vetykaasua. Kuinka monta grammaa magnesiumia seos sisälsi? (4 p.)

(Yo syksy 2014)

### Ratkaisu:

a)

Reaktioyhtälöt ovat:



b)

$$m(\text{Zn} + \text{Mg}) = 10,00 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,5171 \text{ g}$$

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

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

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

Lasketaan reaktiossa muodostuneen vedyn kokonaisainemäärä:

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{0,5171 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol}} = 0,256498 \text{ mol.}$$

Kun merkitään seoksessa olleen magnesiumin massaa merkinnällä  $x$  g, on sinkin massa  $(10,00 - x)$  g.

Reaktioyhtälöiden perusteella yhdestä moolista sinkkiä tulee yksi mooli vetyä ja vastaavasti yhdestä moolista magnesiumia tulee yksi mooli vetyä eli vedyn kokonaisainemäärä voidaan merkitä seuraavasti:

$$n(\text{H}_2) = n(\text{Zn}) + n(\text{Mg}).$$

Hyödyntämällä suureyhtälöä  $n = \frac{m}{M}$ , vedyn ainemäärän lausekkeeksi saadaan:

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} + \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})}.$$

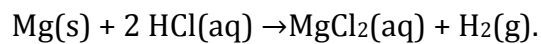
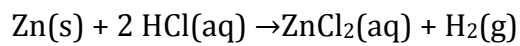
Sijoittamalla tähän lausekkeeseen edellä laskettu vedyn ainemäärä, sinkin ja magnesiumin massat ja moolimassat, saadaan:

$$0,256498 = \frac{(10,00 - x)}{65,38} + \frac{x}{24,31}, \text{ josta}$$

$$x = 4,00718 \text{ g} \Rightarrow m(\text{Mg}) = 4,00718 \text{ g} \approx 4,007 \text{ g}.$$

**Vastaus:**

**a)** Reaktioyhtälöt ovat:



**b)**  $m(\text{Mg}) = 4,007 \text{ g}.$

## Jakso 4 Erilaisia materiaaleja

### Luku 4.1 Metallit materiaaleina

4.5 Karnalliitti on mineraali, joka sisältää kaliumkloridia, magnesiumkloridia ja kidevettä. Ratkaise taulukon tietojen perusteella karnalliitin kemiallinen kaava.

Alkuaine	Osuus massaprosentteina
K	14,05
Cl	38,40
Mg	8,65
H	4,32
O	34,60

#### Ratkaisu:

Eri alkuaineiden massaprosenttisten osuuksien perusteella 100 grammassa mineraalia alkuaineiden massat ovat:

$$m(\text{K}) = 14,04 \text{ g}$$

$$m(\text{Cl}) = 38,40 \text{ g}$$

$$m(\text{Mg}) = 8,64 \text{ g}$$

$$m(\text{H}) = 4,32 \text{ g}$$

$$m(\text{O}) = 34,60 \text{ g.}$$

Eri alkuaineiden ainemäärät ovat:

$$n(\text{K}) = \frac{m(\text{K})}{M(\text{K})} = \frac{14,04 \text{ g}}{39,10 \text{ g/mol}} = 0,359079 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cl}) = \frac{m(\text{Cl})}{M(\text{Cl})} = \frac{38,40 \text{ g}}{35,45 \text{ g/mol}} = 1,08322 \text{ mol}$$

$$n(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{8,64 \text{ g}}{24,31 \text{ g/mol}} = 0,35541 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{4,32 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 4,2857 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{34,60 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 2,16250 \text{ mol.}$$

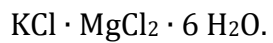


Muodostetaan ainemäärien suhde jakamalla kaikki ainemäärät pienimmällä (magnesiumin) ainemäärällä:

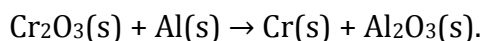
$$n(\text{K}):n(\text{Cl}):n(\text{Mg}):n(\text{H}):n(\text{O}) = 1,01 : 3,04 : 1,00 : 12,0 : 6,08.$$

Ainemäärien pienimpien kokonaislukujen suhde on 1 : 3 : 1 : 12 : 6, josta karnalliitin kaavaksi saadaan  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .

**Vastaus:**



4.12 Kromia puhdistetaan pelkistämällä sitä kemiallisesti kromi(III)oksidista alumiinilla oheisen tasapainottamattoman reaktioyhtälön mukaan



- a) Selitä, miksi alumiini sopii pelkistimeksi tähän reaktioon.
- b) Tasapainota reaktioyhtälö hapetuslukujen avulla.
- c) Reaktion entalpiamuutos ( $\Delta H$ ) on  $-536$  kJ. Vapautuuko vai sitoutuuko reaktiossa lämpöä, eli onko reaktio ekso- vai endoterminen? Perustele.
- d) Eräällä kerralla kromi(III)oksidia oli käytettävissä 14,0 tonnia ja alumiinia ylimäärin. Puhdasta kromia saatiin 8,8 tonnia. Mikä oli kromin prosentuaalinen saanto?

**Ratkaisu:**

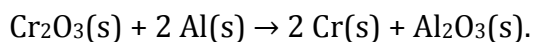
a)

Alumiini on kromia epäjalompi metalli. Reaktiossa alumiiniatomit hapettuvat pelkistäen kromi-ionit alkuaine kromiksi.

b)

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
Cr	+III	0	pelkistyy	3
O	-II	-II	ei muutosta	
Al	0	+III	hapettuu	3

Koska lähtöaineessa on kaksi kromiatomia, tarvitaan näiden atomien pelkistymiseen yhteensä kuusi elektronia. Kahden alumiiniatomin on tällöin hapetuttava. Reaktioyhtälö on:



c)

Reaktiossa vapautuu lämpöä eli reaktio on eksoterminen, sillä eksotermisen reaktion entalpiamuutos merkitään negatiivisena lukuna.

**d)**

$$m(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 14,0 \text{ t} = 14,0 \cdot 10^6 \text{ g}$$

$$M(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 152,00 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Cr}) = 8,8 \text{ t}$$

$$M(\text{Cr}) = 52,00 \text{ g/mol}$$

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

Kromi(III)oksidin ainemäärä on:

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_3) = \frac{14,0 \cdot 10^6 \text{ g}}{152,00 \text{ g/mol}} = 92\,105 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella  $n(\text{Cr}) = 2 \cdot n(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 184\,210 \text{ mol}$ , jonka perusteella kromin teoreettinen saanto on:

$$m(\text{Cr}) = 184\,210 \text{ mol} \cdot 52,00 \text{ g/mol} = 9\,578\,900 \text{ g} \approx 9,579 \text{ t.}$$

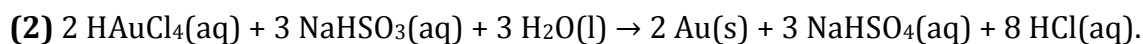
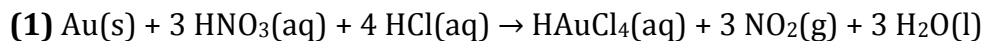
Kromin prosentuaalinen saanto on:

$$\text{saanto-\%}(\text{Cr}) = \frac{8,8 \text{ t}}{9,579 \text{ t}} \cdot 100 \% = 91,87 \% \approx 92 \%$$

**Vastaus:**

- a)** Alumiini on kromia epäjalompi metalli. Reaktiossa alumiiniatomit hapettuvat pelkistäen kromi-ionit alkuaine kromiksi.
- b)** Reaktioyhtälö on:  
$$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2 \text{Al}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Cr}(\text{s}) + \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}).$$
- c)** Reaktiossa vapautuu lämpöä eli reaktio on eksoterminen, sillä eksotermisen reaktion entalpiamuutos merkitään negatiivisena lukuna.
- d)**  $\text{saanto-\%}(\text{Cr}) = 92 \%$ .

**4.13** Toisen maailmansodan aikana saksalaisten fysiikkojen Max von Lauen ja James Franckin Nobel-palkinnot liuotettiin kuningasveteen, jotta palkintoja ei voida viedä heiltä pois. Kulta saatiin uudelleen talteen käsittelemällä kultaioniliuos natriumvetysulfiitilla. Kullan liukenemista ja talteenottoa kuvaavat reaktioyhtälöt ovat:



a) Päättele hapetuslukumuutosten avulla, mikä aine hapettuu ja mikä pelkistyy reaktioissa (1) ja (2).

b) Laske, kuinka suuri tilavuus natriumvetysulfiittiliuosta ( $c = 2,00 \text{ mol/dm}^3$ ) tarvittiin, jotta kaikki kuningasveteen liuennut kulta saatiin talteen, kun Nobel-mitalin massa oli 200 grammaa ja se sisälsi 96 massaprosenttia kultaa. Oleta, että kulta saatiin 100 %:sti pelkistymään takaisin alkuainekullaksi.

### Ratkaisu:

a)

Reaktio (1):

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos
Au	0	+III	hapettuu
H	+I	+I	
N	+V	+IV	pelkistyy
O	-II	-II	
H	+I	+I	
Cl	-I	-I	

Reaktio (2):

Alkuaine	Hapetusluku lähtöaineessa	Hapetusluku reaktiotuotteessa	Tapahtuva muutos
Au	+III	0	pelkistyy
H	+I	+I	
Cl	-I	-I	
Na	+I	+I	
S	+IV	+VI	hapettuu
O	-II	-II	

Reaktiossa **(1)** kulta-atomit hapettuvat ja typpihapon typpiatomit pelkistyvät. Reaktiossa **(2)** kultaionit pelkistyvät ja natriumvetysulfiitin rikkiatomit hapettuvat.

**b)**

$$m(\text{mitali}) = 200 \text{ g}$$

$$m\text{-}\%(\text{Au}) = 96 \%$$

$$M(\text{Au}) = 196,67 \text{ g/mol}$$

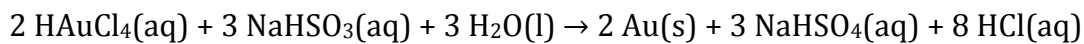
$$c(\text{NaHSO}_3) = 2,00 \text{ mol/dm}^3$$

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

Lasketaan kullan ainemäärä mitalissa:

$$n(\text{Au}) = \frac{m(\text{Au})}{M(\text{Au})} = \frac{0,96 \cdot 200 \text{ g}}{196,97 \text{ g/mol}} = 0,97477 \text{ mol.}$$

Reaktioyhtälön **(2)**



perusteella

$$\frac{n(\text{NaHSO}_3)}{n(\text{Au})} = \frac{3}{2}, \text{ joten } n(\text{NaHSO}_3) = \frac{3}{2} \cdot n(\text{Au}) = \frac{3}{2} \cdot 0,97477 \text{ mol} = 1,4622 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kysytty natriumvetysulfiittiliuoksen tilavuus:

$$V(\text{NaHSO}_3) = \frac{n(\text{NaHSO}_3)}{c(\text{NaHSO}_3)} = \frac{1,4622 \text{ mol}}{2,00 \text{ mol/dm}^3} = 0,73108 \text{ dm}^3 \approx 0,731 \text{ dm}^3.$$

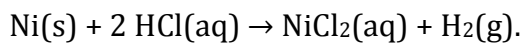
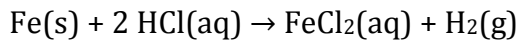
**Vastaus:**

- a)** Reaktiossa **(1)** kulta-atomit hapettuvat ja typpihapon typpiatomit pelkistyvät. Reaktiossa **(2)** kultaionit pelkistyvät ja natriumvetysulfiitin rikkiatomit hapettuvat.
- b)**  $V(\text{NaHSO}_3) = 0,731 \text{ dm}^3.$

**4.14** Taulukkokirjan mukaan invarteräs on raudan ja nikkelin lejeerinki. Laske, mikä tilavuus vetykaasua muodostuu huoneenlämpötilassa (25,00 °C) ja normaalipaineessa, kun 0,5065 g tätä lejeerinkiä liuotetaan ylimäärään suolahappoa.

**Ratkaisu:**

Normaalipotentialitaulukon perusteella sekä rauta että nikkeli liukenevat suolahappoon vetykaasua tuottaen. Reaktioyhtälöt ovat:



Taulukkokirjan mukaan invarteräs sisältää rautaa 64 % ja nikkeliä 36 %.

$$m(\text{Fe} + \text{Ni}) = 0,5065 \text{ g}$$

$$m\text{-}\%(\text{Fe}) = 64 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{Ni}) = 36 \%$$

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

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

$$T = (25,00 + 273,15)\text{K} = 298,15 \text{ K}$$

$$p = 101\,325 \text{ Pa}$$

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

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

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

Ratkaistaan lejeeringin koostumuksen perusteella raudan ja nikkelin massat:

$$m(\text{Fe}) = 0,64 \cdot 0,5065 \text{ g} = 0,3242 \text{ g}$$

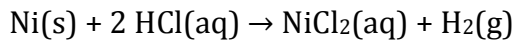
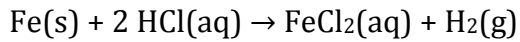
$$m(\text{Ni}) = 0,36 \cdot 0,5065 \text{ g} = 0,1823 \text{ g}.$$

Ratkaistaan raudan ja nikkelin ainemäärät:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{0,3242 \text{ g}}{55,85 \text{ g/mol}} = 5,80483 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})}{M(\text{Ni})} = \frac{0,1823 \text{ g}}{58,69 \text{ g/mol}} = 3,10615 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Reaktioyhtälöistä



nähdään, että  $n(\text{H}_2) = n(\text{Fe})$  ja  $n(\text{H}_2) = n(\text{Ni})$ , joten näissä reaktioissa muodostuneen vetykaasun kokonaisainemäärä on:

$$n(\text{H}_2) = n(\text{Fe}) + n(\text{Ni}) = 5,80483 \cdot 10^{-3} \text{ mol} + 3,10615 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 8,91098 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Ratkaistaan kysytty vetykaasun tilavuus ideaalikaasun tilanyhtälöstä:

$$V(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2) \cdot RT}{p} = \frac{8,91098 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = 2,18012 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \approx 2,180 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3.$$

**Vastaus:**

$$V(\text{H}_2) = 2,180 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 (= 0,2180 \text{ dm}^3).$$

## Luku 4.2 Siirtymämetallien erityisominaisuuksia

**4.24** Ihminen tarvitsee pieniä määriä kobolttia, koska se on osana B<sub>12</sub>-vitamiinin eli syanokobalamiinin rakennetta. B<sub>12</sub>-vitamiini puolestaan on ihmiselle välttämätön vitamiini, jota ei esiinny kasviksissa. Vaikka vitamiinin saantisuositus on varsin alhainen, voi siitä tulla puute, jolloin puhutaan pernisiöösianemiasta. B<sub>12</sub>-vitamiinimolekyylissä on 4,34 massaprosenttia kobolttia. Laske B<sub>12</sub>-vitamiinin moolimassa, kun tiedetään, että yhdessä vitamiinimolekyylissä on aina yksi koboltti-ioni.

### Ratkaisu:

$$m\text{-}\%(\text{Co}) = 4,34 \%$$

$$M(\text{Co}) = 58,93 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{B}_{12}\text{-vitamiini}) = ?$$

Koska yksi vitamiinimolekyyli sisältää aina yhden koboltti-ionin, on yhdessä moolissa B<sub>12</sub>-vitamiinia yksi mooli koboltti-ioneja.

Koska tiedetään koboltin osuus massaprosentteina, saadaan koko vitamiinimolekyylin moolimassa ( $x$ ) laskettua lausekkeesta

$$\frac{58,93}{x} \cdot 100 = 4,34, \text{ josta ratkaistuna } x = 1\,357,83.$$

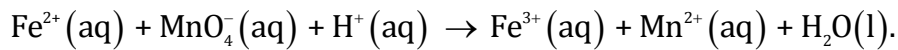
B<sub>12</sub>-vitamiinin moolimassa on siten n. 1 358 g/mol.

### Vastaus:

$$M(\text{B}_{12}\text{-vitamiini}) = 1\,358 \text{ g/mol}.$$



**4.25** Malminäyte, jonka massa oli 0,20 g liuotettiin ylimäärään laimeaa rikkihappoa, jolloin muodostui vaaleanvihreä rauta(II)sulfaattiliuos. Tämä liuos titrattiin kaliumpermanganaattiliuoksella, jonka väkevyyden oli 0,020 mol/l. Kaliumpermanganaattiliuosta kului 25 ml. Rauta(II)-ionit reagoivat permanganaatti-ionien kanssa happamassa liuoksessa seuraavan tasapainottamattoman reaktioyhtälön mukaisesti:



Tasapainota reaktioyhtälö hapetuslukujen avulla ja laske, mikä oli malminäytteen rautapitoisuus massaprosentteina.

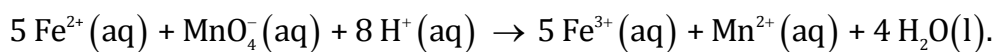
**Ratkaisu:**

Hapetuslukumuutokset:

Fe: +II  $\rightarrow$  +III (luovuttaa 1 elektronin/atomi)

Mn: +VII  $\rightarrow$  +II (vastaanottaa 5 elektronia/atomi)

Tasapainotettu reaktioyhtälö on:



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

$c(\text{KMnO}_4) = 0,020 \text{ mol/l}$

$V(\text{KMnO}_4) = 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ l}$

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

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

Titrauksessa kuluneiden permanganaatti-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{MnO}_4^{-}) = n(\text{KMnO}_4) = c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) = 0,020 \text{ mol/l} \cdot 0,025 \text{ l} = 5,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{MnO}_4^{-})} = \frac{5}{1}, \text{ josta } n(\text{Fe}) = 5 \cdot n(\text{MnO}_4^{-}) = 5 \cdot 5,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 2,500 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Malminäytteen sisältämän raudan massa on

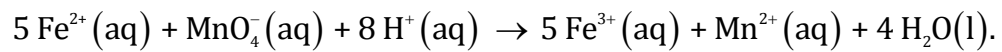
$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 2,500 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g/mol} = 0,1396 \text{ g}.$$

Raudan osuus massaprosentteina on:

$$m\text{-}\%(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{näyte})} \cdot 100 \% = \frac{0,1396 \text{ g}}{0,20 \text{ g}} \cdot 100 \% = 69,80 \% \approx 70 \%$$

**Vastaus:**

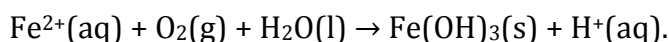
Tasapainotettu reaktioyhtälö on:



$$m\text{-}\%(\text{Fe}) = 70 \%$$

**4.26** Suomessa pohjavesien ongelma on suuri rautapitoisuus, jonka seurauksena esimerkiksi mökkikaivon vedessä voi olla suositusta (0,4 mg/l) suurempi rautapitoisuus. Pohjavedessä rauta on liuenneena Fe<sup>2+</sup>-ioneina, jotka vesijohtoverkostossa saostuvat aiheuttaen veden sameutta, makuhaittoja sekä ruostetahroja.

Raudan poisto vedestä perustuu rauta(II)-ionien hapettamiseen, joka voidaan tehdä joko kemiallisesti tai biologisesti. Biologisessa prosessissa bakteerien avulla tapahtuvaa hapettumisreaktiota voidaan kuvata seuraavan tasapainottamattoman reaktioyhtälön mukaisesti:



Reaktiossa muodostunut rauta(III)hydroksidisaostuma poistetaan lopulta suodattamalla.

**a)** Tasapainota reaktioyhtälö hapetuslukujen avulla.

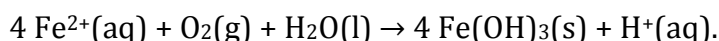
**b)** Ratkaise, mikä massa rauta(III)hydroksidia muodostuu, kun 100 litraa vettä, jonka rauta(II)-ionipitoisuus on 680 µg/l, käsitellään biologisesti siten, että rauta(II)-ionipitoisuus pienenee arvoon 250 µg/l.

**Ratkaisu:**

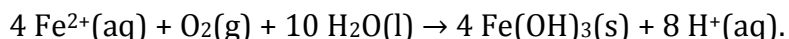
**a)**

	Hapetusluku lähtö-aineessa	Hapetusluku reaktio-tuotteessa	Tapahtuva muutos	Siirtyvien elektronien määrä yhtä atomia kohti
<b>Fe</b>	+II	+III	hapettuu	1
<b>O (alkuainehapessa)</b>	0	-II	pelkistyy	2
<b>O (vesimolekyylissä)</b>	-II	-II	ei muutosta	
<b>H</b>	+I	+I	ei muutosta	

Kun happimolekyylin O<sub>2</sub> atomit pelkistyvät, vastaanottavat ne yhteensä neljä elektronia. Neljän rauta(II)-ionin on siten hapetuttava. Reaktioyhtälö on tässä vaiheessa:



Kun tasapainotetaan happi- ja vetyatomit vesimolekyylien ja protonien avulla, sekä tarkistetaan sähkövarausten summa molemmiin puolin reaktioyhtälöä, saadaan:



**b)**

$$V(\text{vesi}) = 100 \text{ l}$$

$$\text{rautapitoisuus 1: } 680 \text{ } \mu\text{g/l}$$

$$\text{rautapitoisuus 2: } 250 \text{ } \mu\text{g/l}$$

$$M(\text{Fe}^{2+}) = 55,85 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 106,874 \text{ g/mol}$$

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

Jotta saavutettaisiin rautapitoisuus 2, Fe(II)-ionipitoisuuden tulee pienentyä seuraavasti:  
 $680 \text{ } \mu\text{g/l} - 250 \text{ } \mu\text{g/l} = 430 \text{ } \mu\text{g/l}$ .

Käsiteltävä vesimäärä on 100 litraa, joten saostettavien Fe(II)-ionien massa on:

$$m(\text{Fe}^{2+}) = 100 \text{ l} \cdot 430 \text{ } \mu\text{g/l} = 43\,000 \text{ } \mu\text{g} = 43,0 \text{ mg} = 0,0430 \text{ g}.$$

Lasketaan saostettavien rauta(II)-ionien ainemäärä:

$$n(\text{Fe}^{2+}) = \frac{m}{M} = \frac{0,0430 \text{ g}}{55,85 \text{ g/mol}} = 7,6992 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

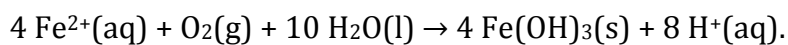
Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella  $n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = n(\text{Fe}^{2+}) = 7,6992 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ .

Lasketaan saostuman massa:

$$m(\text{Fe}(\text{OH})_3) = n \cdot M = 7,6992 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 106,874 \text{ g/mol} = 0,082284 \text{ g} \approx 82,3 \text{ mg}.$$

**Vastaus:**

**a)** Reaktioyhtälö on:



**b)**  $m(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 82,3 \text{ mg}$ .

**4.27** Kilpapyörissä käytetään terästä, joka sisältää jonkun verran mangaania. Teräksen mangaanipitoisuus saadaan selville liuottamalla näyte typpihappoon, jolloin muodostuu mangaani(II)-ioneja ja typpidioksidia. Mangaani(II)-ionit hapetetaan edelleen perjodaatilla  $\text{IO}_4^-$  permanganaatti-ioneiksi  $\text{MnO}_4^-$ , jolloin liuokseen muodostuu violetti väri. Kun permanganaattiliuoksen absorbanssiarvo mitataan spektrofotometrillä ja sitä verrataan tunnetun väkevyyden (standardiliuosten) permanganaattiliuosten absorbanssiarvoihin, voidaan alkuperäisen näytteen mangaanipitoisuus laskea.

Eräässä tutkimuksessa 2,5 grammaa kilpapyörän valmistuksessa käytettyä terästä liuotettiin typpihappoon ja näyte käsiteltiin perjodaatilla. Permanganaattiliuosten spektrofotometrisestä mittauksesta saatiin seuraavat tulokset:

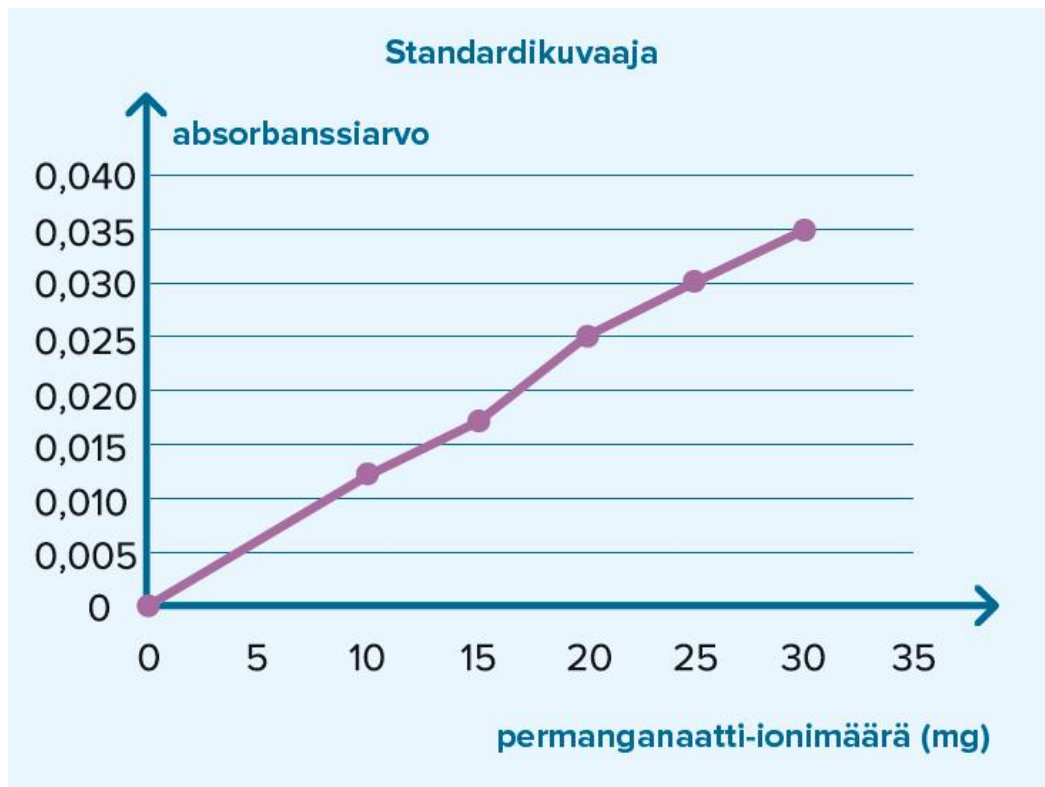
<b>Standardiliuosten permanganaatti-ionien määrä (mg)</b>	<b>Absorbanssiarvo</b>
0	0,000
10	0,012
15	0,017
20	0,025
25	0,030
30	0,035

<b>Teräsnäyte</b>	Absorbanssiarvo 0,032
-------------------	-----------------------

- a) Laadi standardiliuosten mittaustuloksista niin sanottu standardikuvaaja, jolta näkyy absorbanssiarvo permanganaatti-ionien määrän funktiona.
- b) Arvioi standardikuvaajalta teräsnäytteen permanganaatti-ionien määrä.
- c) Ratkaise kilpapyörässä käytetyn teräksen mangaanipitoisuus massaprosentteina.

**Ratkaisu:**

a)



b)

Standardikuvaajan perusteella teräsnäytteen permanganaatti-ionimäärä oli noin 27 mg (merkitty viivalla a)-kohdan kuvaajaan).

c)

$$m(\text{MnO}_4^-) = 27 \text{ mg} = 0,027 \text{ g}$$

$$M(\text{MnO}_4^-) = 118,94 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Mn}) = 54,94 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{näyte}) = 2,5 \text{ g}$$

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

Ratkaistaan permanganaatti-ionien ainemäärä:

$$n(\text{MnO}_4^-) = \frac{m(\text{MnO}_4^-)}{M(\text{MnO}_4^-)} = \frac{0,027 \text{ g}}{118,94 \text{ g/mol}} = 2,270 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Yhdessä moolissa permanganaatti-ioneja  $\text{MnO}_4^-$  on yksi mooli mangaania, joten

$$n(\text{Mn}) = n(\text{MnO}_4^-) = 2,270 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

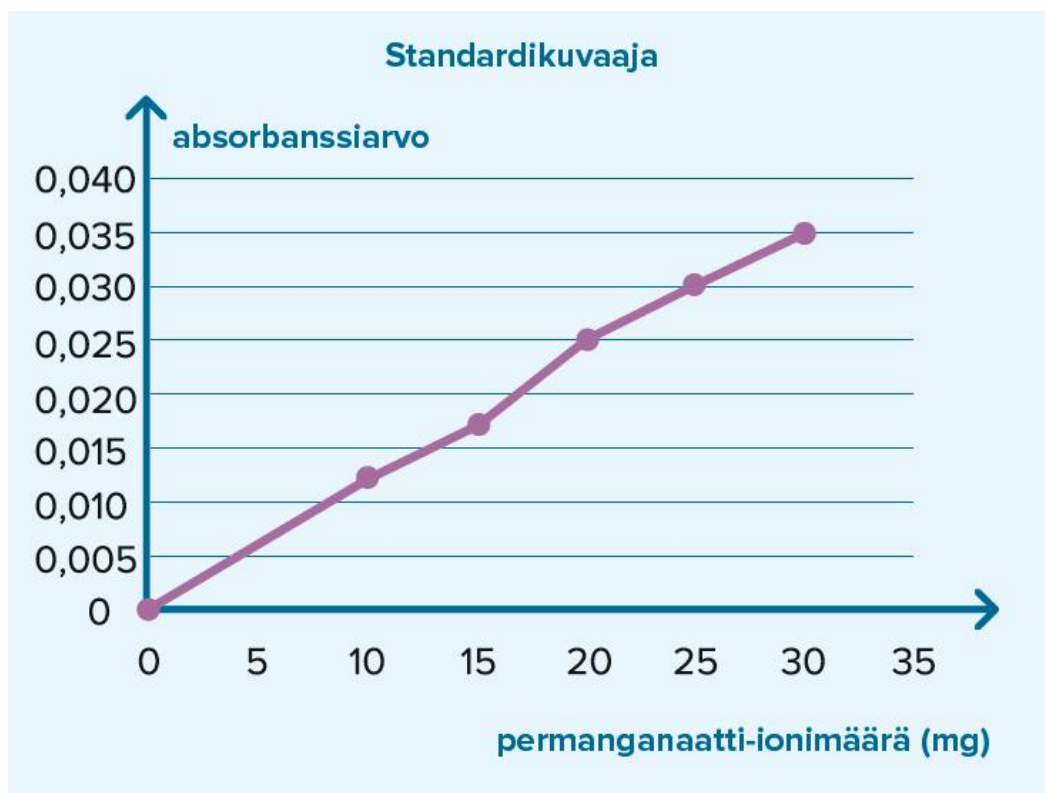
$$m(\text{Mn}) = n(\text{Mn}) \cdot M(\text{Mn}) = 2,270 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 54,94 \text{ g/mol} = 0,01247 \text{ g}.$$

Mangaanin osuus teräksestä massaprosenteina on:

$$m-\%(\text{Mn}) = \frac{m(\text{Mn})}{m(\text{näyte})} \cdot 100 \% = \frac{0,01247 \text{ g}}{2,5 \text{ g}} \cdot 100 \% = 0,4988 \% \approx 0,50 \%$$

**Vastaus:**

a)



b)  $m(\text{MnO}_4^-) = 27 \text{ mg}$

c)  $m-\%(\text{Mn}) = 0,50 \%$ .

## Luku 4.3 Keraamit ja komposiitit

4.32 Yhdiste  $\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}$  on suprajohteena käytettävä keraami. Sitä saadaan kuumentamalla korkeassa lämpötilassa yttrium(III)-, barium- ja kupari(II)oksidia. Laske tarvittava oksidien yhteismassa, kun halutaan tuottaa 5,0 grammaa tätä keraamia.

### Ratkaisu:

$$m(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}) = 5,0 \text{ g}$$

$$M(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}) = 1\,339,08 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Y}_2\text{O}_3) = 225,82 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{BaO}) = 153,33 \text{ g/mol}$$

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

$$m(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{BaO} + \text{CuO}) = ?$$

Ratkaistaan valmistettavan keraamin ainemäärä:

$$n(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}) = \frac{m(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16})}{M(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16})} = \frac{5,0 \text{ g}}{1\,339,08 \text{ g/mol}} = 3,734 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tarvittavien oksidien ainemäärä voidaan ratkaista keraamin kaavan perusteella seuraavasti:

$$n(\text{Y}_2\text{O}_3) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}) = \frac{1}{2} \cdot 3,734 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,867 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{BaO}) = 4 \cdot n(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}) = 4 \cdot 3,734 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,01494 \text{ mol}$$

$$n(\text{CuO}) = 7 \cdot n(\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{16}) = 7 \cdot 3,734 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 0,02614 \text{ mol.}$$

Ratkaistaan kunkin oksidin massa:

$$m(\text{Y}_2\text{O}_3) = n(\text{Y}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Y}_2\text{O}_3) = 1,867 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 225,82 \text{ g/mol} = 0,4216 \text{ g}$$

$$m(\text{BaO}) = n(\text{BaO}) \cdot M(\text{BaO}) = 0,01494 \text{ mol} \cdot 153,33 \text{ g/mol} = 2,291 \text{ g}$$

$$m(\text{CuO}) = n(\text{CuO}) \cdot M(\text{CuO}) = 0,02614 \text{ mol} \cdot 79,55 \text{ g/mol} = 2,079 \text{ g}$$

Kysytty oksidien yhteismassa on:

$$m(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{BaO} + \text{CuO}) = 0,4216 \text{ g} + 2,291 \text{ g} + 2,079 \text{ g} = 4,792 \text{ g} \approx 4,8 \text{ g.}$$

### Vastaus:

$$m(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{BaO} + \text{CuO}) = 4,8 \text{ g.}$$

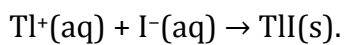


## Jakso 4 Harjoittele lisää!

### Ylioppilastehtäviä

3. Agatha Christien teoksessa "Totuus hallavan hevosen majatalosta" mystisten kuolemien syyksi selviää talliummyrkytys. Talliumyhdisteet ovat ihmiselle myrkyllisiä, koska  $Tl^+$ -ioni muistuttaa kemiallisesti ja biologisesti  $K^+$ -ionia. Vuonna 1976 pikkutyttö otettiin Lontoon Hammersmithin sairaalaan omituisten myrkytysoireiden takia. Christien kirjan lukenut sairaanhoitaja tunnisti talliummyrkytyksen oireet. Tyttö oli nauttinut tallium(I)sulfaattia, jota käytettiin siihen aikaan yleisesti rotanmyrkkynä.

Tallium(I)-ioni voidaan todeta vesiliuoksesta erittäin herkällä osoitusreaktiolla:



a) Kirkkaankeltaista tallium(I)jodidia saadaan myös  $Tl^{3+}$ -ionin reagoiessa vesiliuoksessa kaliumjodidin kanssa. Samalla muodostuu kiinteää jodia. Laadi reaktioyhtälö.

b) Talliummyrkytyspotilaalle annetaan vasta-aineena kaliumrauta(III)heksasyanoferraatti(II)kompleksia,  $K_3Fe[Fe(CN)_6]$ . Tällöin  $Tl^+$ -ioni vaihtaa paikkaa  $K^+$ -ionin kanssa ja poistuu kehosta vesiliukoisena suolana. Kuinka monta grammaa vasta-ainetta tarvitaan, jos pikkutyttö on syönyt 0,4 grammaa tallium(I)sulfaattia?

c) Yhdisteissään tallium voi esiintyä  $Tl^+$ -ionina ja  $Tl^{3+}$ -ionina. Päättelä talliumin elektronirakenteen perusteella, miksi tallium suosii juuri näitä ionimuotoja?

(Yo kevät 2008)

### Ratkaisu:

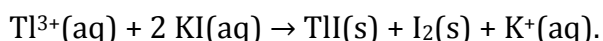
a)

Hapetuslukumuutokset ovat:

Tl:  $+III \rightarrow +I$  (pelkistyy) eli kukin tallium(III)-ioni vastaanottaa **kaksi** elektronia.

I:  $-I \rightarrow 0$  (hapettuu alkuainejodiksi) eli kahden jodidi-ionin on hapetuttava, jotta muodostuu yksi jodimolekyyli, samalla ne luovuttavat **kaksi** elektronia.

Kun tasapainotetaan elektronit, reaktioyhtälö on:



Kun tasapainotetaan muut atomit ( $K^+$  ja  $I^-$ ) saadaan:



Tarkistetaan sähkövaraukset:

lähtöaineet:  $1 \cdot (+3) = +3$

reaktiotuotteet:  $3 \cdot (+1) = +3$ .

**b)**

$$m(\text{Tl}_2\text{SO}_4) = 0,4 \text{ g}$$

$$M(\text{Tl}_2\text{SO}_4) = 504,83 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 306,92 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = ?$$

Lasketaan tallium(I)sulfaatin ainemäärä:

$$n(\text{Tl}_2\text{SO}_4) = \frac{m}{M} = \frac{0,4 \text{ g}}{504,83 \text{ g/mol}} = 7,92 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Tallium(I)sulfaatin kaavan perusteella  $n(\text{Tl}^+) = 2 \cdot n(\text{Tl}_2\text{SO}_4)$ , joten

$$n(\text{Tl}^+) = 2 \cdot 7,92 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Vasta-aineeksi annettavan kompleksin ( $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) kaavasta nähdään, että yksi kaliumioni korvautuu yhdellä talliumionilla, joten  $n(\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = n(\text{Tl}^+) = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .

Lasketaan kysytty kompleksin massa:

$$m(\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = n \cdot M = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 306,92 \text{ g/mol} = 0,485 \text{ g} \approx 0,5 \text{ g.}$$

**c)**

Talliumatomin ulkoelektronirakenne on  $6s^26p^1$ .  $\text{Tl}^+$ -ionissa yksi  $6p$ -alakuoren elektroneista on irronnut, ja muodostuneen ionin ulkoelektronirakenne on  $6s^2$ . Tämä on yksi pysyvistä elektronirakenteista (täysi  $s$ -alakuori). Kun muodostuu  $\text{Tl}^{3+}$ -ioni, kaikki kolme ulkoelektronia osallistuvat kemiallisiin reaktioihin, jolloin edellisellä kuorella on hyvin pysyvä elektronirakenne, sillä kaikki kuoren 5 alakuoret ovat täydet ( $5s^25p^65d^{10}$ ).

**Vastaus:**

**a)** Reaktioyhtälö on:



**b)**  $m(\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,5 \text{ g}$ .

**c)** Talliumatomin ulkoelektronirakenne on  $6s^26p^1$ .  $\text{Tl}^+$ - ja  $\text{Tl}^{3+}$ -ioneissa on pysyvä elektronirakenne.

## Jakso 5 Polymeerit

### Luku 5.2 Synteettiset polymeerit

**5.10** Luonnonkumi on polymeeri, joka koostuu niin sanotuista isopreeniyksiköistä. Isopreenin systemaattinen nimi on 2-metyyli-1,3-butadieeni.

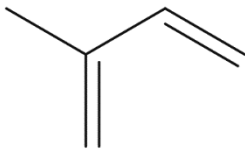
a) Esitä isopreenin rakennekaava viivakaavalla.

b) Kumin vulkanoinnissa yhtä isopreeniyksikköä kohti liitetään aina neljä rikkiatomia. Laske, kuinka monta tonnia rikkiä  $S_8$  tarvitaan, kun 10 tonnia isopreeniä vulkanoidaan siten, että muodostuvassa kumissa 5,0 % isopreeniyksiköistä sitoo rikkiä.

c) Pohdi, miten kumin ominaisuudet muuttuvat, jos rikin määrää lisätään.

#### Ratkaisu:

a)



b)

$$m(C_5H_8) = 10 \text{ t} = 10\,000 \text{ kg} = 10 \cdot 10^6 \text{ g}$$

$$M(C_5H_8) = 68,114 \text{ g/mol}$$

$$M(S_8) = 256,56 \text{ g/mol}$$

$$m(S_8) = ?$$

Ratkaistaan isopreenin kokonaisainemäärä:

$$n(C_5H_8) = \frac{m(C_5H_8)}{M(C_5H_8)} = \frac{10 \cdot 10^6 \text{ g}}{68,114 \text{ g/mol}} = 1,468 \cdot 10^5 \text{ mol.}$$

Koska 5,0 % isopreeniyksiköistä sitoo rikkiä ja kukin yksikkö sitoo neljä rikkiatomia, on tarvittava rikkiatomien ainemäärä:

$$n(S) = 0,050 \cdot 4 \cdot 1,468 \cdot 10^5 \text{ mol} = 29\,360 \text{ mol.}$$

Koska yksi rikkimolekyyli  $S_8$  sisältää kahdeksan rikkiatomia, on

$$n(S_8) = \frac{1}{8} \cdot n(S) = \frac{1}{8} \cdot 29\,360 \text{ mol} = 3\,670 \text{ mol}.$$

Lasketaan kysytty rikin massa:

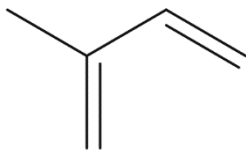
$$m(S_8) = n(S_8) \cdot M(S_8) = 3\,670 \text{ mol} \cdot 256,56 \text{ g/mol} = 941\,600 \text{ g} \approx 0,94 \text{ t}.$$

c)

Koska rikkisillat jäykistävät kumin rakennetta, tulee kumista kovempaa ja jäykempää, jos rikin määrää lisätään.

**Vastaus:**

a)



b)  $m(S_8) = 0,94 \text{ t}.$

c) Koska rikkisillat jäykistävät kumin rakenne, tulee kumista kovempaa ja jäykempää, jos rikin määrää lisätään.