

2019/20 õ.a keemiaolümpiaadi piirkonnavooru ülesannete lahendused

10. klass

Ülesanne 1. Raketikütus (12 p)

- a)  $\text{Cl}^{\text{V}}\text{F}_5^{-\text{I}}$ ,  $\text{N}_2^{-\text{II}}\text{H}_4^{\text{I}}$ ,  $\text{H}_2^{\text{I}}\text{O}_2^{-\text{I}}$ ,  $\text{C}_4^{-\text{I},5}\text{H}_6^{\text{I}}$ ,  $\text{O}^{\text{II}}\text{F}_2^{-\text{I}}$ ,  $\text{H}_2^0$ . (3)
- b) Redutseerijad:  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6$ ,  $\text{H}_2$  (1,5)
- c) i)  $\text{H}_2\text{O}$  ja  $\text{HF}$  (1)  
 ii)  $\text{HF}$  (0,5)  
 iii)  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CF}_4$  (1,5)  
 iv)  $\text{N}_2$ ,  $\text{CF}_4$  (1)  
 v)  $\text{HF}$  (0,5)
- d)  $M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 1,008 + 16,00 = 18,016 \text{ g/mol}$   
 $0,998 \text{ g/cm}^3 = 0,998 \text{ kg/dm}^3$   
 Tiheduse järgi on teada, et  $1 \text{ dm}^3$  vett kaalub  $0,998 \text{ kg} = 998 \text{ g}$ .  
 Saame arvutada moolide arvu:  $n = 998 \text{ g} / 18,016 \text{ g/mol} \approx 55,4 \text{ mol}$  (0,5)  
 Seega on vee molaarne kontsentratsioon:  $c = n/V = 55,4 \text{ mol} / 1 \text{ dm}^3 = 55,4 \text{ M}$  (0,5)
- f) i)  $3\text{N}_2\text{H}_4 + 2\text{ClF}_5 \rightarrow 3\text{N}_2 + 2\text{HCl} + 10\text{HF}$  (1)  
 ii)  $22\text{OF}_2 + 4\text{C}_4\text{H}_6 \rightarrow 11\text{CO}_2 + 24\text{HF} + 5\text{CF}_4$  (1)

Ülesanne 2. Kloori tootmisest kasutamiseni (9 p)

- a) Anood:  $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$  või  $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2$  (0,5)  
 Katood:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$  (0,5)  
 Summaarne reaktsioon:  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{elektrolüüs}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 + \text{Cl}_2$  (0,5)
- b)  $pV = nRT \Rightarrow n = (pV)/(RT)$   
 $It = nzF \Rightarrow t = (nzF)/I$  asendades  $n$ -i siin valemis, saame  $t = (pVzF)/(IRT)$  (1)  
 $1,0 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$   
 $25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$   
 $t = (1 \text{ atm} \cdot 1000 \text{ dm}^3 \cdot 2 \cdot 96486 \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1}) / (40 \text{ A} \cdot 0,08206 \text{ dm}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K}) \approx$   
 $\approx 197182 \text{ s} \approx 55 \text{ h}$  (1,5)
- c)  $n = m/M$ ,  $It = nzF$  ja  $E = UIt$   
 Kombineerides neid valemid, saame seose:  $E = (UmzF)/M$  (1)  
 $6,5 \cdot 10^7 \text{ t} = 6,5 \cdot 10^{13} \text{ g}$   
 $M(\text{Cl}_2) = 2 \cdot 35,45 = 70,9 \text{ g/mol}$   
 Kloori tootmiseks kulus aastas  
 $E = (3,5 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1} \cdot 6,5 \cdot 10^{13} \text{ g} \cdot 2 \cdot 96486 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}) / 70,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \approx 6,19 \cdot 10^{17} \text{ J}$  energiat. (1)  
 Üldiselt kulus aastas aga  $26672 \text{ TW} \cdot \text{h} \approx 9,60 \cdot 10^{19} \text{ J}$  energiat.  
 Seega kulus kloori tootmiseks:  $6,19 \cdot 10^{17} \text{ J} / 9,60 \cdot 10^{19} \text{ J} \cdot 100\% \approx 0,64\%$ . (0,5)
- d)  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$  (1)
- e)  $pV = nRT$  ja  $n = m/M$   
 Kombineerides need valemid saame arvutada  $\text{Cl}_2$  massi:  $m = (pVM)/(RT)$   
 $m = (1 \text{ atm} \cdot 1000 \text{ dm}^3 \cdot 70,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) / (0,08206 \text{ dm}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K}) \approx 2898 \text{ g}$  (1)  
 $1 \text{ dm}^3$  vee puhastamiseks kulub  $2,5 \text{ mg}$   $\text{Cl}_2$ , st  $1 \text{ m}^3$  vee puhastamiseks kulub  $2,5 \text{ g}$  kloori, seega  $1,0 \text{ m}^3$  klooriga on võimalik puhastada  
 $2898 \text{ g} / 2,5 \text{ g/m}^3 = 1159,2 \text{ m}^3 \approx 1200 \text{ m}^3$  vett. (0,5)

Ülesanne 3. Asendamatu magneesium (10 p)

- a) Teades, et otsitav hüdraadina esinev sool koosneb kolmest elemendist ning kuna

hapniku massiprotsent on liiga suur, et olla ainult hüdraatvee koostises, siis võib hüdraadi valemiks kirjutada:  $Mg_xS_yO_z \cdot wH_2O$

Kuna on teada Mg, S ja O massiprotsendid hüdraadis, saame arvutada ka H massiprotsendi:  $\% (H) = 100\% - 9,859\% - 13,01\% - 71,41\% = 5,721\%$  (0,5)

Nüüd on võimalik avaldada hüdraadi molaarmass iga selles esineva elemendi järgi:

Mg:  $M(Mg_xS_yO_z \cdot wH_2O) = 24,30 \text{ g/mol} \cdot x \cdot 100\% / 9,859\% \approx 246,5x \text{ g/mol}$

S:  $M(Mg_xS_yO_z \cdot wH_2O) = 32,06 \text{ g/mol} \cdot y \cdot 100\% / 13,01\% \approx 246,4y \text{ g/mol}$

O:  $M(Mg_xS_yO_z \cdot wH_2O) = 16,00 \text{ g/mol} \cdot (z + w) \cdot 100\% / 71,41\% \approx 22,41(z + w) \text{ g/mol}$

H:  $M(Mg_xS_yO_z \cdot wH_2O) = 1,008 \text{ g/mol} \cdot 2 \cdot w \cdot 100\% / 5,721\% \approx 35,24w \text{ g/mol}$

Kuna magneesiumi ja väevli järgi arvatud molaarmassid on praktiliselt võrdsed, peavad nende elementide indeksid olema võrdsed, st  $x = y$ .

Oletame, et  $x = y = 1$ , seega  $w = 246,5 \text{ g/mol} / 35,24 \text{ g/mol} \approx 7$  ning

$z = (246,5 \text{ g/mol} - 7 \cdot 22,41 \text{ g/mol}) / 22,41 \text{ g/mol} \approx 4$

Seega on otsitava hüdraadi valem:  **$MgSO_4 \cdot 7H_2O$**

*Teine võimalik lahenduskäik:*

Võtame täpselt 100 g ainet. Siis on

$n(Mg) = 100 \text{ g} \cdot 9,859\% \cdot 1 \text{ mol} / 24,30 \text{ g} = 0,4058 \text{ mol}$

$n(S) = 100 \text{ g} \cdot 13,01\% \cdot 1 \text{ mol} / 32,06 \text{ g} = 0,4058 \text{ mol}$

$n(H) = 100 \text{ g} \cdot 5,721\% \cdot 1 \text{ mol} / 1,008 \text{ g} = 5,676 \text{ mol}$

$n(O) = 100 \text{ g} \cdot 71,41\% \cdot 1 \text{ mol} / 16,00 \text{ g} = 4,463 \text{ mol}$  (1)

Kuna  $n(H, \text{vees}) = 2n(O, \text{vees})$ , siis  $n(H_2O) = 5,676 \text{ mol} / 2 = 2,838 \text{ mol}$ , järelikult

$n(O, \text{soolas}) = 4,463 \text{ mol} - 2,838 \text{ mol} = 1,625 \text{ mol}$  (0,5)

$n(S)/n(Mg) = 1$ ,  $n(O, \text{soolas})/n(Mg) = 1,625 \text{ mol} / 0,4058 \text{ mol} = 4$ ,

$n(H_2O)/n(Mg) = 2,838 \text{ mol} / 0,4058 \text{ mol} = 7$

Eeldusel, et  $x = 1$ , on aine valem  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , mis sobib kokku eksisteeriva Mg-soolaga. (1)

**b)**  $m_{Mg, \text{toidust}} = 110 \text{ g} \cdot 0,44 \text{ mg/g} + 134 \text{ g} \cdot 0,31 \text{ mg/g} + 50 \text{ g} \cdot 0,34 \text{ mg/g} + 32 \text{ mg} = 138,94 \text{ mg}$  (0,5)

Seega omastas Melissa päevasest soovituslikust magneesiumi kogusest:

$138,94 \text{ mg} / 320 \text{ mg} \cdot 100\% \approx 14\%$  (0,5)

**c)** Liitris vees on anioone:

$n(SO_4^{2-}) = 402 \text{ mg} / 96,06 \text{ mg/mmol} \approx 4,185 \text{ mmol}$

$n(Cl^-) = 49,4 \text{ mg} / 35,45 \text{ mg/mmol} \approx 1,394 \text{ mmol}$

$n(HCO_3^-)$

Seega negatiivseid laenguid on vastavalt:

$2n(SO_4^{2-}) + n(Cl^-) + n(HCO_3^-) = 2 \cdot 4,185 \text{ mmol} + 1,394 \text{ mmol} + n(HCO_3^-) = 9,764 \text{ mmol} + n(HCO_3^-)$  (1)

Liitris vees on katioone:

$n(Na^+) = 31,2 \text{ mg} / 22,99 \text{ mg/mmol} \approx 1,357 \text{ mmol}$

$n(Ca^{2+}) = 164 \text{ mg} / 40,08 \text{ mg/mmol} \approx 4,092 \text{ mmol}$

$n(Mg^{2+})$

Seega positiivseid laenguid on vastavalt:

$n(Na^+) + 2n(Ca^{2+}) + 2n(Mg^{2+}) = 1,357 \text{ mmol} + 2 \cdot 4,092 \text{ mmol} + 2n(Mg^{2+}) = 9,541 \text{ mmol} + 2n(Mg^{2+})$  (1)

Kuna positiivsete laengute summa peab olema võrdne negatiivsete laengute

summaga saame kirjutada:  $9,764 \text{ mmol} + n(HCO_3^-) = 9,541 \text{ mmol} + 2n(Mg^{2+})$

$n(HCO_3^-) = 2n(Mg^{2+}) - 0,223 \text{ mmol}$  (0,5)

**d)** Kuna  $n(Mg^{2+}) = m(Mg^{2+}) / 24,30 \text{ mg/mmol}$  ja  $n(HCO_3^-) = m(HCO_3^-) / 61,018 \text{ mg/mmol}$ , siis saame laengubilansi avaladada molaarmasside kaudu **võrrandina 1:**

$$m(\text{HCO}_3^-) / 61,018 \text{ mg/mmol} = 2 \cdot m(\text{Mg}^{2+}) / 24,30 \text{ mg/mmol} - 0,223 \text{ mmol} \quad (0,5)$$

Liitri mineraalvee kohta saab kirjutada **võrrandi 2**:

$$m(\text{Mg}^{2+}) + m(\text{HCO}_3^-) + 402 \text{ mg} + 49,4 \text{ mg} + 31,2 \text{ mg} + 164 \text{ mg} = 952 \text{ mg}$$

$$m(\text{Mg}^{2+}) + m(\text{HCO}_3^-) = 305,4 \text{ mg} \quad (1)$$

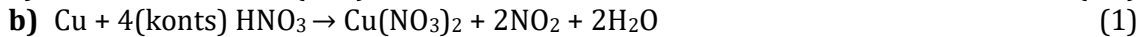
Lahenduse leidmiseks kasutame laengubilansist saadud **võrrandi 1** ja masside jäävusest saadud **võrrandi 2** süsteemi. (1)

Võrrandisüsteemi lahendamisel saame, et liitris mineraalvees on:

$$m(\text{Mg}^{2+}) = 53,0 \text{ mg} \quad (0,5)$$

$$m(\text{HCO}_3^-) = 252,4 \text{ mg} \approx 252 \text{ mg} \quad (0,5)$$

#### Ülesanne 4. Internetipettus (11 p)



c) Leiame titrandi kontsentratsiooni:

$$n = m / M$$

$$c = n / V = m / (MV)$$

$$100,00 \text{ cm}^3 = 0,10000 \text{ dm}^3$$

$$c_{\text{EDTA}} = 1,1998 \text{ g} / (372,24 \text{ g/mol} \cdot 0,10000 \text{ dm}^3) \approx 0,032232 \text{ M} \quad (0,5)$$

Leiame, mitu mooli metalle oli tiitrimiseks võetud proovis. Kuna EDTA reageerib metallidega suhtes 1:1, siis

$$n_{\text{EDTA}_\text{kulunud}} = n_{\text{Cu+Ni}_\text{proovis}} = 0,032232 \text{ M} \cdot 0,01006 \text{ dm}^3 \approx 3,2425 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Kuna prooviks võeti 10,00 cm<sup>3</sup> lahust, aga alglahuse ruumala oli 100,00 cm<sup>3</sup>, siis esialgses lahuses oli Cu ja Ni moolide summa 10 korda suurem.

$$\text{Seega } n_{\text{Cu+Ni}_\text{alg}} = 3,2425 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \quad (0,5)$$

Üks võimalik lahenduskäik:

Teades, et prooviks võeti 0,2020 g sulamit, siis saame kirjutada võrrandisüsteemi:

$$n_{\text{Cu}_\text{alg}} + n_{\text{Ni}_\text{alg}} = 3,2425 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$63,55 \text{ g/mol} \cdot n_{\text{Cu}_\text{alg}} + 58,69 \text{ g/mol} \cdot n_{\text{Ni}_\text{alg}} = 0,2020 \text{ g, mille lahendamisel saame:}$$

$$n_{\text{Cu}_\text{alg}} = 2,407 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\%(\text{Cu}) = 2,407 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 63,55 \text{ g/mol} / 0,2020 \cdot 100\% \approx 75,7\% \quad (1)$$

d) Teades originaalmündi massi ja mõõtmeid, saame arvutada selle valmistamiseks kasutatud sulami tiheduse:

$$r = d/2 = 21,21 \text{ mm}/2 = 10,605 \text{ mm}$$

$$V_{\text{münt}} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (0,5)$$

$$\rho_{\text{Cu75Ni25}} = 5,000 \text{ g} / (\pi \cdot (10,605 \text{ mm})^2 \cdot 1,950 \text{ mm}) \approx 7,2571 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3 = 7,2571 \text{ g/cm}^3 \quad (0,5)$$

Kuna Nick soovis, et ka tema valmistatud münt kaaluks 5,000 g, saame arvutada Cu massi selles mündis:  $m_{\text{Cu}_\text{erimündis}} = 5,000 \text{ g} \cdot 77\% / 100\% = 3,850 \text{ g}$ . (0,5)

Teades, et Cu sisaldus esialgses mündis oli 75%, saame võrrandisüsteemi:

$$m_{\text{lihvitud}_\text{münt}} + m_{\text{Cu}_\text{sadestatud}} = 5,000 \text{ g}$$

$$m_{\text{lihvitud}_\text{münt}} \cdot 0,75 + m_{\text{Cu}_\text{sadestatud}} = 3,850 \text{ g,} \quad (1)$$

mille lahendamisel saame, et

$$m_{\text{lihvitud}_\text{münt}} = 4,600 \text{ g ning } m_{\text{Cu}_\text{sadestatud}} = 0,4000 \text{ g} \quad (0,5)$$

Teades originaalmündi tihedust ning, et lihvimisel mündi diameeter ei muutunud, saame arvutada mündi paksuse vahetult enne sadestamist:

$$h_{\text{pärast}_\text{lihvimist}} = 4,600 \text{ g} / (7,2571 \text{ g/cm}^3 \cdot \pi \cdot (1,0605 \text{ cm})^2) = 0,17940 \text{ cm} \quad (0,5)$$

$$\text{Saame arvutada mündi pindala enne sadestamist: } S_{\text{münt}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

$$S_{\text{münt}} = 2 \cdot \pi \cdot 1,0605 \text{ cm} \cdot 0,17940 \text{ cm} + 2 \cdot \pi \cdot (1,0605 \text{ cm})^2 = 8,2618 \text{ cm}^2 \quad (0,5)$$

Teades vase tihedust, sadestatava vase massi ning mündi pindala, saame arvutada

vasekihi paksuse  $x$ :

$$x = m_{\text{Cu\_sadedstatud}} / (\rho_{\text{Cu}} S_{\text{münd}}) = 0,4000 \text{ g} / (8,96 \text{ g/cm}^3 \cdot 8,2618 \text{ cm}^2) = 0,0054035 \text{ cm} = 0,054035 \text{ mm} \quad (0,5)$$

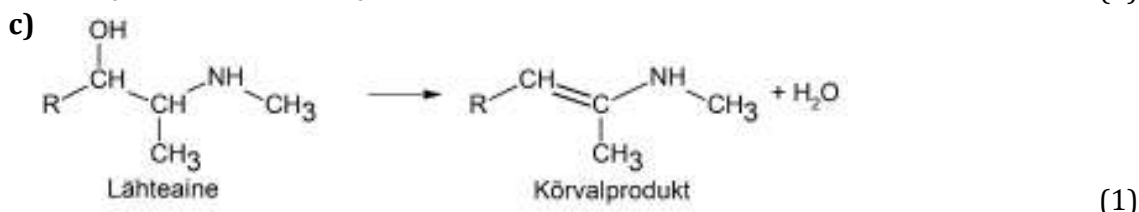
Seega Nicki valmistatud mündi diameeter oli:

$$21,21 \text{ mm} + 2 \cdot 0,054035 \text{ mm} \approx 21,32 \text{ mm} \text{ ja paksus:} \\ 1,7940 \text{ mm} + 2 \cdot 0,054035 \text{ mm} \approx 1,902 \text{ mm} \quad (1)$$

### Ülesanne 5. Krüpteeritud sünteesiprotokoll (8 p)

a)  $X_2 - I_2$ ,  $Y - P$ ,  $A - PI_3$ ,  $B - PI_5$  (2)

b) 1.  $3I_2 + 2P \rightarrow 2PI_3$   
2.  $5I_2 + 2P \rightarrow 2PI_5$   
3.  $PI_3 + 3H_2O \rightarrow 3HI + H_3PO_3$   
4.  $PI_5 + 4H_2O \rightarrow 5HI + H_3PO_4$  (2)



d) Oletame, et produktis on  $x$  C aatomit ja  $y$  H aatomit.

Seega saame kirjutada, et produkti molaarmass on:

$$M(\text{produkt}) = x \cdot 12,01 \text{ g/mol} + y \cdot 1,008 \text{ g/mol} + 14,01 \text{ g/mol}$$

Teades, et produktis on H aatomeid 1,5 korda rohkem kui C aatomeid, st  $y = 1,5 \cdot x$ , saame eelneva valemi kirjutada kujul:

$$M(\text{produkt}) = x \cdot 12,01 \text{ g/mol} + 1,5 \cdot x \cdot 1,008 \text{ g/mol} + 14,01 \text{ g/mol} = \\ = 13,522 \cdot x \text{ g/mol} + 14,01 \text{ g/mol} \quad (1)$$

Kuna on teada, et süsinik moodustab produktist 80,48%, siis

$$M(\text{produkt}) = x \cdot 12,01 \text{ g/mol} \cdot 100\% / 80,48\% \approx 14,92 \cdot x \text{ g/mol} \quad (0,5)$$

Seega saame võrrandi:  $14,92 \cdot x \text{ g/mol} = 13,522 \cdot x \text{ g/mol} + 14,01 \text{ g/mol}$ , mille lahendamisel saame, et  $x \approx 10$ .

Seega produktis peab olema 10 C aatomit ja 15 H aatomit, mistõttu rühmas  $-R$  on C aatomeid seega  $10 - 4 = 6$  ja H aatomeid  $15 - 10 = 5$ . (1)

Rühma  $-R$  valem on  $-C_6H_5$ . (0,5)

### Ülesanne 6. Komplekside kirju maailm (20 p)

a) i) Valguse lainepikkus kahaneb. (0,5)

ii) Valguse energia kasvab. (0,5)

iii)  $5 \cdot 10^6$  (0,5)

iv) ultraviolettkiirgus (0,5)

b)

Aine	$N, \text{ cm}^{-1}$	$\lambda, \text{ nm}$	värv
$[Ti(H_2O)_6]^{3+}$	20300	493	Punane
$[V(H_2O)_6]^{2+}$	12600	794	Roheline
$[Cr(H_2O)_6]^{3+}$	17400	575	Sinine

(1,5)

c) Ligand 1 -  $Cl^-$

Ligand 2 -  $NH_3$  (etteantud)

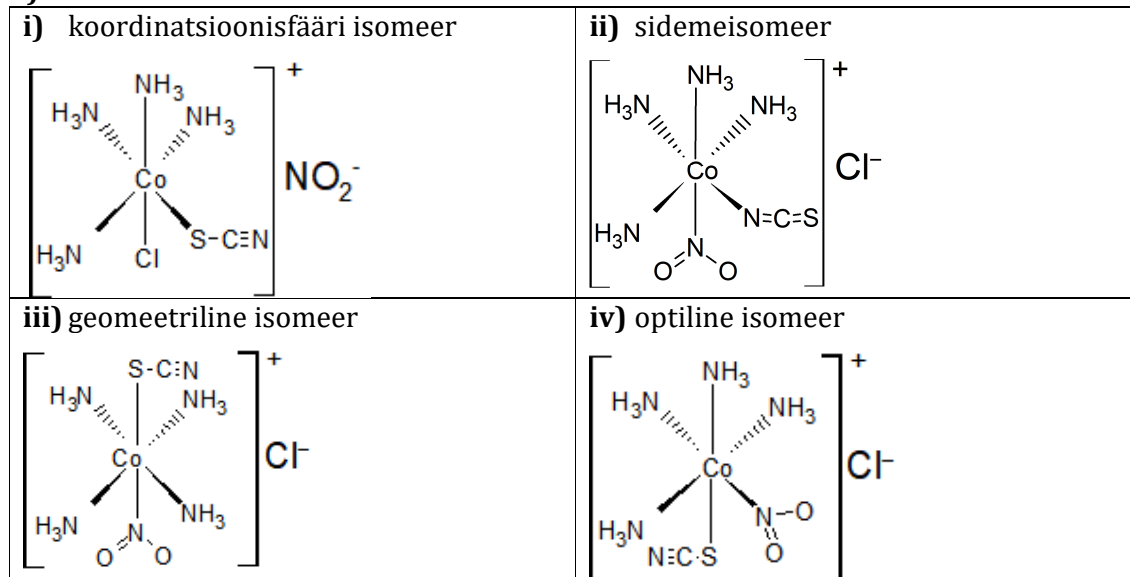
Ligand 3 -  $CN^-$

Ligand 4 -  $Br^-$

Ligand 5 – F<sup>-</sup>  
 Metalliioon A – Cr<sup>3+</sup>  
 Metalliioon B – Mn<sup>2+</sup>  
 Metalliioon C – V<sup>3+</sup>  
 Metalliioon D – Co<sup>2+</sup>  
 Metalliioon E – Co<sup>3+</sup>

(3,5)

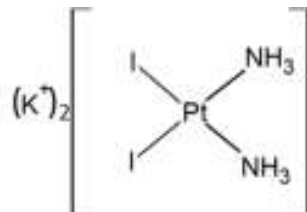
d)



(2)

e) X – NH<sub>3</sub>

Y –



Z – AgNO<sub>3</sub>

(1,5)

f) S:  $[Pt(NH_3)_2((NH_2)_2CS)_2]Cl_2$  %S) =  $(6 \cdot 14,01) / (6 \cdot 14,01 + 14 \cdot 1,008 + 2 \cdot 32,06 + 2 \cdot 12,01 + 195,1 + 2 \cdot 35,45) \cdot 100\% = 18,58\%$

L:  $[Pt((NH_2)_2CS)_4]Cl_2$  %S) =  $(8 \cdot 14,01) / (8 \cdot 14,01 + 16 \cdot 1,008 + 4 \cdot 32,06 + 4 \cdot 12,01 + 195,1 + 2 \cdot 35,45) \cdot 100\% = 19,65\%$

(2)

g) i) A – Fe

B – FeCl<sub>2</sub>

C – HCN

D – Ca(OH)<sub>2</sub>

E – Ca<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]\*11 H<sub>2</sub>O

F – KCl

G – CaK<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]

H – K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

I – K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]

J – K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]

(5)

ii) Reaktsioonid:

$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2$

(0,5)

$6 HCN + FeCl_2 + 2 Ca(OH)_2 + 7 H_2O = Ca_2[Fe(CN)_6] \cdot 11 H_2O + 2 HCl$

(0,5)

