

**2017/2018. õa keemiaolümpiaadi lõppvooru ülesannete lahendused
9.–10. klass**

1. a) $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$ (1)
- b) $c(\text{karedus}) = \frac{19,25 \text{ cm}^3 \cdot 0,02000 \text{ mol/dm}^3}{100 \text{ cm}^3} = 0,003850 \text{ M}$
 $c(\text{karedus}) = 3,850 \text{ mmol/dm}^3$ (1)
- c) $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{17,62 \text{ cm}^3 \cdot 0,02000 \text{ mol/dm}^3}{100 \text{ cm}^3} = 0,003524 \text{ M}$
 $c(\text{Ca}^{2+}) = 3,524 \text{ mmol/dm}^3$ (1)
 $c(\text{Mg}^{2+}) = (0,03850 - 0,003524) \text{ mol/dm}^3 = 0,000326 \text{ M}$
 $c(\text{Mg}^{2+}) = 0,326 \text{ mmol/dm}^3$ (1)
- d) $3\text{Ca}^{2+} + 3\text{Mg}^{2+} + 4\text{PO}_4^{3-} = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow$ (1)
- e) Karedust põhjustavad ioonid reageerivad fosfaationidega suhtes 3:2.
 $n(\text{karedus}) = 0,003850 \text{ M} \cdot 0,1 \text{ dm}^3 = 0,000385 \text{ mol}$
 $m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,000385 \text{ mol} \cdot \frac{2}{3} \cdot 163,94 \text{ g/mol} = 0,0421 \text{ g}$ (2)

7 p

2. a) Teisendades barrelid SI-ühikutesse ja kasutades raske kütteõli tihedust, saame protsessi siseneva voo massiks:
 $m_1 = V_1 \cdot \rho_1 = 37800 \text{ bbl/päev} \cdot 0,159 \text{ m}^3/\text{bbl} \cdot 1040 \text{ kg/m}^3 \approx 6250000 \text{ kg/päev}$
 $m_1 = \mathbf{6250 \text{ t/päev}}$ (1)
- b) Toodeud torbenssiini mass ja vooluhulk on:
 $m_7 = 0,264 \cdot m_1 = 1650 \text{ t/päev}$
 $V_7 = m_7/\rho_7 = 2062,7 \text{ m}^3/\text{päev} = \mathbf{12970 \text{ bbl/päev}}$ (1)
 Toodeud diisli mass ja vooluhulk on:
 $m_6 = 0,313m_1 = 1956 \text{ t/päev}$
 $V_6 = m_6/\rho_6 = 2356,9 \text{ m}^3/\text{päev} = \mathbf{14820 \text{ bbl/päev}}$ (1)
 Järelikult kütteõli mass ja vooluhulk on:
 $m_9 = m_1 - m_6 - m_7 = 2644 \text{ t/päev}$
 $V_9 = m_9/\rho_9 = 2905,5 \text{ m}^3/\text{päev} = \mathbf{18270 \text{ bbl/päev}}$ (1)
- c) Kuna **FCC** reaktorisse siseneva gaasiõli koguhulk on teada, siis järelikult
 $m_2 + m_5 = 2840 \text{ t/päev}$
FCC reaktorist väljuva õlijäägi mass on
 $m_8 = (m_2 + m_5) - m_7 = 1190 \text{ t/päev}$ (0,5)
 Seega H-Oil reaktorist väljuva jäägi mass peab olema
 $m_4 = m_9 - m_8 = 1454 \text{ t/päev}$ (0,5)
 Kuna 35% gudroonist väljub jäägina, peab H-Oil reaktorisse siseneva massi hulk olema
 $m_3 = m_4/0,35 = 4154 \text{ t/päev}$ (0,5)
 Seega H-Oil reaktorist väljuva gaasiõli mass on
 $m_5 = m_3 - m_4 - m_6 = 744 \text{ t/päev}$ (0,5)

Järelikult **FCC** reaktorisse tulevast gaasiõlist pärineb vaakumdestillaatsioonist

$$f = [(m_2 + m_5) - m_5] / (m_2 + m_5) = 73,8\% \quad (1)$$

d) Võimalikud vastused:

Kõrge väävlisisaldusega kütuste põlemisel tekib liigsetes kogustes keskkonnale ohtlikke vääveloksiide (SO_2 ja SO_3).

Mida suurem on väävli sisaldus kütuses, seda väiksem on kütuse kütteväärtus (vähenenud süsivesinike hulga arvelt).

Kütuste põlemisel tekib väävelhape, mille tõttu põlemissaadustega kokku puutuvad sõiduvahendi osad korrodeeruvad kiiremini. (2)

9 p

3. a) Oletame, et meil on $1,00 \text{ cm}^3$ tükk kaaliumi metalli. See tükk kaalub $0,862 \text{ g}$.

Moolide arv sellises tükkis:

$$n(\text{K}) = 0,862 \text{ g} / (39,10 \text{ g/mol}) = 0,0220 \text{ mol} \quad (1)$$

Nüüd teisendame moolide arvu aatomite/osakeste arvuks:

$$N = 0,0220 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1,33 \cdot 10^{22} \quad (1)$$

Järgmiseks tuleb leida ühe aatomi ruumala, oletades, et aatom on kera:

$$V_{\text{aatom}} = 4/3 \cdot 3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10} \text{ m})^3 = 5,09 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3 \quad (1)$$

Sellest saab arvutada välja ruumala, mis on hõivatud selles tükkis olevate aatomite poolt:

$$V_{\text{aatomid}} = 5,09 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3 \cdot 1,33 \cdot 10^{22} = 5,09 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3 \cdot 1,33 \cdot 10^{22} = 0,677 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

Aatomid võtavad enda alla umbes 68% metallist, seega kaaliumi puhul on tegemist **ruumtsentreeritud kuubilise kristallvõrega**. (1)

b) i) Iga kaaliumiooni naaberioonideks on 6 kloriidiooni. (1)

ii) Võreparameeter $a = 2r(\text{K}^+) + 2r(\text{Cl}^-)$, seega

$$r(\text{K}^+) = \frac{a - 2r(\text{Cl}^-)}{2} = \frac{(0,630 - 2 \cdot 0,167) \text{ nm}}{2} = 0,148 \text{ nm} \quad (1)$$

Kaaliumi aatomi jaiooni raadiused erinevad üksteisest $0,230 - 0,148 = 0,082 \text{ nm}$ võrra. Kaaliumiooni raadius soolakristallis on väiksem, kuna tegu on katiooniga ehk kaaliumil on elektronkattest üks elektron vähem kui metallis. Seetõttu on K^+ välimine elektronkiht tühi ja sellest tulenevalt ka väiksem raadius. (2) **9 p**

4. a) $1000 \text{ ppm} = 1000 \text{ parts per million}$ ehk 1000 miljondikku. See tähendab, et ühes liitris õhus sisaldub $1000 \cdot 10^{-6}$ liitrit gaasi **A** ehk $1000 \mu\text{L}$ gaasi **A**. Kuna $1000 \mu\text{L}$ on palju rohkem kui $10 \mu\text{L}$, siis kasutab omanik liiga kõrget gaasi **A** kontsentratsiooni. (1)

b) 1 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (1)

2 $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$ (1)

3 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ (happeline) (1)

c) Gaaside segu ruumala

$$V_{\text{gaasid}} = 500 \text{ m} \cdot 200 \text{ m} \cdot 5,0 \text{ m} \cdot 0,5 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \quad (0,5)$$

Eteeni ruumala

$$V(\text{eteen}) = 2,5 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000}{10^6} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ m}^3 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ dm}^3 \quad (0,5)$$

Üleminekuks ruumalalt ainehulgale tuleb leida gaasi molaarruumala, mille arvutamiseks saame kasutada ideaalgaasi olekuvõrrandit $pV = nRT$, millest

$$\frac{V}{n} = R \frac{T}{p} = \frac{0,082057 \frac{\text{dm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (273,15 + 20) \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 24,06 \text{ dm}^3/\text{mol} \quad (0,5)$$

$$n(\text{eteen}) = \frac{2,5 \cdot 10^5 \text{ dm}^3}{24,06 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 10400 \text{ mol} = 10,4 \text{ kmol} \quad (0,5)$$

Kuna ülesande tingimuste kohaselt tekib 1 molekulist etanoolist 1 molekul eteeni, siis on ka etanooli teoreetiline hulk $n(\text{etanool}) = n(\text{eteen})$.

Arvestades saagist ja kadusid:

$$n'(\text{etanool}) = 10400 \text{ mol} \cdot \frac{1,2}{0,9} = 13900 \text{ mol} = 13,9 \text{ kmol} \quad (1)$$

Etanooli molekulmassi saame arvutada brutovalemist (juhul, kui seda ei mäleta, saab arvutada ka reaktsioonivõrrandi kirjeldusest:

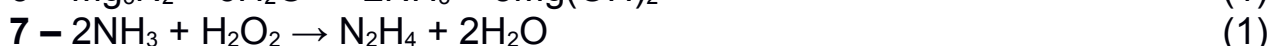
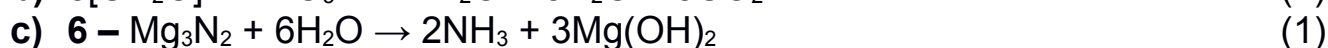
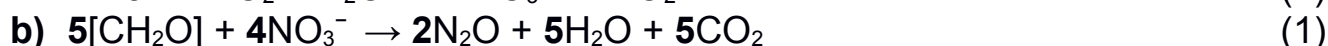
$$M(\text{etanool}) = M(\text{eteen}) + M(\text{vesi}) = 46 \text{ g/mol} = 46 \text{ kg/kmol}.$$

$$m(\text{etanool}) = 13,9 \text{ kmol} \cdot 46 \text{ kg/kmol} = \mathbf{640 \text{ kg}} \quad (1)$$

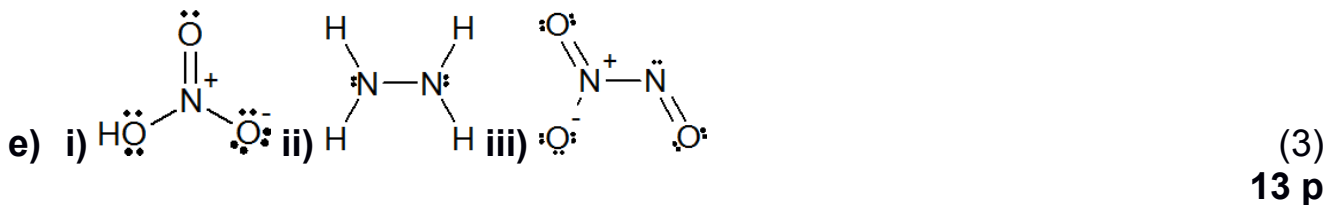
d) Süsivesinik eteen on põlev, seega võiks see teoreetiliselt tõsta põlengu riski. Samas on selle osakaal nii väike, et see ei mõjuta tuleohutust kuigi oluliselt (seega arvestatakse õige vastusena mõlemad variandid, kuid neid tuleb sobivalt kommenteerida). Süsihappegaas on seevastu mittepõlev ning hoopis takistab põlemist, tõrjudes põlemise tsoonist hapnikku välja. Seega ei tõsta ka süsihappegaas põlengu riski. (2)

e) Papaia tuleb panna samasse anumasse, kus on küpsed banaanid, ning katta võimalusel suure kilekotiga. Kilekoti alla võib panna lisaks väiksema anuma kraaniveega. Banaanidest eralduv eteen kiirendab papaia küpsemist, vesi püüab aga kinni banaanidest eralduvat süsihappegaasi. Õige vastuse jaoks piisab sõnastusest "panna papaia banaanide kõrvale, sest banaanidest eralduv etüün kiirendab papaia küpsemist". (1)

11 p



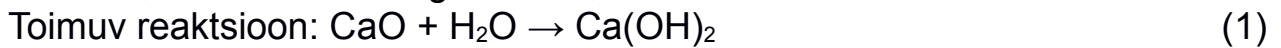
d) Tegemist ei ole redoksreaktsiooniga, sest aatomite oksüdatsiooniastmed reaktsiooni käigus ei muutu ($\text{NO} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_3$). (1)



6. a) $\Delta T = 70,0 \text{ }^\circ\text{C} - 21,0 \text{ }^\circ\text{C} = 49,0 \text{ }^\circ\text{C} = 49,0 \text{ K}$

Puljongi soojendamiseks kulub energiat:

$$Q = \frac{C_{\text{eri}} \Delta T m}{0,60} = 4,187 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{g}} \cdot \frac{49,0 \text{ K} \cdot 400 \text{ g}}{0,6} = 137000 \text{ J} \approx 137 \text{ kJ} \quad (1,5)$$



Reaktsioonil eraldub energiat:

$$\Delta H = \Delta H_f(\text{Ca(OH)}_2) - [\Delta H_f(\text{CaO}) + \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})]$$

$$\Delta H = 1 \cdot (-986,1) - [1 \cdot (-634,9) + 1 \cdot (-285,8)] \text{ kJ} = -65,40 \text{ kJ} \quad (1)$$

1 moolist CaO-st on võimalik saada 65,40 kJ energiat, kuid vaja on 137 kJ.

$$n(\text{CaO}) = \frac{137 \text{ kJ} \cdot 1 \text{ mol}}{65,40 \text{ kJ}} = 2,09 \text{ mol}$$

$$m(\text{CaO}) = 2,09 \text{ mol} \cdot 56,1 \text{ g/mol} = 117 \text{ g} \quad (1)$$



Nagu punktis a) eelnevalt leitud, on vaja 137 kJ energiat. Reaktsioonil eraldub energiat:

$$\Delta H = \Delta H_f(\text{Mg(OH)}_2) + \Delta H_f(\text{H}_2) - [\Delta H_f(\text{Mg}) + 2 \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})]$$

$$\Delta H = 1 \cdot (-986,1) + 1 \cdot 0 - [1 \cdot 0 + 2 \cdot (-285,8)] \text{ kJ} = -352,9 \text{ kJ} \quad (1)$$

1 mooli Mg reageerimisel veega eraldub 352,9 kJ energiat, kuid vaja on 137 kJ energiat.

$$n(\text{Mg}) = \frac{137 \text{ kJ} \cdot 1 \text{ mol}}{352,9 \text{ kJ}} = 0,388 \text{ mol}$$

$$m(\text{Mg}) = 0,388 \text{ mol} \cdot 24,30 \text{ g/mol} = 9,43 \text{ g} \quad (1)$$

Kuna sulamis on magneesiumi 95%, siis sulamit on vaja:

$$m(\text{sulam}) = \frac{9,43 \text{ g}}{0,95} = 9,9 \text{ g} \quad (0,5)$$



ii) Puhta magneesiumi asemel kasutatakse raua ja magneesiumi sulamit, sest tänu rauale reageerib magneesium kiiremini – galvaanielement. (1)

iii) Reaktsioonil eraldub vesinik, mis on tuleohtlik. (1)

d) Nagu punktis a) eelnevalt leitud, on soojuskaota vaja 82,1 kJ energiat.

$$E_{\text{kin}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{12,0 \text{ cm} \cdot 0,01 \text{ m/cm}} = 1,65 \cdot 10^{-24} \text{ J} \quad (1)$$

Kuna ühes sekundis kiirgub $5,45 \cdot 10^{26}$ footonit, siis eraldub ühes sekundis energiat:

$$E' = 5,45 \cdot 10^{26} \text{ footonit/s} \cdot 1,65 \cdot 10^{-24} \text{ J/footon} = 899 \text{ J/s} \quad (0,5)$$

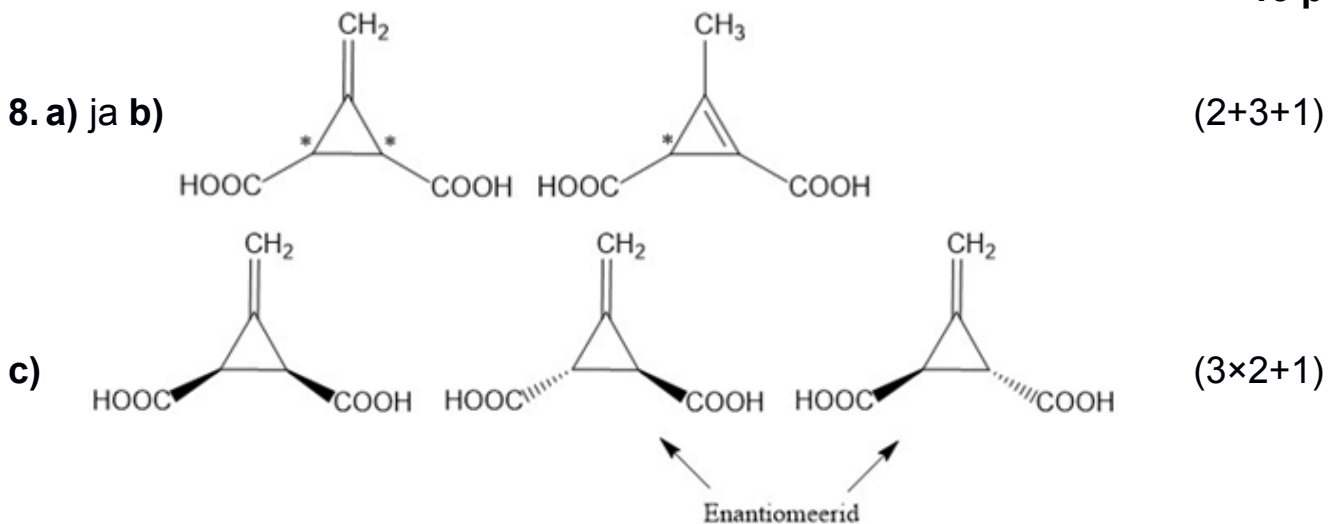
Kuumutamiseks vajalik aeg on seega:

$$t = \frac{82,1 \text{ kJ}}{899 \text{ J/s}} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} = 91,3 \text{ s} \approx 1,5 \text{ min} \quad (0,5)$$

13 p

7. a) **A** – $\text{Hg}(\text{OH})\text{NO}_3$ (õigeks lugeda ka alternatiivsed valemid) (0,5)
B – $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$ (0,5)
C – KI (0,5)
D – HgI_2 (0,5)
E – $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ (0,5)
F – CuCl (0,5)
- b) **1** – $\text{Hg}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Hg}(\text{OH})\text{NO}_3\downarrow + \text{H}^+$ (1)
2/3 – $\text{Cu} + \text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Hg}\downarrow$ (1)
3/2 – $\text{Sn} + \text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + \text{Hg}\downarrow$ (1)
4 – $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KI} \rightarrow \text{HgI}_2\downarrow + 2\text{KNO}_3$ (1)
5 – $\text{HgI}_2 + 2\text{KI} \rightarrow \text{K}_2[\text{HgI}_4]$ (1)
6 – $2\text{CuCl} + \text{K}_2[\text{HgI}_4] \rightarrow \text{Cu}_2[\text{HgI}_4]\downarrow + 2\text{KCl}$ (1)
- c) (vask/tina)amalgam (1)
d) Vask(I)tetraiodomerkuraat(II) (1)
Nõrgal kuumutamisel (alates $65\text{ }^\circ\text{C}$) avaldub aine termoreaktiivsus, kuna leiab aset pöörduv faasiüleminek ühest kristallvormist teise. (1)
e) Pabersüda tuleb pliidi kohalt soojast ära võtta. Madalamal temperatuuril taastub aine algne kristallstruktuur ning ka värvus. (1)

13 p



13 p

9. a) $c(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{5,49\text{ cm}^3 \cdot 0,0500\text{ M}}{50,0\text{ cm}^3} = 5,49 \cdot 10^{-3}\text{ M}$ (1)
- b) $\text{pH} + \text{pOH} = 14,00$
 $\text{pH} = 14,00 - \text{pOH} = 14,00 + \log(0,0500) \approx 12,70$ (2)
- c) $K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = 7,6 \cdot 10^{-3}$ (0,5)

Kui tähistada $[\text{H}^+] = [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = x$ ja fosforhappe analüütiline kontsentratsioon kui $c(\text{H}_3\text{PO}_4)$, siis $x^2 / (c(\text{H}_3\text{PO}_4) - x) = 7,6 \cdot 10^{-3}$ (0,5)

Ruutvõrrandi lahendamisel saame, et $[\text{H}^+] \approx 3,69 \cdot 10^{-3}\text{ M}$ (0,5)

$\text{pH} = -\log(3,69 \cdot 10^{-3}) \approx 2,43$ (0,5)

- d) Võib eeldada, et I ja II ekvivalentpunkti vahel sõltub pH ainult $[H_2PO_4^-]/[HPO_4^{2-}]$ suhtest ning dissotsiatsioonikonstantide erinevused on piisavalt suured, et teistes vormides fosforhapet ei esine. Teisele dissotsiatsioonikonstandile vastab võrrand

$$K_2 = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 6,2 \cdot 10^{-8} \quad (0,5)$$

$$[H^+] = K_2 \cdot \frac{[H_2PO_4^-]}{[HPO_4^{2-}]}$$

8,00 cm³ lisamise järel on lahuses

$$[HPO_4^{2-}] = (8,00 \text{ cm}^3 - 5,49 \text{ cm}^3) \cdot 0,0500 \text{ M} = 0,1255 \text{ mmol} \quad (0,5)$$

$$[H_2PO_4^-] = 5,49 \text{ cm}^3 \cdot 0,0500 \text{ M} - 0,1255 \text{ mmol} = 0,149 \text{ mmol} \quad (0,5)$$

$$[H^+] = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ M} \cdot \frac{0,149 \text{ mmol}}{0,1255 \text{ mmol}} = 7,36 \cdot 10^{-8} \text{ M} \quad (1)$$

$$\text{pH} = -\log(7,36 \cdot 10^{-8}) \approx 7,13 \quad (0,5)$$

- e) $[H^+] = 10^{-7,39} \approx 4,074 \cdot 10^{-8} \text{ M} \quad (0,5)$

Ka selle pH juures ollakse I ja II ekvivalentpunkti vahel ning võib eeldada, et fosforhape esineb ainult vesinik- ja divesinikfosfaadina.

$$\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = \frac{K_2}{[H^+]}$$

$$\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = 6,2 \cdot \frac{10^{-8}}{4,074 \cdot 10^{-8}} = 1,522 \quad (0,5)$$

$$[HPO_4^{2-}] + [H_2PO_4^-] = 1,522 \cdot [H_2PO_4^-] + [H_2PO_4^-] = 5,49 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot 50,0 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

$$[H_2PO_4^-] = 0,1088 \text{ mmol}, [HPO_4^{2-}] = 0,1657 \text{ mmol} \quad (1)$$

$$V(\text{NaOH}) = \frac{0,1088 \text{ mmol} + 2 \cdot 0,1657 \text{ mmol}}{0,0500 \text{ M}} \approx 8,8 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

- f) Koola eelnev degaseerimine on oluline, sest gaseerimisel kasutatakse CO₂ on happeline oksiid ja reageerib veega, põhjustades vesinikioonide sattumise vette. Et süsihappegaas fosforhappe tiitrimist ei segaks, on vaja see eelnevalt eemaldada.

Alternatiivne põhjendus: Koola vahutamine võib muuta ruumala mõõtmise ebatäpseks. (1)

13 p