




2022/23. õa keemiaolümpiaadi piirkonnavooru ülesanded  
10. klass  
Lahendused

**1. Õhku saastavad gaasid (10 p)**

Allikad:

- [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203917301504](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203917301504)
- [www.co2.earth/seasonal-co2-cycle](http://www.co2.earth/seasonal-co2-cycle) ja [gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html](http://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html)

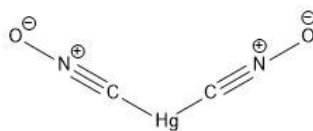
- a) i) NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> (4×0,5)  
 ii) NH<sub>3</sub> (0,5)  
 b) 1) vulkaanid ja äikesed (1)  
 c) (4×0,5)

			
CO <sub>2</sub>			
NO <sub>2</sub>	+	+	+
SO <sub>2</sub>		+	+

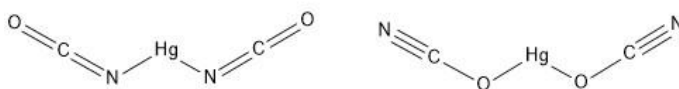
- d) A – O<sub>3</sub>, B – NO<sub>2</sub> ja C – NO (1,5)  
 e) CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (1)  
 f) 1) CO<sub>2</sub> kontsentratsioon väheneb, kui põhjapoolkeral on suvi; (0,5)  
 3) CO<sub>2</sub> kontsentratsioon suureneb aastate jooksul. (0,5)  
 g) 2) hooajalisus on tingitud biomassi jaotumisest põhja- ja lõunapoolkera vahel. (1)  
**10 p**

**2. “Halvale teele” (10 p)**

- a) A – Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (0,5)  
 B – Hg(CNO)<sub>2</sub> (0,5)  
 C – N<sub>2</sub> (0,5)  
 D – Hg(CN)<sub>2</sub> (0,5)  
 E – CO<sub>2</sub> (0,5)  
 F – Hg(OCN)<sub>2</sub> (0,5)  
 b) 1)  $3\text{Hg} + 8\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$  (1)  
 2)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{Hg}(\text{CNO})_2 + 2\text{CH}_3\text{CHO} + 5\text{H}_2\text{O}$  (1)  
 3)  $\text{Hg}(\text{CNO})_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{N}_2 + \text{Hg}$  (1)  
 4)  $2\text{Hg}(\text{CNO})_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{Hg} + \text{Hg}(\text{CN})_2$  (1)  
 5)  $\text{Hg}(\text{CNO})_2 \rightarrow \text{Hg}(\text{OCN})_2$  (Hg(NCO)<sub>2</sub> sobib ka produktina) (1)  
 c) (2×1)



**B**



**F**

Mõlemad tsüanaat ja isotsüanaat sobivad ainena **F**.

**10 p**

### 3. Aktiivne metall (12 p)

- a) A – Mg (0,5)  
B – Mg(OH)<sub>2</sub> (0,5)  
C – MgCO<sub>3</sub> (0,5)  
D – MgO (0,5)  
E – CO<sub>2</sub> (0,5)  
F – H<sub>2</sub>O (0,5)  
G – H<sub>2</sub> (0,5)  
H – C (0,5)  
I – N<sub>2</sub> (0,5)  
J – Li (0,5)
- b) 1) Mg(OH)<sub>2</sub> → MgO + H<sub>2</sub>O (1)  
2) MgCO<sub>3</sub> → MgO + CO<sub>2</sub> (1)  
3) Mg + 2H<sub>2</sub>O → Mg(OH)<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> (1)  
4) 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> → 2H<sub>2</sub>O (1)  
5) 2Mg + CO<sub>2</sub> → 2MgO + C (1)  
6) 3Mg + N<sub>2</sub> → Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> (1)  
7) 6Li + N<sub>2</sub> → Li<sub>3</sub>N (1)

12 p

### 4. Jodomeetria (9 p)

- a) 1) I<sup>-</sup> + 3Br<sub>2</sub> + 3H<sub>2</sub>O → 6H<sup>+</sup> + 6Br<sup>-</sup> + IO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,5)  
2) IO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 5I<sup>-</sup> + 6H<sup>+</sup> → 3I<sub>2</sub> + 3H<sub>2</sub>O (1)  
3) I<sup>-</sup> + 4XeF<sub>4</sub> + 4H<sub>2</sub>O → 4Xe + 8HF + IO<sub>4</sub><sup>-</sup> (1)  
4) IO<sub>4</sub><sup>-</sup> + 7I<sup>-</sup> + 8H<sup>+</sup> → 4I<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub>O (1)  
5) I<sup>-</sup> + 3IO<sub>4</sub><sup>-</sup> → 4IO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,5)  
6) IO<sub>4</sub><sup>-</sup> + 6MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + 8H<sup>+</sup> → [I(MoO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>]<sup>5-</sup> + 4H<sub>2</sub>O (1)
- b) Meetod 1: 6I<sup>-</sup> + 3Br<sub>2</sub> → 6Br<sup>-</sup> + 3I<sub>2</sub> (0,5)  
Meetod 2: 8I<sup>-</sup> + 4XeF<sub>4</sub> → 4Xe + 8HF + 4I<sub>2</sub> (0,5)  
Meetod 3: 21I<sup>-</sup> + 3IO<sub>4</sub><sup>-</sup> + 24H<sup>+</sup> → 12H<sub>2</sub>O + 12I<sub>2</sub> (0,5)
- c) Võimenduse kordsus = 24 (0,5)
- d)  $m(\text{N}_2\text{H}_5\text{HSO}_4) = 4 \cdot 6 \cdot 0,01000 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot 0,00641 \text{ cm}^3 \cdot 130,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,200 \text{ g}$  (2)

9 p

### 5. Vesinikuenergeetika (9 p)

- a) Katood: 2H<sub>2</sub>O + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub> + 2OH<sup>-</sup> (1)  
Anood: 4OH<sup>-</sup> - 4e<sup>-</sup> → O<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O (1)
- b) Lahendamiseks kasutame Faraday seadust:  
$$t = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1}}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 273,15 \text{ K} \cdot 0,70 \cdot 10 \text{ A}} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ s} = 340 \text{ h}$$
 (1)
- c) Katood: 2H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub> (1)  
Anood: 2H<sub>2</sub>O - 4e<sup>-</sup> → 4H<sup>+</sup> + O<sub>2</sub> (1)
- d) Faraday seaduse abil leiame teoreetiliselt vesinikuvoolu kiirust 8 rakust ning voolutarbimise efektiivsust:  
$$v_{\text{H}_2} = \frac{I}{2F} \cdot \frac{RT}{p} \cdot N = \frac{124,0 \text{ A} \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 273,15 \text{ K} \cdot 8}{2 \cdot 96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 101325 \text{ Pa}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 0,415 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$
 (1,5)  
$$\eta = \frac{0,360 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}}{0,415 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}} = 0,868$$
 (0,5)
- e) Katood: H<sub>2</sub>O + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub> + O<sup>2-</sup> (1)  
Anood: 2O<sup>2-</sup> - 4e<sup>-</sup> → O<sub>2</sub> (1)

9 p

## 6. Süsiniku pinnakeemia (20 p)

a) Leiame südamikruumala:

$$V = 0,11 \text{ m} \cdot \pi \cdot (0,00050 \text{ m})^2 = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (0,5)$$

Kristallstruktuurist on näha, et kui panna see kogu ruumala ühte kihti, oleks tema "kõrgus" 335 pm. (0,5)

Selise monokihi pindala on siis leitav:

$$A = 8,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 / (335 \cdot 10^{-12} \text{ m}) = \mathbf{260 \text{ m}^2}. \quad (0,5)$$

b) Antud valemi järgi iga kuusnurga pindala on  $A = 5,24 \text{ \AA}^2 = 5,24 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ .

Iga süsiniku aatom on osa kolmest kuusnurgast heksagooni. Iga aatom annab siis  $\frac{1}{3}$  oma massist igale kuusnurgale. Järelikult ühe kuusnurgase struktuuriühiku kohta on grafeenis  $6 \cdot \frac{1}{3} = 2$  aatomit. (0,5)

Üks mool heksagoone annab pindalat:

$$A_{\text{mol}} = A \cdot N_A = 5,24 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 3,15 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}. \quad (0,5)$$

Ühele moolile heksagoone vastab 2 mol süsiniku aatome. Nende mass mooli heksagoone kohta:

$$M = 2 \cdot 12,0 \text{ g mol}^{-1} = 24,0 \text{ g mol}^{-1}.$$

Ühe külje eripindala on siis leitav:

$$A_{\text{mol}} / M = 1310 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}. \quad (0,5)$$

Grafeenil on aga kaks külge, ehk kogu eripindala on kaks korda rohkem:

$$\sigma_g = \mathbf{2620 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}} \quad (0,5)$$

Ilma moolidesse ülemineku lahendus ka võimalik, kasutades aatomite masse otseselt.

c) Tasakaalulises reaktsioonis edasi- ja vastassuunalise protsesside kiirused on võrdsed:

$$k_a p [A] = k_d [N_{2(\text{ads})}] \quad (0,5)$$

Kogu pinnapunktide kontsentratsioon on  $[A] + [N_{2(\text{ads})}]$ . Pinna kattuvus  $\theta$  on siis:

$$\theta = [N_{2(\text{ads})}] / ([A] + [N_{2(\text{ads})}]) \quad (0,5)$$

Avaldame  $[N_{2(\text{ads})}]$  läbi  $[A]$ :

$$k_a/k_d p [A] = \theta ([A] + k_a/k_d p [A])$$

$$K p = \theta (1 + K p)$$

$$\theta = K p / (1 + K p) \quad (1)$$

d)  $K p \ll 1$ :  $\theta \rightarrow K p$  (0,5)

$K p \gg 1$ :  $\theta \rightarrow 1$  (0,5)

e) Pinna kattuvus  $\theta$  on võrdne adsorbeerunud  $N_2$  hulga ja võimalikult palju adsorbeeritava hulga suhele. Viimane on Langmuiri mudeli järgi monokihi juhtum, ehk molekulid on paigutatud pinnal nii tihedalt, kui võimalik.

Seega  $\theta = m_p / m_0$ , kus  $m_0$  on antud proovil kogu pinna katva  $N_2$  monokihi mass. Otsime seda väärtust. (0,5)

Koostame võrrandisüsteem:

$$150 \text{ mg} / m_0 = K \cdot 71 \text{ kPa} / (1 + K \cdot 71 \text{ kPa}) \quad (1)$$

$$190 \text{ mg} / m_0 = K \cdot 140 \text{ kPa} / (1 + K \cdot 140 \text{ kPa})$$

$$m_0 / 150 \text{ mg} = 1 / (K \cdot 71 \text{ kPa}) + 1 \quad | \quad 1/K = (m_0 / 150 \text{ mg} - 1) \cdot 71 \text{ kPa}$$

$$m_0 / 190 \text{ mg} = 1 / (K \cdot 140 \text{ kPa}) + 1$$

$$m_0 / 190 \text{ mg} = (m_0 / 150 \text{ mg} - 1) \cdot 71 \text{ kPa} / 140 \text{ kPa} + 1$$

$$m_0 / 190 \text{ mg} = 71 \text{ kPa} / 140 \text{ kPa} \cdot m_0 / 150 \text{ mg} - 71 \text{ kPa} / 140 \text{ kPa} + 1$$

$$m_0 = 260 \text{ mg} \quad (1)$$

$$\text{Moolihulk } n_0 = 260 \text{ mg} / 28 \text{ g mol}^{-1} = 0,0093 \text{ mol}$$

$$\text{Molekulide arv } N_0 = 0,0093 \text{ mol} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 5,6 \cdot 10^{21}$$

Monokihi poolt hõlmatav pindala ehk aktiveeritud süsiniku proovi kogu väline pindala siis:

$$A = 5,6 \cdot 10^{21} \cdot 0,162 \text{ nm}^2 = 910 \text{ m}^2$$

Proovi eripindala siis:

$$\sigma_a = 910 \text{ m}^2 / 0,59 \text{ g} = \mathbf{1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}} \quad (0,5)$$

- f)  $X = CH_4$   
 $Y = H_2S$   
 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$  (0,5)  
 $2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_2 + 2H_2O$  (0,5)
- g)  $H_2S + 2NaOH$  (või  $KOH$ )  $\rightarrow Na_2S$  (või  $K_2S$ ) +  $2H_2O$  (0,5)



- i) Hüpokloorishape dissotsieerumine:



pH on happelisuse, ehk  $H^+$  ionide kontsentratsiooni määr. Mida madalam pH, seda suurem  $H^+$  ionide kontsentratsioon. (0,5)

Seega pH-i suurendamine vastab  $H^+$  ionide kontsentratsiooni vähendamisele. Le Chatelier'i printsiibi kohta, süsteemi tasakaal hakkab liikuma produktide (paremale) poole ühe neist ( $H^+$ ) vähendamisel (dissotsieerumise suund kiirendab), ehk  $HClO$  kontsentratsioon väheneb ja  $ClO^-$  oma suureneb. (2,5)

Vastupidine on ka õige: pH-i vähendamisel suureneb  $H^+$  kontsentratsioon, ehk süsteemi tasakaal liigub reagendi (vasakus) suunas (rekombineerumise suund kiirendab), ehk  $HClO$  kontsentratsioon suureneb ja  $ClO^-$  oma väheneb.

- j) Mõlemas vees pH jääb konstantseks, ehk  $HClO$  ja  $ClO^-$  osakaalud jäävad samaks, ehk kogu filtreerimise kiirused on ka konstantsed. Isegi kui üks neist reageerib kiiremini, dissotsieerumise tasakaal korrigeerib seda, et osakaal jääks samaks. (0,5)

Molekuli või iooni filtreerimise kiirus on võrdeline siis eripindalale, filtri massile ja korrutisele 1  $ClO^-$  jaoks ning 3,0  $HClO$  jaoks. Kokku mõlema filtreerimise kiirused osakaalude koefitsientidega (tabelist) annavad kogu filtreerimise kiiruse.

pH = 6 jaoks:

$HClO$  kiirus  $\sim 2900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 4,5 \text{ g} \cdot 3,0$

$ClO^-$  kiirus  $\sim 2900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 4,5 \text{ g} \cdot 1,0$

Kogu kiirus  $\sim 0,97 \cdot (2900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 4,5 \text{ g} \cdot 3,0) + 0,03 \cdot (2900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 4,5 \text{ g} \cdot 1,0)$  (1)

pH = 8 jaoks:

$HClO$  kiirus  $\sim 3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m \cdot 3,0$

$ClO^-$  kiirus  $\sim 3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m \cdot 1,0$

Kogu kiirus  $\sim 0,23 \cdot (3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m \cdot 3,0) + 0,77 \cdot (3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m \cdot 1,0)$  (1)

Otsime uue filtri massi  $m$ , kui kogu kiirused on samad:

$0,97 \cdot (2900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 4,5 \text{ g} \cdot 3,0) + 0,03 \cdot (2900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 4,5 \text{ g} \cdot 1,0) =$

$= 0,23 \cdot (3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m \cdot 3,0) + 0,77 \cdot (3200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m \cdot 1,0)$

$38000 \text{ m}^2 = 4700 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \cdot m$

$m = 8,2 \text{ g}$

(1)

20 p