



60. ročník

2023/2024

ŠKOLNÍ KOLO

Kategorie B

Praktická část – Řešení

PRAKTICKÁ ČÁST**40 BODŮ****Úloha 1 Stanovení kyseliny octové a kyseliny chlorovodíkové ve směsi****40 bodů**

- 1) Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného:

Přesnost stanovení se hodnotí na základě odchylky ΔV vypočítané jako rozdíl mezi spotřebou stanovenou účastníky $V(\text{stud})$ a referenční spotřebou $V(\text{ref})$ získanou organizátory.

$$\Delta V = |V(\text{stud}) - V(\text{ref})|$$

$\Delta V \leq 0,2 \text{ ml}$	$0,2 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 1,0 \text{ ml}$	$1,0 \text{ ml} \leq \Delta V$
13 bodů	$(16,25 - 16,25 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

*body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu
za přesnost stanovení maximálně 13,00 bodu*

celkem 13,00 bodu

- 2) Výpočty:

Pro látkovou bilanci mezi oběma kyselinami a hydroxidem sodným v titrační baňce platí:

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{HCl}} + n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{HCl}+\text{CH}_3\text{COOH}}$$

Látkové množství obou kyselin v titrační baňce je tedy:

$$n_{\text{HCl}+\text{CH}_3\text{COOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$$

Vzhledem k tomu, že se z odměrné baňky o objemu 100,0 ml pipetovalo 10,00 ml, je obsah obou kyselin v odměrné baňce (a tedy i ve vzorku) 10× vyšší, tedy:

$$n_{\text{HCl}+\text{CH}_3\text{COOH}, \text{vzorek}} = 10 \cdot c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$$

Pro modelovou hodnotu spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného $V(\text{NaOH}) = 14,88 \text{ ml}$ a koncentraci $c(\text{NaOH}) = 0,1011 \text{ mol dm}^{-3}$ je pak:

$$n_{\text{HCl}+\text{CH}_3\text{COOH}, \text{vzorek}} = 10 \cdot 0,1011 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 14,88 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,01504 \text{ mol} = 15,04 \text{ mmol}$$

*za správnou látkovou bilanci 0,50 bodu
za správný vztah mezi látkovým množstvím NaOH a jeho koncentrací a spotřebou 0,50 bodu
za správné zohlednění poměru pipetáže a objemu odměrné baňky 0,50 bodu
za numericky správný výsledek včetně jednotek 0,50 bodu
jakýkoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů*

celkem 2,00 bodu

3) Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného:

Přesnost stanovení se hodnotí na základě odchylky ΔV vypočítané jako rozdíl mezi spotřebou stanovenou účastníky $V(\text{stud})$ a referenční spotřebou $V(\text{ref})$.

$$\Delta V = |V(\text{stud}) - V(\text{ref})|$$

$\Delta V \leq 0,3 \text{ ml}$	$0,3 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 1,3 \text{ ml}$	$1,3 \text{ ml} \leq \Delta V$
13 bodů	$(16,9 - 13,0 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

*body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu
za přesnost stanovení maximálně 13,00 bodu*

celkem 13,00 bodu

4) Výpočty:

Pro látkovou bilanci mezi kyselinou chlorovodíkovou a hydroxidem sodným v titrační baňce platí:

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{HCl}}$$

Látkové množství kyseliny chlorovodíkové v titrační baňce je tedy:

$$n_{\text{HCl}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$$

Vzhledem k tomu, že se z odměrné baňky o objemu 100,0 ml pipetovalo 10,00 ml, je obsah kyseliny chlorovodíkové v odměrné baňce (a tedy i ve vzorku) 10× vyšší, tedy:

$$n_{\text{HCl,vzorek}} = 10 \cdot c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$$

Pro modelovou hodnotu spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného $V(\text{NaOH}) = 5,22 \text{ ml}$ a koncentraci $c(\text{NaOH}) = 0,1011 \text{ mol dm}^{-3}$ je pak:

$$n_{\text{HCl,vzorek}} = 10 \cdot 0,1011 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 5,22 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,00528 \text{ mol} = 5,28 \text{ mmol}$$

za správnou látkovou bilanci 0,50 bodu

za správný vztah mezi látkovým množstvím NaOH a jeho koncentrací a spotřebou 0,50 bodu

za správné zohlednění poměru pipetáže a odměrné baňky 0,50 bodu

za numericky správný výsledek včetně jednotek 0,50 bodu

jákykoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů

celkem 2,00 bodu

5) Výpočty:

Celkové látkové množství kyselin ve vzorku je dáno jako součet jejich látkových množství, tj.:

$$n_{\text{HCl}+\text{CH}_3\text{COOH},\text{vzorek}} = n_{\text{HCl},\text{vzorek}} + n_{\text{CH}_3\text{COOH},\text{vzorek}}$$

Pro uvedené modelové situace je tedy:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH},\text{vzorek}} = n_{\text{HCl}+\text{CH}_3\text{COOH},\text{vzorek}} - n_{\text{HCl},\text{vzorek}} = 15,04 \text{ mmol} - 5,28 \text{ mmol} = 9,76 \text{ mmol}$$

Hmotnost čistých kyselin se pak vypočte ze vztahu:

$$m_{\text{HCl},\text{vzorek}} = n_{\text{HCl},\text{vzorek}} \cdot M_{\text{HCl}} = 5,28 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 36,46 \text{ g mol}^{-1} = 0,193 \text{ g}$$

$$m_{\text{CH}_3\text{COOH},\text{vzorek}} = n_{\text{CH}_3\text{COOH},\text{vzorek}} \cdot M_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 9,76 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 60,05 \text{ g mol}^{-1} = 0,586 \text{ g}$$

*za správný postup výpočtu látkového množství kyseliny octové rozdíl 0,50 bodu
za správný vztah mezi látkovým množstvím a molární hmotností 0,50 bodu
za každý numericky správný výsledek po 0,50 bodu
jakýkoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů*

celkem 2,00 bodu

6) Výpočty:

Vzorek, který v našem modelovém případě obsahoval 5,28 mmol HCl a 9,76 mmol CH₃COOH ve 100ml odměrné baňce by měl obsahovat 20× vyšší látkové množství ve 2000ml odměrné baňce. Požadujeme tedy, abychom pipetovali následující látková množství čistých kyselin:

$$n_{\text{HCl}} = 0,1056 \text{ mol} \quad n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,1952 \text{ mol}$$

V případě HCl odpovídá toto látkové množství hmotnosti čisté HCl:

$$m_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{HCl}} = 0,1056 \text{ mol} \cdot 36,46 \text{ g mol}^{-1} = 3,85 \text{ g}$$

Vzhledem k tomu, že komerční kyselina obsahuje pouze 35 % hm. čisté HCl, je potřeba jí použít:

$$m_{35\% \text{ HCl}} = m_{\text{HCl}} \cdot \frac{100}{35} = 3,85 \text{ g} \cdot \frac{100}{35} = 11,00 \text{ g}$$

To pak při přepočtu odpovídá objemu:

$$V_{35\% \text{ HCl}} = \frac{m_{35\% \text{ HCl}}}{\rho_{35\% \text{ HCl}}} = \frac{11,00 \text{ g}}{1,18 \text{ g cm}^{-3}} = 9,32 \text{ cm}^3$$

V případě CH₃COOH odpovídá látkové množství hmotnosti čisté CH₃COOH:

$$m_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot M_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,1952 \text{ mol} \cdot 60,05 \text{ g mol}^{-1} = 11,72 \text{ g}$$

Vzhledem k tomu, že komerční kyselina obsahuje pouze 99 % hm. čisté CH₃COOH, je potřeba jí použít:

$$m_{99\% \text{ CH}_3\text{COOH}} = m_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot \frac{100}{99} = 11,72 \text{ g} \cdot \frac{100}{99} = 11,84 \text{ g}$$

To pak při přepočtu odpovídá objemu:

$$V_{99\% \text{ CH}_3\text{COOH}} = \frac{m_{99\% \text{ CH}_3\text{COOH}}}{\rho_{99\% \text{ CH}_3\text{COOH}}} = \frac{11,84 \text{ g}}{1,05 \text{ g cm}^{-3}} = 11,28 \text{ cm}^3$$

Navržený pracovní postup přípravy:

Do kádinky s jistým množstvím vody se napipetují uvedená množství kyselin, důkladně promíchají a nechají zchladnout. Po zchlazení se obsah kádinky kvantitativně převede do odměrné baňky, doplní destilovanou vodou po rysku a důkladně promíchá.

za správný postup výpočtu potřebného látkového množství kyselin 0,50 bodu

za správný postup přepočtu látkového množství na hmotnost 0,50 bodu

za správný postup zohledňující hmotnostní zlomek 0,50 bodu

za správný postup výpočtu objemu 0,50 bodu

za každý numericky správný výsledek objemu po 0,50 bodu

jakýkoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů

za správný postup přípravy (pipetování do vody, chlazení, převod, doplnění po rysku a homogenizaci) 1,00 bodu

v případě chybějícího kroku odečíst za každý krok 0,25 bodu (nelze získat záporný počet bodů)

celkem 4,00 bodu

7) Vhodný indikátor pro stanovení obou kyselin: thymolftalein

Vhodný indikátor pro stanovení kyseliny chlorovodíkové: bromfenolová modř, bromkresolová zeleň

Zdůvodnění výběru: Indikátor pro stanovení obou kyselin musí mít barevný přechod v bazické oblasti, aby byl schopen indikovat vytitrování jak HCl, tak i CH₃COOH. Naopak pro titraci pouze HCl je nutné volit indikátor, který má přechod v kyselé oblasti a neinterferuje s ním přítomná kyselina octová.

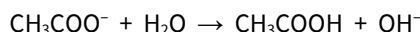
za každou správnou volbu (jsou možné alternativy koherentní s autorským vysvětlením) po 0,50 bodu

za smysluplné vysvětlení 1,00 bodu

celkem 2,00 bodu

8) Vysvětlení:

Octan sodný je rozpustná sůl skládající se formálně z aniontu slabé kyseliny a kationtu silné báze. Sodný kation hydrolyze ve vodném roztoku nepodléhá (jedná se o kation silné báze NaOH). Naopak octanový anion je aniontem slabé kyseliny a vlivem toho ve vodném roztoku hydrolyzuje a částečně se přeměňuje na slabou kyselinu octovou, což vede k bazické reakci roztoku:



za správné vysvětlení na základě hydrolyzy octanového iontu 1,00 bodu

za správnou rovnici 1,00 bodu

celkem 2,00 bodu