

SLOVENSKÁ KOMISIA CHEMICKEJ OLYMPIÁDY

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

62. ročník, školský rok 2025/2026

Kategória EF

Školské kolo

ÚLOHY Z PRAXE

ÚLOHY Z PRAXE

Chemická olympiáda – kategória EF – 62. ročník – šk. rok 2025/2026

Školské kolo

Matúš Tomášik

Maximálne 100 pomocných bodov = 50 bodov
--

Doba riešenia: 300 minút + 15 minút na prečítanie zadania

Výskyt železa v povrchových vodných tokoch je častým sprievodným javom ťažby a spracovania ropy najmä v oblastiach, kde dochádza k úniku ropných látok do životného prostredia. Tieto vody častokrát obsahujú nadlimitné hodnoty rozpusteného železa vo forme železitých iónov, ktoré rýchlo oxiduje a zráža sa vo forme hydroxidov. Následkom je nielen zmena chemického zloženia vody a jej organoleptických vlastností (sfarbenie, zákal, kovová príchuť), ale aj tvorba usadenín na dne vodných tokov, čo môže negatívne ovplyvňovať vodné ekosystémy. Pri zvýšených koncentráciách železa v povrchových vodných tokoch dochádza k znižovaniu obsahu rozpusteného kyslíka, zakaleniu vody, či zanášaniam žiabier rýb. Usádzanie hydroxidov železa na dne a tvorba zákalu znižujú priepustnosť svetla, čo obmedzuje rast rias a vodných rastlín, a tým narúša základné procesy primárnej produkcie v ekosystéme. Z dôvodu nepriaznivého vplyvu vysokých koncentrácií ťažkých kovov v povrchových tokoch boli stanovené prísne koncentračné limity. Prekračovanie týchto hodnôt poukazuje na potrebu zavádzania účinných monitorovacích a sanačných opatrení v oblastiach ťažby ropy.

V praktickej časti školského kola chemickej olympiády sa budeme venovať stanoveniu koncentrácie železitých iónov v odpadových vodách vznikajúcich pri ťažbe ropy, a jej znižovaniu pomocou adsorpcie na prírodnom zeolite.

Náplňou úloh školského kola je:

- *vyhodnotiť viaczložkovú adsorpčnú rovnováhu pre adsorpciu Fe^{3+} na prírodnom zeolite v prítomnosti Cu^{2+} iónov,*
- *namerať a vyhodnotiť elučnú krivku pre elúciu Fe^{3+} iónov z prírodného zeolitu,*
- *aplikovať prírodný zeolit pri odstraňovaní Fe^{3+} iónov z modelovej vzorky odpadovej vody a stanoviť efektivitu tohto procesu.*

Pri svojej práci budete potrebovať elučnú krivku pre elúciu Cu^{2+} z prírodného zeolitu, ktorú ste si pripravili počas študijného kola.

*Pozn.: Pred samotnou realizáciou práce je potrebné si dôkladne prečítať celé zadanie a vhodne si zvoliť poradie riešenia jednotlivých úloh (time management). Na prečítanie zadania a rozvrhnutie postupu práce máte k dispozícii **15 minút**, ktoré sa **nepočítajú do celkového času** na riešenie úloh.*

K dispozícii sú nasledovné chemické látky a roztoky:

- prírodný zrnitý zeolit ZeoAqua (klinoptilolit, zrnitostná frakcia 1–2,5 mm), dodaný spoločnosťou ZeoCem, a.s., Bystré, Slovenská republika,
- tuhý hexahydrát chloridu železitého, p.a.,
- tuhý chelatón 3, p.a.,
- tuhý oxid zinočnatý, p.a.,
- roztok kyseliny chlorovodíkovej (1:3),
- roztok kyseliny chlorovodíkovej ($c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$),
- amoniakálny tlmivý roztok $\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$ (pH 10),
- roztok chloridu sodného ($c = 3 \text{ mol dm}^{-3}$),
- roztok chloridu sodného ($c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$),
- roztok kyseliny dusičnej (1:5),
- roztok tiokyanatanu amónneho ($w = 0,2$),
- roztok peroxodisíranu draselného ($w = 0,02$),
- roztok tiomočoviny (0,08 hm.%),
- tuhý hexametyléntetraamín (urotropín), p.a.,
- roztok kyseliny sulfosalicylovej v etanole ($w = 0,05$),
- tuhý indikátor eriochrómová čerň T,
- tuhý indikátor xylenolová oranž.

Tab. 1 Identifikácia nebezpečnosti použitých látok a zmesí podľa nariadenia (ES) č. 1272/2008 (CLP).

Názov chemikálie	H vety	P vety
Zeolit ZeoAqua	Látka nespĺňa kritériá pre klasifikáciu v súlade s nariadením č. 1272/2008/ES.	
Chlorid železitý, hexahydrát	H290, H302, H315, H318	P290, P305+P351+P338
Chelatón 3 ($\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	H332, H373, H412	P260, P271, P273, P304+P340+P312, P314, P501
Oxid zinočnatý	H410	P273, P391, P501
Kyselina chlorovodíková, roztok	H290, H314, H335	P280, P303+P361+P353, P304+P340, P305+P351+P338, P310
Amoniakálny tlmivý roztok ($\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$)	H302, H314, H400	P273, P280, P310
Chlorid sodný, roztok	Zmes nespĺňa kritériá pre klasifikáciu v súlade s nariadením č. 1272/2008/ES.	
Kyselina dusičná, roztok	H290, H314, H331	P260, P280, P303+P361+P353, P305+P351+P338, P310, EUH071
Tiokyanatan amónny, roztok	H318, EUH032	P280, P305+P351+P338, P310
Peroxodisíran draselný, roztok	H334	P261, P284, P342+P311
Tiomočovina, roztok (0,08 hm.%)	Zmes nespĺňa kritériá pre klasifikáciu v súlade s nariadením č. 1272/2008/ES.	
Hexametyléntetraamín (urotropín)	H228, H317	P210, P280, P333+P313
Kyselina sulfosalicylová, roztok	H302, H314, H400	P273, P280, P310
Eriochrómová čerň T	Látka nespĺňa kritériá pre klasifikáciu v súlade s nariadením č. 1272/2008/ES.	
Xylenolová oranž	Látka nespĺňa kritériá pre klasifikáciu v súlade s nariadením č. 1272/2008/ES.	

Úloha A: Príprava roztokov a stanovenie ich presnej koncentrácie

Úloha A1: Príprava roztokov

- A1.1. Vypočítajte množstvo hexahydrátu chloridu železitého potrebné na prípravu 50 cm³ zásobného roztoku Fe³⁺ iónov s koncentráciou blízkou $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$. Roztok pripravte navážením a rozpustením vypočítaného množstva v deionizovanej vode a doplnením odmernej banky po značku.
- A1.2. Vypočítajte množstvo chelatónu 3 potrebné na prípravu 200 cm³ odmerného roztoku o približnej koncentrácii $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$. Navážené množstvo rozpustite v deionizovanej vode, kvantitatívne prelejte do odmernej banky, doplňte po značku deionizovanou vodou a zhomogenizujte.
- A1.3. Riedením roztoku chelatónu 3 pripraveného v bode A1.2. pripravte 100 cm³ odmerného roztoku chelatónu 3 s koncentráciou blízkou $c = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$.
- A1.4. Vypočítajte hmotnosť oxidu zinočnatého potrebnú na prípravu 100 cm³ štandardného roztoku Zn²⁺ s koncentráciou $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$. Roztok pripravte podľa nasledovného postupu: S analytickou presnosťou navážte vypočítané množstvo ZnO a pomocou malého množstva deionizovanej vody návažok kvantitatívne preneste do 100 cm³ vysokej kadičky. K návažku pridávajte po kvapkách za stáleho miešania zriedený roztok kyseliny chlorovodíkovej (1:3) do úplného rozpustenia tuhej látky. Vzniknutý roztok kvantitatívne prevedte do 100 cm³ odmernej banky, doplňte deionizovanou vodou po značku a zhomogenizujte. Vypočítajte presnú koncentráciu štandardného roztoku.
- A1.5. Riedením štandardného roztoku Zn²⁺ pripraveného v bode A1.4. pripravte 100 cm³ štandardného roztoku s koncentráciou blízkou $c = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$.

Úloha A2: Stanovenie presnej koncentrácie odmerných roztokov

- A2.1. Do titračnej banky pipetujte 10,0 cm³ štandardného roztoku Zn²⁺ pripraveného v úlohe A1.4. Prídavkom 10 cm³ amoniakálneho tlmivého roztoku (NH₄OH/NH₄Cl) upravte pH na hodnotu 10. Pridajte malé množstvo indikátora eriochrómová čerň T a titrujte odmerným roztokom chelatónu 3 o približnej koncentrácii $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ z fialového do modrého sfarbenia. Vykonajte potrebný počet paralelných stanovení. Vypočítajte presnú koncentráciu odmerného roztoku chelatónu 3.
- A2.2. Do titračnej banky pipetujte 5,0 cm³ roztoku hexahydrátu chloridu železitého. Roztok v banke zriedte prídavkom deionizovanej vody na objem približne 25 cm³ a upravte pH na hodnotu 2 prídavkom roztoku kyseliny chlorovodíkovej ($c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$). Roztok zahrejte takmer do varu, pridajte 0,5 cm³ roztoku kyseliny sulfosalicylovej a titrujte odmerným roztokom chelatónu 3 z červenofialovej do žltej farby. Vykonajte potrebný počet paralelných stanovení. Vypočítajte presnú koncentráciu zásobného roztoku Fe³⁺.

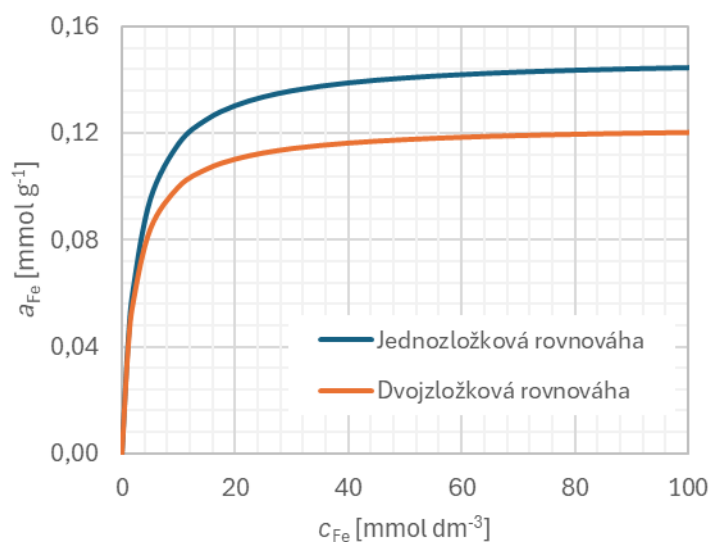
Úloha B: Adsorpcné rovnováhy ťažkých kovov na zeolite

Úloha B1: Vyhodnotenie adsorpcných rovnováh v zmesi Cu^{2+} a Fe^{3+}

B1.1. V grafe na obrázku Obr. 1 je znázornený priebeh adsorpcnej izotermy pre adsorpciu Fe^{3+} iónov na prírodnom zeolite z čistého roztoku železitej soli a v prítomnosti meďnatých iónov. Takúto závislosť možno opísať dvojzložkovou Langmuirovou adsorpcnou izotermou v tvare:

$$a_i = a_{i,\max} \frac{K_i c_i}{1 + K_i c_i + K_j c_j} \quad (1)$$

Porovnajme, ako sa zmení maximálne naadsorbované množstvo železitých iónov v prítomnosti Cu^{2+} .



Obr. 1 Adsorpcná izoterma pre adsorpciu Fe^{3+} na prírodnom zeolite frakcie 1–2,5 mm pri 25 °C.

Úloha C: Štúdium elučných charakteristík iónov ťažkých kovov na zeolite

Úloha C1: Meranie elučnej krivky pre železité ióny

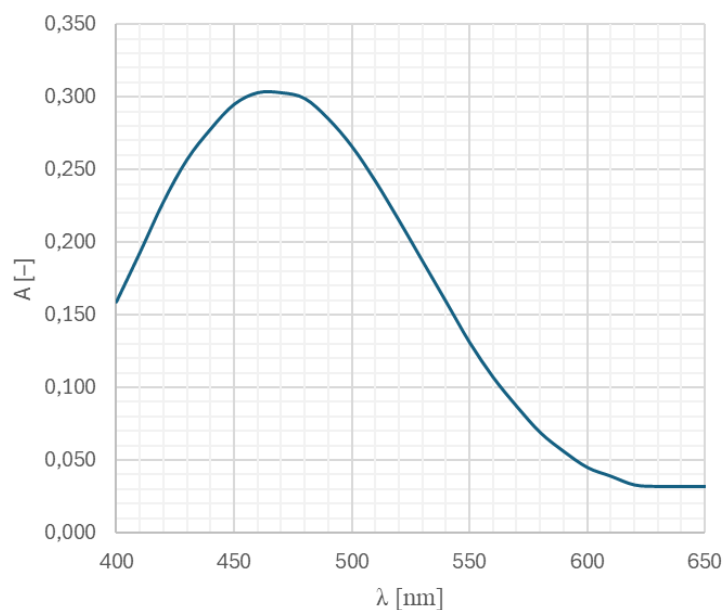
C1.1. Pred samotným meraním je potrebné chromatografickú kolónu naplniť zeolitom a pripraviť ju na meranie. Pri príprave kolóny postupujte podľa nasledovného postupu: Navážte presne 50 gramov zeolitu frakcie 1,0–2,5 mm s presnosťou na dve desatinné miesta. Hmotnosť použitého zeolitu zapíšte do odpovedového hárka. Dno kolóny vysteľte malým množstvom vaty a návažok kvantitatívne premiestnite do kolóny. Adsorbent v kolóne premyte dvakrát 25 cm^3 deionizovanej vody. Pri premývaní dbajte na to, aby nedošlo k rozvíreniu náplne kolóny a nevznikali v nej žiadne vzduchové dutiny. Potom zeolit premyte jedenkrát 25 cm^3 roztoku chloridu sodného ($c = 3 \text{ mol dm}^{-3}$) a premývajte takým množstvom deionizovanej vody, pokiaľ eluát nebude číry. Po ukončení premývania hladinu vody upravte tak,

aby bola na úrovni zeolitu. (Pozn.: Pôvodnú hladinu adsorbenta označte fixkou na vonkajšej strane kolóny.)

- C1.2. Dôležitým faktorom pri elučnej chromatografii je prietok mobilnej fázy. Merania budeme uskutočňovať pri prietoku mobilnej fázy približne $1 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$. Aby meranie bolo reprodukovateľné, zmerajte objemový prietok podľa nasledovného postupu: Kolónou pri mierne pootvorenom kohútiku nechajte pretekať mobilnú fázu (použite deionizovanú vodu). Eluát zachytávajte do odmerného valca, pričom meranie ukončíte pri dosiahnutí určitého objemu elutátu (napríklad 10 cm^3). Dĺžku trvania elúcie určte pomocou stopiek. Zo známeho objemu a času elúcie určte objemový prietok eluátu. Meranie opakujte trikrát a výsledky zapíšte do odpovedového hárka. Pozn.: Po presnom určení objemového prietoku je vhodné si pomocou fixky naznačiť na kohútiku mieru pootočenia, aby ste mohli kedykoľvek nastaviť známy prietok mobilnej fázy.
- C1.3. Na adsorbent naneste $5,0 \text{ cm}^3$ roztoku Fe^{3+} iónov pripraveného v úlohe A1.1. Hladinu roztoku upravte na úroveň zeolitu, pričom tento podiel eluátu nezachytávajte. Pridajte $10,0 \text{ cm}^3$ roztoku chloridu sodného ($c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$) a nechajte ho pretekať kolónou prietokom približne $1 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$. Eluát zachytávajte do skúmavky označenej príslušným číslom. Keď hladina roztoku NaCl dosiahne úroveň adsorbenta, vymeňte skúmavku na zachytávanie eluátu za čistú, a pridajte ďalších $10,0 \text{ cm}^3$ mobilnej fázy.
- C1.4. Postup opísaný v bode C1.3. opakujte až do postupného pridania 250 cm^3 roztoku chloridu sodného ($c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$).
- C1.5. Počas elúcie železitých iónov namerajte kalibračnú krivku pre kolorimetrické stanovenie koncentrácie Fe^{3+} iónov podľa nasledovného postupu: Zo zásobného roztoku Fe^{3+} iónov o koncentrácii približne $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ pipetujte $2,0 \text{ cm}^3$ do 100 cm^3 odmernej banky, doplňte po značku deionizovanou vodou, zhomogenizujte a vypočítajte presnú koncentráciu tohto roztoku. Z takto zriedeného roztoku pipetujte do 25 cm^3 odmerných baniek objemy uvedené v tabuľke Tab. 2. Vypočítajte presné koncentrácie kalibračných roztokov. Pridajte po $5,0 \text{ cm}^3$ zriedeného roztoku kyseliny dusičnej (1:5), $3,0 \text{ cm}^3$ roztoku tiokyanatanu amónneho ($w = 0,2$) a $1,0 \text{ cm}^3$ roztoku peroxodisíranu draselného ($w = 0,02$), doplňte deionizovanou vodou po značku, zhomogenizujte, a zmerajte absorbanciu roztokov oproti blanku pri vlnovej dĺžke zodpovedajúcej absorpčnému maximu. Absorpčné maximum určte odčítaním z grafu na Obr. 2. Meranie pre každý roztok opakujte trikrát a priemernú hodnotu zapíšte do odpovedového hárka. Z nameraných údajov zostrojte kalibračnú závislosť v aplikácii MS Excel alebo na milimetrový papier, ako závislosť absorbancie od koncentrácie Fe^{3+} v roztoku.

Tab. 2 Príprava kalibračných roztokov pre kolorimetrické stanovenie Fe^{3+} .

Banka č.	Blank	1	2	3	4	5
Zriedený roztok Fe^{3+} iónov [ml]	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Kyselina dusičná (1:5) [ml]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Tiokyanatan amónny ($w = 0,2$) [ml]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Peroxodisíran draselný ($w = 0,02$) [ml]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0



Obr. 2 Absorpčné spektrum roztoku Fe^{3+} iónov.

- C1.6. Určte koncentráciu Fe^{3+} iónov v jednotlivých podieloch elutátu podľa nasledovného postupu: Z príslušného elutátu pipetujte do 25 cm³ odmernej banky 1,0 cm³, pridajte 5,0 cm³ zriedeného roztoku kyseliny dusičnej (1:5), 3,0 cm³ roztoku tiokyanatanu amónneho ($w = 0,2$) a 1,0 cm³ roztoku peroxodisíranu draselného ($w = 0,02$), doplňte deionizovanou vodou po značku, zhomogenizujte, a zmerajte absorbanciu oproti blanku pri vlnovej dĺžke zodpovedajúcej absorpčnému maximu. Vypočítajte koncentráciu Fe^{3+} iónov v jednotlivých podieloch elutátu a výsledky zapíšte do odpovedového hárka.
- C1.7. V programe MS Excel alebo na milimetrový papier zostrojte z nameraných údajov závislosť koncentrácie Fe^{3+} iónov v eluáte od pretečeného objemu elutátu. Z elučnej krivky odčítajte retenčný objem pre Fe^{3+} .
- C1.8. Určte množstvo uvoľnených Fe^{3+} iónov ako plochu elučného píku. Na výpočet plochy elučného píku môžete použiť napríklad lichobežníkovú metódu. Ako správne riešenie sa uzná akákoľvek iná metóda, ktorá bude viesť k správne výsledku. Výsledné množstvo uvoľnených Fe^{3+} iónov zapíšte do odpovedového hárka. Určte, koľko % z pôvodného množstva sa eluovalo.

Úloha C2: Porovnanie elučných charakteristík Cu^{2+} a Fe^{3+} na zeolite

- C2.1. Na základe odčítaných retenčných objemov Cu^{2+} a Fe^{3+} rozhodnite, či je možné tieto ióny chromatograficky separovať s použitím zeolitu.
- C2.2. Porovnajzte % eluovaného, resp. zachyteného množstva Cu^{2+} a Fe^{3+} iónov na zeolite. Na základe tohto údaje rozhodnite, voči ktorému iónu má stacionárna fáza väčšiu afinitu. Výsledok porovnajzte s predpokladom vychádzajúcim z parametrov adsorpčných rovnováh jednotlivých kovov.

Úloha D: Znižovanie koncentrácie Fe^{3+} iónov v odpadovej vode adsorpciou na zeolite

Úloha D1: Stanovenie koncentrácie Fe^{3+} iónov vedľa medi vo vzorke odpadovej vody pred úpravou na zeolite

- D1.1. Vzorke odpadovej vody je pripravená v odmernej banke s objemom 100 cm^3 . Doplňte banku po značku deionizovanou vodou a roztok zhomogenizujte.
- D1.2. Z roztoku vzorky pipetujte $5,0 \text{ cm}^3$ do titračnej banky a pridajte 10 cm^3 0,08 %-ného roztoku tiomočoviny. Pomocou byrety pridajte $10,0 \text{ cm}^3$ odmerného roztoku chelatónu 3 o približnej koncentrácii $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ a upravte pH pomocou tuhého hexametyléntetraamínu (urotropínu) na hodnotu 5–6. Pridajte malé množstvo indikátora xylenolová oranž a titrujte štandardným roztokom Zn^{2+} s koncentráciou blízkou $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ zo žltého do červeného sfarbenia. Vykonajte potrebný počet paralelných stanovení a namerané hodnoty zapíšte do odpovedového hárka.
- D1.3. Vypočítajte koncentráciu Fe^{3+} iónov v pôvodnej vzorke.

Úloha D2: Úprava vzorky odpadovej vody na zeolite

- D2.1. Vykonajte regeneráciu adsorbenta podľa nasledovného postupu: Zeolit premyte dvakrát 25 cm^3 roztoku chloridu sodného ($c = 3 \text{ mol dm}^{-3}$). Po ukončení desorpcie adsorbent v kolóne premyte ešte dvakrát 25 cm^3 deionizovanej vody. Pri premývaní dbajte na to, aby nedošlo k rozvíreniu náplne kolóny a nevznikali v nej žiadne vzduchové dutiny. Po ukončení premývania hladinu vody upravte tak, aby bola na úrovni zeolitu.
- D2.2. Na regenerovaný adsorbent v kolóne kvantitatívne naneste $25,0 \text{ cm}^3$ roztoku vzorky odpadovej vody a hladinu roztoku upravte na úroveň zeolitu.
- D2.3. Vzorke nechajte kolónou pretekať prietokom približne $1 \text{ cm}^3/\text{min}$. Následne kolónu premývajte deionizovanou vodou a eluát zachytávajte do 100 cm^3 odmernej banky. Premývanie ukončíte, keď hladina eluátu v odmernej banke dosiahne úroveň rysky.

Úloha D3: Stanovenie koncentrácie Fe^{3+} iónov vedľa medi vo vzorke odpadovej vody po úprave na zeolite

- D3.1. Na stanovenie koncentrácie Fe^{3+} vo vzorke odpadovej vody po úprave na zeolite pipetuje do titračnej banky $25,0 \text{ cm}^3$ z eluátu a pridajte 10 cm^3 0,08 %-ného roztoku tiomočoviny. Pomocou byrety pridajte $10,0 \text{ cm}^3$ odmerného roztoku chelatónu 3

o približnej koncentrácii $c = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$ a upravte pH pomocou tuhého urotropínu na hodnotu 5–6. Pridajte malé množstvo indikátora xylenolová oranž a titrujte štandardným roztokom Zn^{2+} s koncentráciou blízkou $c = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$ zo žltého do červeného sfarbenia. Vykonajte potrebný počet paralelných stanovení a namerané hodnoty zapíšte do odpovedového hárka.

D3.2. Vypočítajte koncentráciu Fe^{3+} iónov v eluáte a adsorbované množstvo Fe^{3+} . Je možné takýmto postupom dosiahnuť úplné odstránenie Fe^{3+} iónov z odpadovej vody?

D3.3. Porovnajete teoretický predpoklad adsorbovaného množstva Fe^{3+} s experimentom, ak predpokladáme, že koncentrácia Cu^{2+} v odpadovej vode je približne rovnaká, ako koncentrácia Fe^{3+} . Teoretické adsorbované množstvo Fe^{3+} určte odčítaním z dvojzložkovej adsorpčnej rovnováhy, ktorú ste modelovali v úlohe B1.

ODPOVEĎOVÝ HÁROK Z PRAXE

Chemická olympiáda – kategória EF – 62. ročník – šk. rok 2025/2026

Školské kolo

Škola:		
Meno súťažiaceho:		
Počet pridelených bodov:	Podpis hodnotiteľa:	
Úloha A		
A1.1.	Výpočet hmotnosti hexahydrátu chloridu železitého ($M_r(\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}) = 270,297$):	
A1.2.	Výpočet hmotnosti chelátónu 3 ($M_r(\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 372,242$):	
A1.3.	Výpočet potrebného objemu roztoku chelátónu 3 ($c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$):	
A1.4.	Výpočet hmotnosti oxidu zinočnatého ($M_r(\text{ZnO}) = 81,38$):	
	Navážená hmotnosť ZnO	$m(\text{ZnO}) =$
	Výpočet presnej koncentrácie štandardného roztoku Zn^{2+} :	
A1.5.	Výpočet potrebného objemu štandardného roztoku Zn^{2+} ($c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$):	

A2.1.	Spotreba odmerného roztoku chelatónu 3:		
	Akceptovaná hodnota $V_{OR}(\text{Na}_2\text{EDTA}) =$		
	Zápis stechiometrickej rovnice deja prebiehajúceho pri štandardizácii:		
	Výpočet presnej koncentrácie odmerného roztoku chelatónu 3:		
A2.2.	Spotreba odmerného roztoku chelatónu 3:		
	Akceptovaná hodnota $V_{OR}(\text{Na}_2\text{EDTA}) =$		
	Zápis stechiometrickej rovnice deja prebiehajúceho pri stanovení:		
	Výpočet presnej koncentrácie zásobného roztoku železitej soli:		
Úloha B			
B1.1.	Porovnanie maximálneho naadsorbovaného množstva Fe^{3+} pre adsorpciu z čistého roztoku a za prítomnosti Cu^{2+} iónov:		
Úloha C			
C1.1.	Navážená hmotnosť zeolitu		$m_{\text{zeolit}} =$
C1.2.	Objem eluátu, V_{el} [cm^3]	Čas, τ [s]	Objemový prietok, $\dot{V}_{\text{el}}$ [$\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}$]
	1.		
	2.		
	3.		
	Priemerná hodnota:		

	Vzorový výpočet objemového prietoku mobilnej fázy v kolóne:											
C1.5.	Výpočet koncentrácie zriedeného zásobného roztoku Fe ³⁺ :											
	Absorpčné maximum $\lambda_{\max}$ [nm]:											
	Banka č.	Blank	1	2	3	4	5					
	Zriedený roztok Fe ³⁺ [cm ³]	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5					
	Koncentrácia Fe ³⁺ [mmol dm ⁻³]	0										
	Absorbancia [-]	0,000										
	Vzorový výpočet koncentrácie Fe ³⁺ v ľubovoľnom kalibračnom roztoku:											
	Priložená kalibračná závislosť pre kolorimetrické stanovenie Fe ³⁺ iónov:											
	C1.6.	Objem eluenta [cm ³]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
		Absorbancia [-]	0,000									
Koncentrácia Fe ³⁺ v eluáte [mmol dm ⁻³]		0										
Objem eluenta [cm ³]		100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	
Absorbancia [-]												
Koncentrácia Fe ³⁺ v eluáte [mmol dm ⁻³]												
Objem eluenta [cm ³]		200	210	220	230	240	250					
Absorbancia [-]												
Koncentrácia Fe ³⁺ v eluáte [mmol dm ⁻³]												

	Vzorový výpočet koncentrácie Fe^{3+} v ľubovoľnom podiele eluátu:		
C1.7.	Priložená elučná krivka pre Fe^{3+} ióny:		
	Odčítaný retenčný objem	$V_R =$	
C1.8.	Vypočítané eluované množstvo Fe^{3+}	$n_{\text{Fe}^{3+}\text{ eluované}} =$	
	Výpočet % eluovaného množstva Fe^{3+} :		
C2.1.	Zdôvodnenie:		
C2.2.	Porovnanie % eluovaného množstva a afinity:		
Úloha D			
D1.2.	Spotreba štandardného roztoku Zn^{2+} :		
	Akceptovaná hodnota $V_{\text{št}}(\text{Zn}^{2+}) =$		

D1.3.	Výpočet koncentrácie Fe^{3+} v pôvodnej vzorke odpadovej vody pred úpravou na zeolite:			
D3.1.	Spotreba štandardného roztoku Zn^{2+} :			
	Akceptovaná hodnota $V_{\text{ST}}(\text{Zn}^{2+}) =$			
D3.2.	Výpočet koncentrácie Fe^{3+} v euláte po úprave vzorky na zeolite:			
	Výpočet naadsorbovaného množstva Fe^{3+} :			
D3.3.	Porovnanie predpokladu a experimentálnych dát:			

DOPLNKOVÉ ÚLOHY Z PRAXE

Chemická olympiáda – kategória EF – 62. ročník – šk. rok 2025/2026

Školské kolo

Matúš Tomášik

Maximálne 20 pomocných bodov = 10 bodov

Doba riešenia: 60 minút

Úloha 1: Jodometrické stanovenie zinočnatých iónov

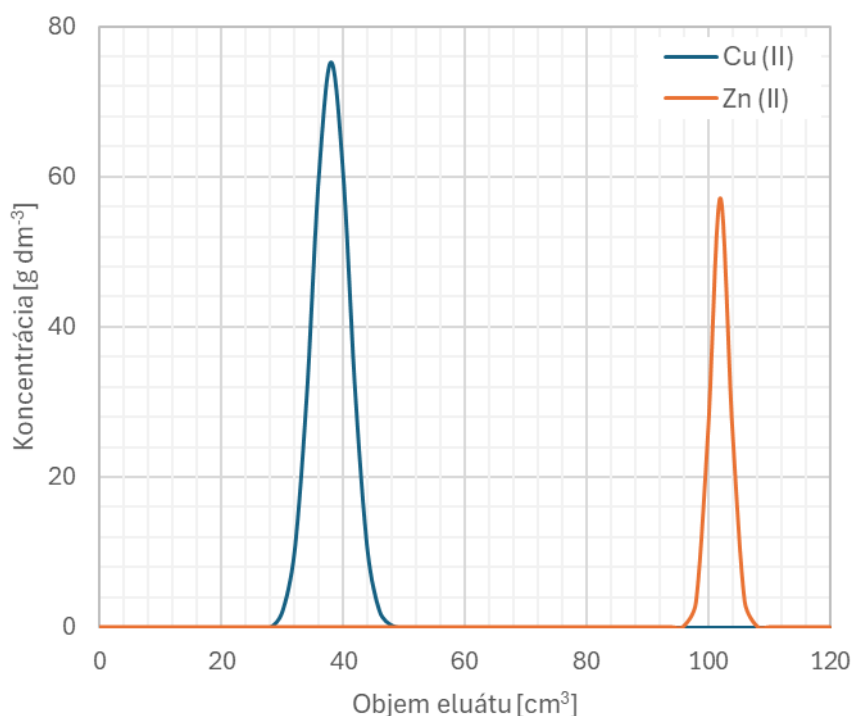
Základom jodometrického stanovenia zinočnatých iónov v roztoku je reakcia Zn^{2+} s odmerným roztokom chelatónu 3, pri ktorej sa uvoľňuje stechiometrické množstvo H^+ . Uvoľnené H^+ ióny ďalej reagujú s roztokom jodidu a jodičnanu draselného za vzniku ekvivalentného množstva jódu. Vylúčený jód sa následne stanoví titráciou odmerným roztokom tiosíranu sodného. Na stanovenie sa do jódovej banky pipetovalo $10,0 \text{ cm}^3$ roztoku vzorky obsahujúceho zinočnaté ióny. Pridalo sa $20,0 \text{ cm}^3$ odmerného roztoku chelatónu 3 s koncentráciou blízkou $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ a v nadbytku po 10 cm^3 roztoku jodičnanu a jodidu draselného s koncentráciou približne $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$. Vzniknutý jód sa titroval odmerným roztokom tiosíranu sodného na škrobový maz. Priemerná spotreba odmerného roztoku na stanovenie bola $V_{\text{ST}} = 12,4 \text{ cm}^3$.

- 1.1. Zapíšte stechiometrické rovnice dejov prebiehajúcich pri stanovení.
- 1.2. Vypočítajte presnú koncentráciu odmerného roztoku tiosíranu sodného, ktorý sa štandardizoval na bromičnan draselný. Štandardný roztok KBrO_3 sa pripravil rozpustením presne $0,1392 \text{ g}$ bromičnanu v deionizovanej vode a doplnením objemu na 200 cm^3 v odmernej banke. Zo štandardného roztoku sa na stanovenie do jódovej banky pipetovalo $25,0 \text{ cm}^3$, pridali sa približne 2 g jodidu draselného a roztok sa okyslil prídavkom 5 cm^3 roztoku kyseliny sírovej. Roztok sa titroval odmerným roztokom tiosíranu sodného do slabo žltého sfarbenia, a po prídavku 10 cm^3 škrobového mazu sa dotitroval do odfarbenia. Priemerná spotreba odmerného roztoku na štandardizáciu bola $V_{\text{SP}} = 9,8 \text{ cm}^3$. Zapíšte stechiometrické rovnice dejov prebiehajúcich pri štandardizácii.
- 1.3. Vypočítajte obsah zinočnatých iónov vo vzorke v g dm^{-3} .
- 1.4. Vysoké koncentrácie zinku vo vodných tokoch sú toxické pre vodné organizmy, narúšajú ekosystémy a môže dochádzať k jeho hromadeniu v organizmoch a postupnému prenášaniu potravinovým reťazcom až k človeku. Uvedte aspoň dva spôsoby, ako možno znížiť koncentráciu zinku v povrchových vodách.

$M_r(\text{KBrO}_3) = 167,00$; $A_r(\text{Zn}) = 65,38$

Úloha 2: Chromatografická separácia meďnatých a zinočnatých iónov

Na chromatografickú kolónu naplnenú silne bázickým anexom (Dowex 1 X8 o zrnitosti 0,1 až 0,2 mm) sa nanieslo 5,0 cm³ roztoku vzorky obsahujúceho Zn²⁺ a Cu²⁺ ióny. Kolóna sa postupne premývala 10 cm³ roztokov kyseliny chlorovodíkovej s koncentraciami $c = 2,5 \text{ mol dm}^{-3}$ a $c = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$. Objemový prietok mobilnej fázy bol 2 cm³ min⁻¹. Koncentrácia Cu²⁺ a Zn²⁺ na výstupe z kolóny sa stanovila metódou atómovej absorpčnej spektrometrie (AAS). Elučné krivky meďnatých a zinočnatých iónov sú zobrazené v grafe na Obr. 1.



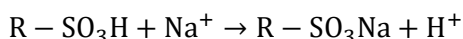
Obr. 1 Elučná krivka pre zinočnaté a meďnaté ióny.

- 2.1. Z elučných kriviek pre jednotlivé ióny odčítajte ich retenčné objemy. Zo známych hodnôt retenčných objemov a objemového prietoku mobilnej fázy vypočítajte hodnoty retenčných časov pre oba separované ióny.
- 2.2. Odhadnite plochu elučných píkov a vypočítajte eluované množstvo Cu²⁺ a Zn²⁺ iónov v mmol.
- 2.3. Vypočítajte koncentráciu Cu²⁺ a Zn²⁺ v pôvodnom roztoku vzorky v mol dm⁻³.
- 2.4. Vysvetlite, prečo sa na elúciu jednotlivých iónov používa kyselina o rozdielnej koncentrácii.

$$A_r(\text{Cu}) = 63,546; A_r(\text{Zn}) = 65,38$$

Úloha 3: Stanovenie iónovymennej kapacity silne kyslého katexu

Pomocou odmerného valca sa na stanovenie iónovymennej kapacity odmeralo 5 cm³ silne kyslého katexu v H⁺ cykle, a pomocou deionizovanej vody sa kvantitatívne prenieslo do titračnej banky. Pridalo sa 50 cm³ deionizovanej vody a približne 2 g tuhého NaCl. Po 5 minútach sa pridalo pár kvapiek indikátora brómtymolová modrá a zmes v banke sa titrovala odmerným roztokom hydroxidu sodného s koncentráciou $c = 0,498 \text{ mol dm}^{-3}$. Priemerná spotreba odmerného roztoku bola $V_{SP} = 17,1 \text{ cm}^3$. Rovnicu prebiehajúcej iónovej výmeny možno zapísať v tvare:



- 3.1. Zapíšte stechiometrickú rovnicu stanovenia uvoľneného množstva H⁺ iónov.
- 3.2. Vypočítajte množstvo uvoľnených H⁺ iónov v mmol.
- 3.3. Vypočítajte objemovú kapacitu silne kyslého katexu v mmol cm⁻³.
- 3.4. V povodí rieky Santa Barbara River v štáte Bayelsa v Nigérii sa namerali nadlimitné hodnoty koncentrácií ťažkých kovov. Výsledky analýzy sú uvedené v tabuľke Tab.1. Úpravňa vody chce na odstraňovanie ťažkých kovov z vodného toku použiť kolónu s objemom náplne 50 m³ naplnenú silne kyslým katexom s kapacitou stanovenou v úlohe 3.3. Aký dlhý čas bude trvať, kým sa úplne vyčerpá kapacita ionexu v kolóne, ak sa voda do kolóny privádza s objemovým prietokom 50 m³/h, pričom nebudeme predpokladať prítomnosť iných iónov, a zanedbáme vplyv ďalších faktorov? Predpokladajte, že uvedené kovy sa vo vode budú nachádzať ako ióny Fe³⁺, Zn²⁺, Cr³⁺, Pb²⁺ a Cu²⁺.

Tab. 1 Výsledky analýzy povrchových vôd v povodí rieky Santa Barbara River, štát Bayelsa, Nigéria¹.

Ťažký kov	Koncentrácia [mg dm ⁻³]
Fe	1,47
Zn	0,06
Cr	2,45
Pb	0,10
Cu	0,37

$A_r(\text{Fe}) = 55,845$; $A_r(\text{Zn}) = 65,38$; $A_r(\text{Cr}) = 51,996$; $A_r(\text{Pb}) = 207,2$; $A_r(\text{Cu}) = 63,546$

¹ Iyama, W. A. *et al.* Risk Assessment of the Impact of Oil Spill on the Heavy Metal Content of Santa Barbara River, Bayelsa State, Nigeria. Appl. J. Envir. Eng. Sci. 2023, 9, 41-61. <https://doi.org/10.48422/IMIST.PRSM/aje-es-v9i1.36167>

ODPOVEĎOVÝ HÁROK K DOPLNKOVÝM ÚLOHÁM Z PRAXE

Chemická olympiáda – kategória EF – 62. ročník – šk. rok 2025/2026

Školské kolo

Škola:	
Meno súťažiaceho:	
Počet pridelených bodov:	Podpis hodnotiteľa:
Úloha 1	
1.1.	Zápis stechiometrických rovníc dejov prebiehajúcich pri stanovení:
1.2.	Zápis stechiometrických rovníc dejov prebiehajúcich pri štandardizácii:
	Výpočet presnej koncentrácie odmerného roztoku tiosíranu sodného:
1.3.	Výpočet obsahu zinočnatých iónov vo vzorke:
1.4.	Odpoveď:

Úloha 2		
2.1.	$V_{R,Cu^{2+}} =$	$V_{R,Zn^{2+}} =$
	Výpočet retenčných časov pre Cu^{2+} a Zn^{2+} :	
	$t_{R,Cu^{2+}} =$	$t_{R,Zn^{2+}} =$
2.2.	Výpočet eluovaného množstva Cu^{2+} :	
	Výpočet eluovaného množstva Zn^{2+} :	
2.3.	Výpočet koncentrácie Cu^{2+} v pôvodnom roztoku:	
	Výpočet koncentrácie Zn^{2+} v pôvodnom roztoku:	
2.4.	Vysvetlenie:	

Úloha 3	
3.1.	Zápis stechiometrickej rovnice deja prebiehajúceho pri stanovení:
3.2.	Výpočet množstva uvoľnených H^+ :
3.3.	Výpočet objemovej kapacity ionexu:
3.4.	Výpočet celkového množstva preneseného náboja v $mmol\ h^{-1}$:
	Výpočet celkovej kapacity náplne kolóny:
	Výpočet času potrebného na nasýtenie ionexu:

Autor: Bc. Matúš Tomášik,

Recenzenti: Ing. Martina Gánovská, Ing. Elena Kulichová,

Redakčná úprava: Anna Ďuricová, (vedúca autorského kolektívu)

Slovenská komisia Chemickej olympiády

Vydal: NIVAM, Bratislava 2026