

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 3. razred srednje škole

Zaporka: _____

1.

Izvedi opisani **pokus**, zabilježi tražena opažnja i riješi popratne zadatke.

Pribor: šest plastičnih bočica s kapalicom, podloga s otisnutom mrežom

Kemikalije: tekućine **A** (vodena otopina natrijeva karbonata), **B** (vodena otopina kalijeve sulfata), **C** (vodena otopina kalcijeva klorida), **D** (vodena otopina olovova(II) nitrata), **E** (vodena otopina magnezijeva klorida) i **F** (vodena otopina kalijeve nitrata). Koncentracije svih otopina su $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$.

VAŽNA NAPOMENA: Zadatak je u ovome pokusu otkriti koje tvari talože pri miješanju zadanih otopina. Pri tome se kao argumenti za identifikaciju taloga mogu rabiti isključivo opažanja dobivena tijekom provođenja pokusa. Argumenti koji uključuju informacije poznate iz drugih izvora (npr. poznavanje koji su spojevi netopljivi / slabo topljivi u vodi) nisu prihvatljivi. Dakle, ako je miješanjem dviju otopina nastao talog, potrebno je uvidjeti koji su mogući kemijski sastavi tog taloga, te na temelju opažanja tijekom pokusa eliminirati kombinacije koje ne dovode do nastanka taloga dok ne preostane samo jedna, koja onda mora predstavljati sastav tog taloga.¹

ZADATAK 1. Šest zadanih otopina treba pomiješati svaku sa svakom (miješaju se uvijek samo po dvije otopine). Predvidi i navedi najmanji broj pokusa koje treba napraviti da bi se ispitale sve kombinacije!

15

[Broj kombinacija dvaju objekata iz skupa od 6 je $\binom{6}{2} = 15$; ili

Prva se miješa s njih 5, druga s 4. itd.. $5+4+3+2+1 = 15$; ili

Od 6^2 mogućih permutacija 6 otpada na 'miješanje' otopina sa samom sobom, a ostatak za svako miješanje A i B uključuje i miješanje B i A, tako da je ukupan broj različitih kombinacija $\frac{1}{2} (6^2 - 6) = 15$]

Za točan odgovor (neovisno o računu/argumentaciji)

0,5 bodova

KORAK 1. Na podlogu s otisnutom mrežom u jedan redak kapni po kap svake od tekućina u niz susjednih odjeljaka. **Pažljivo promotri tekućine i ispunj sljedeću tablicu.**

Tekućina	Boja	Prozirnost
A	bezbojna	bistra
B	bezbojna	bistra
C	bezbojna	bistra
D	bezbojna	bistra
E	bezbojna	bistra
F	bezbojna	bistra

Za svaki točan opis boje i prozirnosti tekućine 0,5 bodova

6 × 0,5 = 3 boda

ostv.	maks.
	3,5

¹ Opisani pristup postavljanja alternativnih hipoteza i isključivanje pojedinih dok ne ostane samo jedna naziva se *metoda eliminacijske indukcije*. Razvio ju je početkom XVII. stoljeća engleski filozof i znanstvenik Francis Bacon i čini jedan od glavnih (logičkih) temelja svekolike znanosti.

— RJEŠENJA —

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 3. razred srednje škole

Zaporka: _____

- 1. KORAK 2.** Na podlozi s otisnutom mrežom u kap svake otopine (za koju to ima smisla) dodaj po jednu kap otopine natrijeva karbonata. Na sličan način na daljnjim 'odjeljcima' otisnute mreže pomiješaj i ostale otopine tako da u kap jedne otopine dodate kap druge. **Opažanja zapiši u sljedeću tablicu** (u slučajevima u kojima nije došlo do vidljive promjene napiši pokratu '**NP**').

	A	B	C	D	E	F
A	-	-	-	-	-	-
B	NP	-	-	-	-	-
C	nastaje bijeli talog	nastaje bijeli talog	-	-	-	-
D	nastaje bijeli talog	nastaje bijeli talog	nastaje bijeli talog	-	-	-
E	nastaje bijeli talog	NP	NP	nastaje bijeli talog	-	-
F	NP	NP	NP	NP	NP	-

Za svako točno opažanje 0,5 bodova

15 × 0,5 = 7,5 bodova

ostv.	maks.
	7,5

Ukupno bodova na stranici 2:

ostv.	maks.
	7,5

— RJEŠENJA —

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 3. razred srednje škole

Zaporka: _____

2.	<p>Napiši kemijske formule svakog taloga koji je nastao i obrazloži za svaki kako ga se može identificirati, koristeći se isključivo dosadašnjim opažanjima i podacima zadanim u tekstu. Svi su talozi jednostavne soli (sastoje se od samo jedne vrste kationa i aniona).</p> <p>Miješanjem $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ i $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ taloži $\text{CaCO}_3(\text{s})$ – da taloži NaCl, polazna otopina ($\text{NaCl}(\text{aq})$) ne bi bila bistra</p> <hr/> <p>Miješanjem $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ i $\text{K}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ taloži $\text{CaSO}_4(\text{s})^*$ – da taloži KCl, talog bi nastao i miješanjem $\text{K}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ s $\text{NaCl}(\text{aq})$</p> <hr/> <p>Miješanjem $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ i $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ taloži $\text{PbCO}_3(\text{s})$ – da taloži NaNO_3, talog bi nastao i miješanjem $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ s $\text{NaCl}(\text{aq})$</p> <hr/> <p>Miješanjem $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ i $\text{K}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ taloži $\text{PbSO}_4(\text{s})$ – da taloži KNO_3, polazna otopina ($\text{KNO}_3(\text{aq})$) ne bi bila bistra</p> <hr/> <p>Miješanjem $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ i $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ taloži $\text{PbCl}_2(\text{s})$ – da taloži $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, talog bi nastao i miješanjem $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ s $\text{KNO}_3(\text{aq})$</p> <hr/> <p>Miješanjem $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ i $\text{MgCl}_2(\text{aq})$ taloži $\text{MgCO}_3(\text{s})$ – da taloži NaCl, polazna otopina ($\text{NaCl}(\text{aq})$) ne bi bila bistra</p> <hr/> <p>Miješanjem $\text{NaCl}(\text{aq})$ i $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ taloži $\text{PbCl}_2(\text{s})$ – da taloži NaNO_3, talog bi nastao i miješanjem $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ s $\text{NaCl}(\text{aq})$</p> <p>Za svaki točno identificiran talog 7 × 0,5 = 3,5 bodova Za svako odgovarajuće obrazloženje 7 × 0,5 = 3,5 bodova Upute ispravljačima: * priznati i $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$</p>				
	<table border="1"> <tr> <td>ostv.</td> <td>maks.</td> </tr> <tr> <td></td> <td align="center">7</td> </tr> </table>	ostv.	maks.		7
ostv.	maks.				
	7				

3.	<p>Napiši jednadžbe taložnih reakcija do kojih je došlo. Obvezno naznači agregacijska stanja sudionika reakcija.</p> <p>$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$</p> <hr/> <p>$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaSO}_4(\text{s})^*$</p> <hr/> <p>$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbCO}_3(\text{s})$</p> <hr/> <p>$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s})$</p> <hr/> <p>$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbCl}_2(\text{s})$</p> <hr/> <p>$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{MgCO}_3(\text{s})$</p> <hr/> <p>Za svaku izjednačenu jednadžbu 1 bod Za ispravno navedena agregacijska stanja u svakoj jednadžbi po 0,5 bodova Ukupno: 6 × 1,5 = 9 bodova Upute ispravljačima: Priznati i jednadžbe napisane u molekulskom obliku * priznati i ako je izjednačeno s obzirom na $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$</p>				
	<table border="1"> <tr> <td>ostv.</td> <td>maks.</td> </tr> <tr> <td></td> <td align="center">9</td> </tr> </table>	ostv.	maks.		9
ostv.	maks.				
	9				

Ukupno bodova na stranici 3:

ostv.	maks.
	16

<p>4.</p>	<p>Promotri koje su kombinacije kationa i aniona dale taloge i na temelju eksperimentalnih opažanja izvedi zaključke o trendovima topljivosti ionskih spojeva.</p> <p>4.a) Poredaj anione koji se pojavljuju u pokusu prema porastu sklonosti tvorenju slabo topljivih soli (ako je prema prikupljenim podacima sklonost dvaju iona podjednaka, među njih upiši znak \approx, inače ih odijeli znakom $<$).</p> <p>nitrat $<$ klorid $<$ sulfat $<$ karbonat</p> <hr/> <p>Za točan redoslijed 0,5 bodova</p> <p>4.b) Poredaj katione koji se pojavljuju u pokusu prema porastu sklonosti stvaranju netopljivih soli (ako je prema prikupljenim podacima sklonost dvaju iona podjednaka, među njih upiši znak \approx, inače ih odijeli znakom $<$).</p> <p>kalijev \approx natrijev $<$ magnezijev $<$ kalcijev $<$ olovov</p> <hr/> <p>Za točan redoslijed 0,5 bodova</p> <p>4.c) Zaključi kako topljivost soli ovisi o naboju aniona. Obrazloži odgovor.</p> <p>Topljivost opada s porastom (apsolutne vrijednosti) naboja aniona: anioni naboja -2 češće tvore slabo topljive soli od onih naboja -1.</p> <hr/> <p>Za točan odgovor i obrazloženje 2 \times 0,5 = 1 bod</p> <p>4.d) Zaključi kako topljivost soli ovisi o veličini aniona. Obrazloži odgovor.</p> <p>Topljivost raste s porastom veličine aniona: sulfat je veći od karbonata – sulfati su češće topljivi; nitrat je veći od klorida – nitrati su češće topljivi</p> <hr/> <p>Za točan odgovor i obrazloženje 2 \times 0,5 = 1 bod</p> <p>4.e) Zaključi kako topljivost soli ovisi o naboju kationa. Obrazloži odgovor.</p> <p>Topljivost opada s porastom naboja kationa: Niti jedan talog nije nastao s kationima naboja $+1$; svi su s kationima naboja $+2$.</p> <hr/> <p>Za točan odgovor i obrazloženje 2 \times 0,5 = 1 bod</p> <p>4.f) Zaključi kako topljivost soli ovisi o ionskom radijusu kationa (za dvovalentne katione). Obrazloži odgovor.</p> <p>Topljivost opada s porastom ionskog radijusa: Ionski radijus raste u nizu $Mg^{2+} < Ca^{2+} < Pb^{2+}$ – magnezij taloži samo s karbonatom, kalcij s karbonatom i sulfatom, olovo s karbonatom, sulfatom i kloridom.</p> <hr/> <p>Za točan odgovor i obrazloženje 2 \times 0,5 = 1 bod</p>				
	<table> <tr> <td>ostv.</td><td>maks.</td></tr> <tr> <td></td><td>5</td></tr> </table>	ostv.	maks.		5
ostv.	maks.				
	5				

— RJEŠENJA —

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 3. razred srednje škole

Zaporka: _____

- 5.** Uobičajena mjera za bazičnost (sklonost neke kemijske vrste da preuzme vodikov kation od molekule otapala) jest ravnotežna konstanta odgovarajuće reakcije (K_b). Za oksoanione (anione opće formule XO_n^{m-}) u vodenim otopinama može se procijeniti pomoću sljedeće empirijske formule:

$$pK_b(XO_n^{m-}) \approx 10 + 5,7n - 10,2m$$

- 5.a)** Izračunaj približne vrijednosti pK_b za sulfatni, nitratni i karbonatni anion u vodenoj otopini.

$$pK_b(SO_4^{2-}) \approx 10 + 5,7 \cdot 4 - 10,2 \cdot 2 = 12,4$$

$$pK_b(NO_3^-) \approx 10 + 5,7 \cdot 3 - 10,2 \cdot 1 = 16,9$$

$$pK_b(CO_3^{2-}) \approx 10 + 5,7 \cdot 3 - 10,2 \cdot 1 = 6,7$$

$$pK_b(SO_4^{2-}) \approx 12,4; pK_b(NO_3^-) \approx 16,9; pK_b(CO_3^{2-}) \approx 6,7$$

3 × 0,5 = 1,5 bodova

- 5.b)** Poredaj sulfatni, nitratni i karbonatni anion u niz od najbazičnijeg do najmanje bazičnog

karbonat > sulfat > nitrat

Za točan redoslijed

0,5 bodova

- 5.c)** Zaključi kako topljivost soli ovisi o bazičnosti oksoaniona.

Topljivost opada s bazičnošću oksoaniona.

Za točan odgovor

0,5 bodova

- 5.d)** Gore navedena empirijska formula za procjenu vrijednosti pK_b oksoaniona ne daje točne, nego samo približne vrijednosti. Točne (mjerene) vrijednosti pK_b za pojedine oksoanione nalaze se u rasponu od ± 1 jedinice pK_b oko procijenjene vrijednosti koja se dobije dotičnom formulom. Izračunaj u kojemu će rasponu biti točna vrijednost K_b aniona kojemu je gornjom formulom procijenjena vrijednost pK_b od 2,2!

$$pK_b = 2,2 \pm 1$$

$$1,2 \leq pK_b \leq 3,2$$

$$pK_b = -\log(K_b/(\text{mol dm}^{-3}))$$

$$K_b = (10^{-pK_b}) \text{ mol dm}^{-3}$$

$$10^{-3,2} \text{ mol dm}^{-3} \leq K_b \leq 10^{-1,2} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$6,31 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \leq K_b \leq 6,31 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

Za račun intervala pK_b

0,5 bodova

Za povezivanje pK_b i K_b

0,5 bodova

Za račun intervala K_b

0,5 bodova

Ukupno

1,5 bodova

ostv.

maks.

4

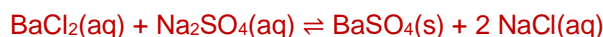
Ukupno bodova na stranici 5:

ostv.	maks.
	4

6.

Barijev sulfat jako je slabo topljiva sol. Kada se 50,0 mL otopine barijeva klorida množinske koncentracije 0,200 mol dm⁻³ pomiješa s 50,0 mL otopine natrijeva sulfata množinske koncentracije 0,400 mol dm⁻³, gotovo sav barij istaloži u obliku sulfata. Međutim, preciznim se mjerenjima može ustanoviti da je u otopini ipak zaostalo barijevih kationa i pri 25 °C njihova bi koncentracija iznosila 1,084 · 10⁻⁹ mol dm⁻³.

Izračunaj (uz pretpostavku aditivnosti volumena) produkt topljivosti barijeva sulfata pri 25 °C.



$$[\text{Ba}^{2+}] = n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}) / V = (n_0(\text{Ba}^{2+}) + v(\text{Ba}^{2+})\xi_{\text{eq}}) / V = (n_0(\text{Ba}^{2+}) - \xi_{\text{eq}}) / V = 1,084 \cdot 10^{-9} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$n_0(\text{Ba}^{2+}) = V(\text{BaCl}_2(\text{aq})) \cdot c_0(\text{BaCl}_2) = 50,0 \text{ mL} \cdot 0,200 \text{ mol dm}^{-3} = 10,0 \text{ mmol}$$

$$n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}) = V \cdot [\text{Ba}^{2+}]$$

$$V = V(\text{BaCl}_2(\text{aq})) + V(\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})) = 100,0 \text{ mL}$$

$$n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}) = V \cdot [\text{Ba}^{2+}] = 1,084 \cdot 10^{-10} \text{ mol}$$

$$\xi_{\text{eq}} = n_0(\text{Ba}^{2+}) - n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}) = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} - 1,084 \cdot 10^{-10} \text{ mol} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$[\text{tj. unutar pogreške mjerenja} = n_0(\text{Ba}^{2+})]$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = n_{\text{eq}}(\text{SO}_4^{2-}) / V = (n_0(\text{SO}_4^{2-}) + v(\text{SO}_4^{2-})\xi_{\text{eq}}) / V = (n_0(\text{SO}_4^{2-}) - \xi_{\text{eq}}) / V$$

$$n_{\text{eq}}(\text{SO}_4^{2-}) = n_0(\text{SO}_4^{2-}) - \{(n_0(\text{Ba}^{2+}) - n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}))\} = n_0(\text{SO}_4^{2-}) - (n_0(\text{Ba}^{2+}) + n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}))$$

$$n_0(\text{SO}_4^{2-}) = V(\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})) \cdot c_0(\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})) = 50,0 \text{ mL} \cdot 0,400 \text{ mol dm}^{-3} = 20,0 \text{ mmol}$$

$$n_{\text{eq}}(\text{SO}_4^{2-}) = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} - 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} + 1,084 \cdot 10^{-10} \text{ mol} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$[\text{tj. unutar pogreške mjerenja} = n_0(\text{SO}_4^{2-}) - n_0(\text{Ba}^{2+})]$$

$$K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$= (n_{\text{eq}}(\text{Ba}^{2+}) \cdot n_{\text{eq}}(\text{SO}_4^{2-})) / V^2$$

$$K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) = 1,084 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Za račun početne množine BaCl₂

0,5 bodova

Za račun početne množine Na₂SO₄

0,5 bodova

Za račun ravnotežne množine BaCl₂

0,5 bodova

Za račun ravnotežne množine Na₂SO₄

0,5 bodova

Za račun ukupnog volumena

0,5 bodova

Za izraz za produkt topljivosti

0,5 bodova

Za ispravno povezivanje ravnotežnih množina, ukupnog volumena i produkta topljivosti

0,5 bodova

Za izračun K_{sp} (s ispravnom mjernom jedinicom)**

0,5 bodova

Napomene za ispravljače:

Nije nužno da natjecatelj eksplicitno povezuje veličine s reakcijskim dosegom – priznati i ako je veza implicitna.

*Priznati i druge ispravne načine rješavanja.

ostv.

maks.

4