Projekt "Operacja - Integracja 3.0!" - III etap wdrażania Zintegrowanego Programu Uczelni jest współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus, umowa nr FERS.01.05-IP.08-0226/23-00

# *Materiały dydaktyczne (SKRYPT)*

**dla studentów kierunku**

## Farmacja

**Do przedmiotu**

## Chemia ogólna i nieorganiczna

*Autorzy:*

*Dr n. farm. Angelika Adamus-Grabicka*
*Dr n. farm. Małgorzata Fabijańska*
*Mgr inż. Monika Kawka-Człapińska*
*Dr n. farm. Andrzej Łazarenkow*
*Dr hab. n. med. Joanna Sikora, profesor UM*
*Dr n. farm. inż. Dominik Żyro*

**Łódź, 2025**

Niniejszy materiał dydaktyczny (skrypt) powstał w ramach realizacji przez Uniwersytet Medyczny w Łodzi projektu pt.: "Operacja - Integracja 3.0!" - III etap wdrażania Zintegrowanego Programu Uczelni, który jest współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus, umowa nr FERS.01.05-IP.08-0226/23-00

# *Ćwiczenie nr 5*
# *Stała rozpuszczalności*

## Wstęp teoretyczny
### *Stała rozpuszczalności*

**Rozpuszczalność** nie jest pojęciem absolutnym, ponieważ w przypadku substancji umownie nazywanych jako „nierozpuszczalne" zawsze minimalna ich ilość znajduje się w roztworze nad osadem, tworząc w ten sposób *roztwór nasycony* i rozpuszczenie danej substancji w danych warunkach (temperatury, ciśnienia i składu roztworu) nie jest możliwe.

Rozpuszczalność jest procesem odwrotnym do strącania, zatem można przyjąć analogię:

**SUBSTANCJA ŁATWO ROZPUSZCZALNA = SUBSTANCJA TRUDNO STRĄCALNA**

**SUBSTANCJA TRUDNO ROZPUSZCZALNA = SUBSTANCJA ŁATWO STRĄCALNA**

Zakłada się, że trudno rozpuszczalne sole w roztworze nasyconym znajdują się w postaci zdysocjowanej na jony, które z kolei znajdują się w równowadze dynamicznej z formą niezdysocjowaną w swoim osadzie, przykładowo:

$$\mathbf{AB\downarrow} \overset{H_2O}{\rightleftarrows} \mathbf{A^+ + B^-}$$

Jeżeli stężenie AB↓ jest stałe i osad w rzeczywistości znajduje się poza roztworem, można go pominąć w wyrażeniu na stałą równowagi, dzięki czemu otrzymuje się właściwą **stałą rozpuszczalności**:

$$K_{s\,AB}[A^+] \cdot [B^-] = const.$$

Stała rozpuszczalności ($K_s$) z kolei określa równowagę między substancją znajdującą się w osadzie, a jej jonami w roztworze. Posiada ona niezmienną wartość przy ściśle określonych warunkach temperatury, ciśnienia i składu roztworu (np. obecność zanieczyszczeń). W zależności od typu substancji trudno rozpuszczalnej, zmienia się zależność pomiędzy stałą rozpuszczalności (***K*s**) a rozpuszczalnością molową (**S**):

| **Typ substancji:** | **AB** | **$A_2B$** | **$A_3B$** |
|---|---|---|---|
| Dysocjuje na: | $A^+ + B^-$ | $2A^+ + B^{2-}$ | $3A^+ + B^{3-}$ |
| $K_s$ = | $[A^+]\cdot[B^-]$ | $[A^+]^2\cdot[B^{2-}]$ | $[A^+]^3\cdot[B^{3-}]$ |
| Ilość jonów: | S + S | 2S + S | 3S + S |
| Stężenie jonów: | $S \cdot S = S^2$ | $(2S)^2 \cdot S$ | $(3S)^3 \cdot S$ |
| | | $4S^2 \cdot S = 4S^3$ | $27S^3 \cdot S = 27S^4$ |
| **Rozpuszczalność (*S*):** | $\sqrt{K_{s\,AB}}$ | $\sqrt[3]{\frac{K_{s,A_2B}}{4}}$ | $\sqrt[4]{\frac{K_{s,A_3B}}{27}}$ |

Pod rozpuszczalnością molową (S) rozumiemy maksymalnie możliwą liczbę moli substancji, która rozpuszcza się w 1 $dm^3$ roztworu, tworząc w danych warunkach roztwór nasycony. Rozpuszczalność można również podawać w gramach na litr, co ma większe znaczenie praktyczne m.in. przy sporządzaniu roztworów substancji trudno rozpuszczalnych, stosowanych w medycynie, farmacji lub analizie leków.

Wprowadzenie do nasyconego roztworu jonu wspólnego z substancją tworzącą osad powoduje przekroczenie poprzez iloczyn stężeń jonów wartości $\boldsymbol{K}_s$ – skutkuje to wytrąceniem osadu. Jest to tzw. **WPŁYW WSPÓLNEGO JONU (efekt wspólnego jonu).** Jeżeli roztwór zawiera w sobie kilka substancji rozpuszczonych lub łatwo rozpuszczalnych sytuacja jest inna – dodanie do roztworu soli nie zawierającej jonów wspólnych z już obecnymi w roztworze powoduje, że trudno rozpuszczalna sól rozpuszcza się lepiej. Zjawisko to określa się jako **EFEKT SOLNY (wpływ obcego jonu)**.

**Należy pamiętać, że:**

Wielkość $\boldsymbol{K}_s$ pozwala ocenić jak łatwo się rozpuszcza dana substancja. Dzięki znajomości $\boldsymbol{K}_s$ można obliczyć ile rozpuści się substancji w objętości rozpuszczalnika, co ma duże znaczenie w wielu dziedzinach chemii i farmacji. Jeżeli iloczyn stężeń jonów w roztworze przekracza $\boldsymbol{K}_s$, to oznacza, że nadmiar jonów przechodzi do osadu. W przypadku, gdy iloczyn stężeń jonów w roztworze nie przekracza $\boldsymbol{K}_s$, to wszystkie jony pozostają w roztworze. Jeżeli znane są iloczyny rozpuszczalności w ściśle określonych warunkach, to możliwe jest obliczenie czy wytrąci się osad. Wartość $\boldsymbol{K}_s$ wcale nie wskazuje bezpośrednio na rozpuszczalność substancji, dlatego porównywanie $\boldsymbol{K}_s$ zamiast rozpuszczalności dopuszczalne jest **jedynie** w przypadku tego samego typu substancji trudno rozpuszczalnych (np. porównywanie typu AB z AB, $A_2B$ z $A_2B$ itd.). W każdym innym przypadku należy porównywać rozpuszczalności osadów.

**Znajomość rozpuszczalności i stałej rozpuszczalności jest przydatna w celu:**

- CAŁKOWITEGO WYTRĄCANIA OSADÓW
- WYTRĄCANIA FRAKCJONOWANEGO
- SELEKTYWNEGO WYTRĄCANIA

## *Hydroliza AKT (Amid Kwasu Tiooctowego; Tioacetamid FP XIII)*

Hydroliza AKT w zależności od pH roztworu:

$$\mathbf{pH < 7:} \quad \mathbf{CH_3CSNH_2 + H_3O^+ + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + NH_4^+ + H_2S\uparrow}$$

$$\mathbf{pH \approx 7:} \quad \mathbf{CH_3CSNH_2 + 2H_2O \rightleftarrows CH_3COO^- + NH_4^+ + H_2S\uparrow}$$

$$\mathbf{pH > 7:} \quad \mathbf{CH_3CSNH_2 + 3OH^- \rightleftarrows CH_3COO^- + NH_3 \cdot H_2O + S^{2-}}$$

Dysocjację powstającego siarkowodoru w wodzie można przedstawić następująco:

$$\mathbf{H_2S\uparrow + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + HS^-}$$

$$\mathbf{HS^- + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + S^{2-}}$$

Anion siarczkowy (powstający w wyniku reakcji) jest ciągle zużywany w trakcie wytrącania siarczków, dlatego równowaga dysocjacji siarkowodoru wyraźnie przesuwa się w stronę produktów. Zatem można napisać w uproszczeniu, że:

$$\mathbf{H_2S + 2H_2O \rightleftarrows 2H_3O^+ + S^{2-}}$$

$$K = \frac{[H_3O^+]^2 \cdot [S^{2-}]}{[H_2S]}$$

Z powyższego wynika, że obniżanie pH (przez dodawanie jonów $\mathbf{H_3O^+}$, czyli produktu tej reakcji) powoduje cofanie dysocjacji $H_2S$. W związku z tym następuje zmniejszenie stężenia $\mathbf{S^{2-}}$, co prowadzi do wytrącenia jedynie osadów siarczków o bardzo słabej rozpuszczalności, czyli łatwo strącalnej (np. siarczki kationów z grupy analitycznej III zgodnie z klasyfikacją według Bunsena). Alkalizacja środowiska reakcji (podwyższanie pH) poprzez neutralizację jonów $\mathbf{H_3O^+}$ za pomocą $\mathbf{OH^-}$ prowadzi z kolei do tworzenia nowych ilości produktów, więc stężenie jonów $\mathbf{S^{2-}}$ będzie wystarczające nawet do wytrącenia trudno strącalnych (łatwo rozpuszczalnych) siarczków metali z grupy analitycznej IV zgodnie z klasyfikacją według Bunsena.

| Związek | Stała rozpuszczalności ($K_s$) | Rozpuszczalność ($S$) | |
|---|---|---|---|
| | | [mol/L] | [g/L] |
| AgBr | $4{,}0\cdot10^{-13}$ | $6{,}3\cdot10^{-7}$ | $11{,}0\cdot10^{-4}$ |
| $CH_3COOAg$ | $4{,}4\cdot10^{-3}$ | $6{,}6\cdot10^{-2}$ | 11,0 |
| AgCl | $1{,}56\cdot10^{-10}$ | $1{,}3\cdot10^{-5}$ | $1{,}8\cdot10^{-3}$ |
| AgCN | $2{,}2\cdot10^{-12}$ | $1{,}5\cdot10^{-6}$ | $4{,}0\cdot10^{-4}$ |
| $Ag_2CrO_4$ | $9{,}0\cdot10^{-12}$ | $1{,}3\cdot10^{-4}$ | $4{,}3\cdot10^{-2}$ |
| [AgOH]* | $1{,}5\cdot10^{-8}$ | $1{,}2\cdot10^{-4}$ | $1{,}5\cdot10^{-2}$ |
| $Ag_2S$ | $1{,}6\cdot10^{-49}$ | $3{,}5\cdot10^{-17}$ | $8{,}7\cdot10^{-15}$ |
| AgI | $1{,}5\cdot10^{-16}$ | $1{,}2\cdot10^{-8}$ | $2{,}9\cdot10^{-6}$ |
| $BaCO_3$ | $8{,}1\cdot10^{-9}$ | $8{,}9\cdot10^{-5}$ | $1{,}8\cdot10^{-2}$ |
| $BaC_2O_4$ | $1{,}6\cdot10^{-7}$ | $4{,}0\cdot10^{-4}$ | $9{,}0\cdot10^{-3}$ |
| $BaCrO_4$ | $2{,}4\cdot10^{-10}$ | $1{,}5\cdot10^{-5}$ | $3{,}9\cdot10^{-3}$ |
| $BaSO_4$ | $1{,}1\cdot10^{-10}$ | $1{,}0\cdot10^{-5}$ | $2{,}5\cdot10^{-3}$ |
| $CaCO_3$ | $4{,}8\cdot10^{-9}$ | $6{,}9\cdot10^{-5}$ | $6{,}9\cdot10^{-3}$ |
| $CaC_2O_4$ | $2{,}6\cdot10^{-9}$ | $5{,}1\cdot10^{-5}$ | $6{,}5\cdot10^{-3}$ |
| $CaC_4H_4O_6$ | $7{,}7\cdot10^{-7}$ | $8{,}8\cdot10^{-4}$ | $1{,}7\cdot10^{-1}$ |
| $CaSO_4$ | $6{,}2\cdot10^{-5}$ | $7{,}8\cdot10^{-3}$ | 2,0 |
| $Cd(OH)_2$ | $2{,}0\cdot10^{-14}$ | $2{,}5\cdot10^{-3}$ | $1{,}7\cdot10^{-5}$ |
| CdS | $3{,}6\cdot10^{-29}$ | $6{,}0\cdot10^{-15}$ | $8{,}6\cdot10^{-13}$ |
| CuS | $8{,}5\cdot10^{-45}$ | $9{,}2\cdot10^{-23}$ | $8{,}8\cdot10^{-21}$ |
| MnS | $1{,}4\cdot10^{-15}$ | $3{,}7\cdot10^{-8}$ | $3{,}2\cdot10^{-6}$ |
| $PbCl_2$ | $1{,}6\cdot10^{-5}$ | $1{,}6\cdot10^{-2}$ | 4,4 |
| $PbCrO_4$ | $1{,}8\cdot10^{-14}$ | $1{,}3\cdot10^{-7}$ | $2{,}7\cdot10^{-5}$ |
| $PbI_2$ | $8{,}7\cdot10^{-9}$ | $1{,}3\cdot10^{-3}$ | $6{,}0\cdot10^{-1}$ |
| PbS | $1{,}1\cdot10^{-29}$ | $3{,}3\cdot10^{-15}$ | $7{,}9\cdot10^{-13}$ |
| $PbSO_4$ | $1{,}0\cdot10^{-8}$ | $1{,}5\cdot10^{-4}$ | $4{,}5\cdot10^{-2}$ |
| ZnS | $1{,}2\cdot10^{-23}$ | $3{,}5\cdot10^{-12}$ | $3{,}4\cdot10^{-10}$ |

*Tabela 1: Wartości rozpuszczalności (S) oraz stałych rozpuszczalności (Ks) wybranych związków trudno rozpuszczalnych zmierzone w temperaturze 25º C.*

**** - związek nietrwały i szybko ulega rozkładowi: $2AgOH\downarrow \rightarrow Ag_2O\downarrow + H_2O$***

## Przebieg ćwiczenia

### *1. Wytrącanie frakcjonowane – porównywanie szybkości strącania się osadów na podstawie ich rozpuszczalności (S)*

Doświadczenie pokazuje w jakiej kolejności wytrącają się osady z roztworu w zależności od wartości ich rozpuszczalności molowej (S). Celem ćwiczenia jest zrozumienie, w jaki sposób znajomość rozpuszczalności molowej (S) soli pozwala na zmniejszenie stężenia jonów w roztworze.

#### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku potasu (KCl)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chromianu potasu ($K_2CrO_4$)
- ✓ Roztwór 0,1 mol/L azotanu srebra(I) ($AgNO_3$)
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Probówki
- ✓ Mieszadło typu Vortex

#### *Wykonanie doświadczenia*

- Przygotować dwie probówki, w których należy wykonać próby odniesienia. Do pierwszej z nich dodać po 10 kropli roztworu chlorku potasu i roztworu azotanu srebra(I), a do drugiej - po 10 kropli roztworu chromianu potasu i roztworu azotanu srebra(I). Zawartość wymieszać przy pomocy vortexu.
- Do kolejnej próbówki (próba właściwa) odmierzyć:
    - 0,25 mL roztworu chromianu potasu
    - 0,25 mL roztworu chlorku potasu
    - 0,5 mL roztworu azotanu srebra(I)
- Zawartość probówki wymieszać z wykorzystaniem vortexu.
- Do próby właściwej dodać ostrożnie po ściance 0,5 mL roztworu azotanu srebra(I) i wymieszać przy pomocy vortexu. Czynność powtórzyć dwukrotnie.
- Próbę właściwą odwirować, a następnie dodać do otrzymanego roztworu 0,5 mL roztworu azotanu srebra(I).
- W zeszycie laboratoryjnym zanotować kolory osadów powstałe w próbie kontrolnej, ponadto w tabeli 2 zapisać obserwacje zwracając uwagę na kolory osadów wytrąconych w każdym etapie.
- **Sformułować wnioski: W oparciu o dane z Tabeli 1 napiać, na czym polega kolejność strącania się osadów w tym doświadczeniu. Czy da się tą metodę zastosować do usuwania poszczególnych jonów z roztworu i na czym to będzie polegać?**

| **Czynności** | Zmieszanie $K_2CrO_4$ i KCl | Dodanie do roztworu 10 kropli $AgNO_3$ | Dodanie do roztworu 10 kropli $AgNO_3$ | Dodanie do roztworu 10 kropli $AgNO_3$ | Dodanie do roztworu 10 kropli $AgNO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kolor osadu** | | | | | |

*Tabela 2: Wytrącanie frakcjonowane*

### *2. Usuwanie jonów z roztworu z wykorzystaniem różnicy w wartościach $K_s$ powstających osadów*

Kationy metali ciężkich stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia, jeżeli dostaną się do organizmu w niepożądanych ilościach, np. po połknięciu ich soli. Celem ćwiczenia jest usunięcie z roztworu nasyconego jonów metali ciężkich za pomocą wytrącania frakcjonowanego i całkowitego wytrącania osadu, a także porównanie skuteczności obu metod.

#### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Roztwór 0,5 mol/L azotanu ołowiu(II) ($Pb(NO_3)_2$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku sodu (NaCl)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L jodku potasu (KI)
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Probówki
- ✓ Mieszadło typu Vortex

#### *Wykonanie doświadczenia*

- Do próbówki odmierzyć po 0,5 mL roztworów: azotanu ołowiu(II) i chlorku sodu. Wytrącony osad odwirować, roztwór przenieść do nowej probówki, a osad odrzucić. Sprawdzić całkowitość wytrącenia osadu, dodając do roztworu znad osadu 0,5 mL roztworu chlorku sodu. Zawartość probówki wymieszać, a jeżeli powstanie osad – odwirować i odrzucić. Opisane czynności powtarzać aż do momentu, gdy po dodaniu chlorku sodu nie wytrąci się osad chlorku ołowiu(II). Jest to tzw. wytrącanie frakcjonowane.
- Do roztworu dodać 0,25 mL roztworu jodku potasu. Kation ołowiu(II) zostanie dodatkowo usunięty poprzez utworzenie trudniej rozpuszczalnego jodku ołowiu(II) – jest to metoda całkowitego wytrącania osadu.
- W zeszycie laboratoryjnym w tabeli 3 zanotować wykonywane czynności i obserwacje zwracając uwagę na kolory osadów, wraz z równaniami wszystkich zachodzących reakcji w postaci jonowej i cząsteczkowej oraz równanie równowagi dynamicznej pomiędzy osadem chlorku ołowiu(II) a jego roztworem nasyconym.

- **Sformułować wnioski:**
    - **Wyjaśnć na podstawie równania równowagi dynamicznej pomiędzy osadem chlorku ołowiu(II) a jego roztworem nasyconym dlaczego w trakcie wytrącania frakcjonowanego z nasyconego roztworu znad osadu chlorku ołowiu(II) wytrącają się nowe porcje osadu?**
    - **W oparciu o wartości $K_s$ z Tabeli 1 wytłumaczyć na czym polega metoda całkowitego wytrącania osadu.**
    - **Która z metod jest najskuteczniejsza w usuwaniu jonów ołowiu(II) z roztworu i dlaczego?**

| **Odczynnik dodany do roztworu $Pb(NO_3)_2$** | **NaCl** | **NaCl** | **NaCl** | **KI** |
|---|---|---|---|---|
| **Kolor osadu** | | | Brak (całkowite wytrącenie osadu $PbCl_2$) | |

*Tabela 3: Usuwanie jonów z roztworu na zasadzie różnicy w wartościach Ks*

### *3.Wpływ wspólnego jonu i efektu solnego na mieszaninę nasyconych roztworów soli – ĆWICZENIE POKAZOWE*

Celem ćwiczenia jest zbadanie różnic w oddziaływaniu wspólnego i obcego jonu na nasycony roztwór soli (chloranu potasu).

#### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku potasu (KCl)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L azotanu potasu ($KNO_3$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chloranu potasu ($KClO_3$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chloranu sodu ($NaClO_3$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku sodu (NaCl)
- ✓ Probówki duże, wysokie

#### *Wykonanie doświadczenia*

- Do czterech probówek zawierających po 1 mL nasyconych roztworów oznaczonych zgodnie z Tabelą 4 wprowadzono po 1 mL roztworu chloranu potasu.
- W zeszycie laboratoryjnym zaznaczyć w tabeli 4, w których probówkach powstał osad pod wpływem dodatku wspólnego jonu. Dla ułatwienia obserwacji, probówki należy porównywać na ciemnym tle.
- **Sformułować wnioski: Na czym polega tzw. efekt solny i jaki wpływ ma wprowadzenie obcych jonów do nasyconego roztworu soli?**

| Nr | Nasycony roztwór wodny | Po dodaniu $KClO_3$ | | Równania reakcji dysocjacji |
|---|---|---|---|---|
| | | Osad | Brak osadu | $\boldsymbol{KClO_3 \rightleftarrows K^+ + ClO_3^-}$ |
| 1 | KCl | | | $KCl \rightarrow \boldsymbol{K^+} + Cl^-$ |
| 2 | $KNO_3$ | | | $KNO_3 \rightarrow \boldsymbol{K^+} + NO_3^-$ |
| 3 | $NaClO_3$ | | | $NaClO_3 \rightarrow Na^+ + \boldsymbol{ClO_3^-}$ |
| 4 | NaCl | | | $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$ |

*Tabela 4: Numeracja probówek z roztworami soli*

## *4. Wpływ pH na rozpuszczalność soli słabych kwasów – **ĆWICZENIE POKAZOWE***

Kwas szczawiowy jest słabym kwasem dwuprotonowym ($H_2C_2O_4$) i tworzy m.in. z jonami wapnia nierozpuszczalny osad. Celem doświadczenia jest otrzymanie trudno rozpuszczalnego osadu szczawianu wapnia oraz ocena wpływu obecności w roztworze mocnego i słabego kwasu (stężenia jonów $H_3O^+$) na rozpuszczalność osadu ze względu na odwracalny/nieodwracalny przebieg dysocjacji takich kwasów.

### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Roztwór 0,5 mol/L chlorku wapnia ($CaCl_2$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L szczawianu amonu ($(NH_4)_2C_2O_4$)
- ✓ Roztwór 1,0 mol/L kwasu solnego ($HCl$)
- ✓ Roztwór 1,0 mol/L kwasu octowego ($CH_3COOH$)
- ✓ Probówki

### *Wykonanie doświadczenia*

- Do trzech probówek wprowadzono za pomocą pipety automatycznej po 0,5 mL roztworów chlorku wapnia i szczawianu amonu, zawartość probówek wymieszano przy pomocy vortexu. Osady odwirowano, a następnie zlano roztwory znad osadów. Do pierwszej probówki z osadem wprowadzono 2 mL roztworu kwasu solnego, do drugiej – 2 mL roztworu kwasu octowego, do trzeciej (która jest próbą kontrolną) – 2 mL wody destylowanej. Zawartość probówek dokładnie wymieszano przy pomocy vortexu, odwirowano i zbadano pH roztworów znad osadu we wszystkich trzech probówkach.
- W zeszycie laboratoryjnym w tabeli 5 zanotować obserwacje (zwracając uwagę na ilości powstałych osadów), a także napisać:
    - równanie reakcji tworzenia jonu wodoroszczawianowego z jonu szczawianowego w formie jonowej skróconej,
    - równania reakcji dysocjacji kwasu solnego i kwasu octowego w formie jonowej skróconej,

- równowagę dynamiczną pomiędzy osadem szczawianu sodu, a jonami w jego roztworze nasyconym w formie jonowej skróconej,
- wzór na stałą rozpuszczalności ($\boldsymbol{K}_s$) szczawianu sodu.

- **Sformułować wnioski: Wytłumaczyć jak wpływa obniżenie pH na rozpuszczalność osadu szczawianu wapnia, wiedząc, że zastosowane kwasy istotnie różnią się mocą, a dodanie jonów $H_3O^+$ powoduje przejście jonu szczawianowego w wodoroszczawianowy, co powoduje przesunięcie równowagi dynamicznej pomiędzy osadem a roztworem w kierunku rozpuszczania osadu.**

| **Nr probówki z osadem $CaC_2O_4$** | **Dodany odczynnik** | **pH** | **Ilość osadu** | **Równania reakcji** | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HCl | **1** | | Dysocjacja | Rozpuszczanie osadu |
| 2 | $CH_3COOH$ | **4** | | Dysocjacja | |
| 3 | Woda (kontrola) | **7** | | Równowaga dynamiczna pomiędzy osadem a roztworem | Wzór na stałą |

*Tabela 5: Wpływ pH na rozpuszczalność soli słabych kwasów*

### *5.Właściwy dobór rozpuszczalnika dla postaci leku, zawierającej substancję czynną, mogącą w łatwy sposób ulec inaktywacji poprzez wytworzenie osadu*

Azotan srebra(I) jest substancją czynną niektórych leków do stosowania zewnętrznego. W odróżnieniu od etanolu, będącego częstym ***medium*** płynów leczniczych do użytku wewnętrznego, sól fizjologiczna (ze względu na izoosmotyczność i izotoniczność m.in. ze łzami ludzkimi, osoczem krwi oraz niektórymi innymi płynami ustrojowymi) jest często stosowana jako ***medium*** w kroplach do oczu, w okładach przy trudno gojących się ranach, a także jest pomocna w trakcie wprowadzania substancji czynnych do maści typu o/w. Pomimo dużej czułości na światło (substancja w postaci czystej oraz jej roztwory wodne są przechowywane w ciemnych naczyniach z dala od światła), kation srebra(I) tworzy niewiele soli bardzo dobrze rozpuszczalnych w środowisku wodnym, co utrudnia jego aplikację w celach medycznych. Celem doświadczenia jest sprawdzenie, czy właściwy dobór rozpuszczalnika/medium w stosunku do substancji czynnej ($AgNO_3$) jest istotny w trakcie projektowania i produkcji postaci leku.

### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Roztwór 0,5 mol/L azotanu srebra(I) ($AgNO_3$)
- ✓ Stały azotan srebra(I) ($AgNO_3$)
- ✓ Sól fizjologiczna (0,9% roztwór wodny chlorku sodu (NaCl)
- ✓ Etanol bezwodny
- ✓ Woda destylowana
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Probówki
- ✓ Mieszadło typu Vortex

### *Wykonanie doświadczenia*

- Do trzech probówek wprowadzić odczynniki zgodnie z informacjami zamieszczonymi w **tabeli 6**
- W której probówce wytrącił się osad?
- W zeszycie laboratoryjnym w tabeli 6 zanotować obserwacje (zwracając uwagę na powstawanie osadów).
- **Sformułować wnioski: Czy jeśli wytrąca się osad to dany roztwór jest odpowiedni do wytwarzania leków zawierających daną substancję czynną. W postaci jakiego roztworu najbezpieczniej jest stosować azotan srebra(I) i dlaczego?**

| Probówka / Odczynnik | **1** | **2** | **3** |
|---|---|---|---|
| Woda destylowana | **2 mL** | - | - |
| Sól fizjologiczna | - | **2 mL** | - |
| Etanol bezwodny | - | - | **2 mL** |
| $AgNO_3$ | **3 krople roztworu** | **3 krople roztworu** | **Kilka kryształków** |
| Obserwacje | | | |
| Czy dany roztwór nadaje się do wytwarzania leku? | | | |

*Tabela 6: Numeracja probówek i dodawane odczynniki*

## *6.Wpływ stężenia jonów $H_3O^+$ i $OH^-$ na selektywne tworzenie się siarczków metali*

Większość kationów metali ciężkich, będących potencjalnym zagrożeniem dla organizmów żywych oraz środowiska, można w trwały sposób związać z niektórymi anionami, co spowoduje powstawanie łatwo strącalnych osadów i pozwala na ich usunięcie z wody/roztworów wodnych lub inaktywację w organizmie. Ponad to rozpuszczalność **siarczków** jest wykorzystywana jako kryterium podziału większości kationów

metali ciężkich na grupy analityczne. Strącanie siarczków przeprowadza się za pomocą tioacetamidu (AKT, amidu kwasu tiooctowego), który w trakcie powolnej hydrolizy – 10-15 minut w temperaturze bliskiej wrzenia rozkłada się z wydzieleniem m. in. siarkowodoru lub anionu siarczkowego zależnie od pH roztworu. Celem doświadczenia jest ocena zależności pomiędzy odczynem (pH), w którym przebiega reakcja hydrolizy AKT, a stężeniem powstających jonów siarczkowych, co dalej zostaje wykorzystane do selektywnego otrzymania osadów siarczków, umożliwiając w ten sposób oddzielenie poszczególnych kationów metali ciężkich od siebie nawzajem.

### *Odczynniki, sprzęt, aparatura*

- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu miedzi(II) ($CuSO_4$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu cynku ($ZnSO_4$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L siarczanu manganu(II) ($MnSO_4$)
- ✓ Roztwór 1,5 mol/L kwasu siarkowego ($H_2SO_4$)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L tioacetamidu ($CH_3CSNH_2$, amid kwasu tiooctowego, AKT)
- ✓ Roztwór 0,5 mol/L octanu sodu ($CH_3COONa$)
- ✓ Roztwór 3,0 mol/L wody amoniakalnej ($NH_3 \cdot H_2O$)
- ✓ Papierki wskaźnikowe uniwersalne
- ✓ Pipeta automatyczna
- ✓ Próbówka (5 sztuk)
- ✓ Łaźnia wodna
- ✓ Mieszadło typu Vortex

### *Wykonanie doświadczenia*

- Za pomocą pipety automatycznej odmierzyć do pięciu ponumerowanych probówek po 1 mL odpowiednio siarczanu miedzi(II), cynku oraz manganu(II) zgodnie z **tabelą 7**.
- Zawartość probówek odpowiednio zakwasić lub zalkalizować dodając roztworu kwasu siarkowego lub wody amoniakalnej zgodnie z **tabelą 7** (odczyn sprawdzać za pomocą uniwersalnych papierków wskaźnikowych).
- Do probówek dodać po 1 mL AKT, wymieszać przy pomocy vortexu i ogrzewać w łaźni wodnej w temperaturze 90ºC przez 15 minut.
- Do probówek **2** - **4** dodać 0,25 mL roztworu octanu sodu, wymieszać i ponownie odwirować.
- Do probówek **3** - **4** dodawać roztwór wody amoniakalnej, aż do uzyskania wyraźnie zasadowego odczynu i wytrącenia się osadu.
- W zeszycie laboratoryjnym w **tabeli 7** zanotować obserwacje zwracając uwagę na barwy osadów i środowisko w jakim powstały, napisać jonowe równania reakcji tworzenia osadów siarczków

miedzi(II), cynku oraz manganu(II) przy odczynie kwasowym oraz zasadowym, określić, kolor oraz wartości $K_s$.

- **Sformułować wnioski:**
  - **Na podstawie równań reakcji i wzoru na stałą dysocjacji siarkowodoru w wodzie wytłumaczyć, jak wpływa wprowadzanie jonów $H_3O^+$ i $OH^-$ na równowagę reakcji dysocjacji $H_2S$ i powstawanie jonów siarczkowych. Dlaczego dopiero po dodaniu octanu sodu wytrącił się osad w probówce 2?**
  - **Porównując wartości $K_s$ otrzymanych osadów oraz obserwacje uzasadnić kolejność strącania siarczków. Na czym polega selektywne strącanie osadów?**

| Probówka / Odczynnik | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Równania reakcji | Wartość Ks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CuSO_4$ | + | | | + | + | | |
| $ZnSO_4$ | | + | | + | + | | |
| $MnSO_4$ | | | + | + | + | | |
| $H_2SO_4$ (do pH ≤ 2) | + | + | + | + | | Równanie reakcji dysocjacji $H_2S$ | Wzór na stałą dla $H_2S$ |
| $NH_3 \cdot H_2O$ (do pH ≥ 9) | | | | | + | | |
| Kolor osadu | | | | | | | |
| Środowisko powstania osadu | | | | | | | |

*Tabela 7: Numeracja probówek i dodawane do nich odczynniki chemiczne*