CHEMIA Informatyka medyczna Ćwiczenie 3.2

Ćwiczenie 3.2.

Wyznaczanie ciśnienia osmotycznego roztworu NaCl

Dlaczego to ma znaczenie?

Różnice stężenia substancji rozpuszczonych po obu stronach błony wpływają na kierunek przepływu wody i objętość komórek. Zjawiska osmotyczne mają znaczenie m.in. przy doborze płynów infuzyjnych, ocenie gospodarki wodno-elektrolitowej i w technikach wykorzystujących membrany, takich jak dializa. W tym ćwiczeniu ilościowo śledzimy przenikanie NaCl przez membranę dializacyjną, a następnie wykorzystujemy oznaczone stężenie do obliczenia ciśnienia osmotycznego roztworu.

Najważniejsze zagadnienia

- osmoza i ciśnienie osmotyczne; różnica między osmozą a dyfuzją;
- membrana półprzepuszczalna i membrana dializacyjna – selektywność transportu;
- elektrolity i dysocjacja NaCl w wodzie;
- argentometryczne oznaczanie jonów chlorkowych metodą Mohra;
- próba zerowa i korekta wyniku analitycznego;
- bilans molowy transportu NaCl przez membranę;
- równanie van 't Hoffa i współczynnik van 't Hoffa.

Ważne rozróżnienie

Osmoza oznacza przepływ rozpuszczalnika przez membranę w odpowiedzi na różnicę potencjału chemicznego. Przechodzenie jonów Na^+ i Cl^- przez zastosowaną membranę dializacyjną jest natomiast dyfuzją. W ćwiczeniu nie mierzymy bezpośrednio strumienia wody. Mierzymy wzrost stężenia NaCl w fazie zewnętrznej i na tej podstawie obliczamy ciśnienie osmotyczne roztworu.

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie transportu NaCl przez membranę dializacyjną oraz wykorzystanie wyników oznaczenia jonów chlorkowych do ilościowej oceny zmian stężenia i ciśnienia osmotycznego fazy zewnętrznej w czasie. Ćwiczenie pozwala powiązać transport przez membrany z właściwościami osmotycznymi roztworów istotnymi w układach biologicznych i medycznych.

1. Aparatura i wyposażenie

- zlewka o pojemności 500–600 cm^3 – 1 szt.;
- worek dializacyjny – 1 szt.;
- klipsy do worka dializacyjnego – 2 szt.;
- lejek szklany – 1 szt.;
- tryskawka z wodą destylowaną/dejonizowaną – 1 szt.;
- cylinder miarowy 50 cm^3 – 1 szt.;
- cylinder miarowy 500 cm^3 – 1 szt.;
- bagietka szklana – 1 szt.;
- pipeta miarowa 5,00 cm^3 – 1 szt.;
- pipeta miarowa 20,00 cm^3 – 1 szt.;

- biureta 25 cm^3 ze statywem i lejkiem – 1 szt.;
- kolby Erlenmeyera 250 cm^3 – 2 szt.;
- butelka/pojemnik opisany „UTYLIZACJA” na odpady po miareczkowaniu;
- stoper lub zegar.

2. Odczynniki i materiały

- roztwór NaCl o stężeniu 0,500 mol/dm^3;
- mianowany roztwór $AgNO_3$ o stężeniu 0,100 mol/dm^3;
- roztwór wskaźnikowy K_2CrO_4;
- woda destylowana lub dejonizowana.

Bezpieczeństwo i odpady

Roztwór $AgNO_3$ oraz wskaźnik K_2CrO_4 wymagają pracy w fartuchu, rękawiczkach i okularach ochronnych. Roztworów po miareczkowaniu nie wylewać do zlewu. Całość odpadów zawierających jony srebra i chromiany umieszczać w oznakowanym pojemniku „UTYLIZACJA”.

3. Wykonanie

3.1. Przygotowanie układu z membraną dializacyjną

1. Za pomocą cylindra odmierzyć 500 cm^3 wody destylowanej/dejonizowanej i wlać ją do zlewki.
2. Na jednym końcu worka dializacyjnego założyć klips w odległości około 5 cm od brzegu.
3. Drugi koniec worka zwilżyć wodą z tryskawki. Delikatnie rozdzielić zwilżone brzegi membrany tak, aby powstał otwór; nie rozciągać i nie uszkadzać membrany.
4. Jedna osoba stabilizuje worek i lejek. Druga osoba pobiera pipetą 20,00 cm^3 roztworu NaCl i powoli wprowadza roztwór do worka, kierując ciecz po ściance lejka.
5. Po wprowadzeniu roztworu zamknąć drugi koniec worka klipsem nad poziomem cieczy, pozostawiając około 5 cm wolnej membrany.
6. Umieścić worek w zlewce tak, aby część zawierająca roztwór była całkowicie zanurzona. Zanotować czas rozpoczęcia doświadczenia jako t_0 i uruchomić stoper.
7. Sprawdzić poziom mianowanego roztworu $AgNO_3$ w biurecie. Jeżeli jest to konieczne, uzupełnić biuretę i ustawić poziom umożliwiający dokładny odczyt zużytej objętości.

3.2. Pobieranie próbek fazy zewnętrznej

1. Pierwszą próbkę pobrać po czasie wskazanym przez prowadzącego (w przykładowych danych: po 15 min).
2. Przed pobraniem próbki delikatnie unieść worek nad powierzchnię roztworu, a fazę zewnętrzną dokładnie wymieszać bagietką bez rozchlapywania.
3. Pobrać pipetą 5,00 cm^3 fazy zewnętrznej i przenieść do czystej kolby Erlenmeyera.
4. Dodać około 95 cm^3 wody destylowanej/dejonizowanej, tak aby objętość roztworu była około 100 cm^3, i wymieszać. Rozcieńczenie nie zmienia liczby moli Cl^- obecnych w pobranej próbce.
5. Dodać 4 krople roztworu K_2CrO_4 i ponownie wymieszać.

3.3. Oznaczanie chlorków metodą Mohra

1. Miareczkować próbkę mianowanym roztworem $AgNO_3$ przy ciągłym mieszaniu kolby.
2. W czasie miareczkowania powstaje biały osad AgCl. Punkt końcowy rozpoznać po pojawieniu się pierwszego trwałego pomarańczowo-ceglastego zabarwienia pochodzącego od Ag_2CrO_4.
3. Po osiągnięciu punktu końcowego natychmiast przerwać miareczkowanie i zapisać objętość zużytego $AgNO_3$.

4. Procedurę pobierania próbki i miareczkowania powtarzać w kolejnych punktach czasowych wskazanych przez prowadzącego.

5. Równolegle wykonać próbę zerową: zamiast 5,00 cm^3 fazy zewnętrznej użyć 5,00 cm^3 wody destylowanej/dejonizowanej, a następnie przygotować i miareczkować próbę w taki sam sposób jak próbkę badaną.

6. Po każdym miareczkowaniu roztwór przenieść do pojemnika oznaczonego „UTYLIZACJA".

Co rzeczywiście mierzymy?

W każdym punkcie czasowym oznaczamy stężenie Cl^- w fazie zewnętrznej. Przy założeniu, że jedynym źródłem Cl^- jest NaCl, stężenie Cl^- odpowiada stężeniu NaCl. Kolejne pobrania usuwają jednak część soli z układu, dlatego do całkowitego bilansu transportu trzeba doliczyć NaCl usunięty we wcześniejszych próbkach.

4. Opracowanie wyników

Krok 1. Korekta wyniku o próbę zerową

Dla każdego punktu czasowego od objętości $AgNO_3$ zużytej na próbkę odjąć objętość $AgNO_3$ zużytą na próbę zerową.

(1)	$V_k = Vpróbki - Vzerowej$

Krok 2. Obliczenie stężenia NaCl w fazie zewnętrznej

Reakcja strącania zachodzi w stosunku molowym 1:1:

$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl\downarrow$$

Przy założeniu, że źródłem jonów chlorkowych jest wyłącznie NaCl:

(2)	$c_t = \frac{cAgNO_3 \cdot V_k}{V_p}$

gdzie c_t – stężenie NaCl w fazie zewnętrznej, $cAgNO_3$ – stężenie titranta, V_k – skorygowana objętość $AgNO_3$, V_p – objętość pobranej próbki. W ilorazie objętości należy stosować te same jednostki.

Krok 3. Wyznaczenie aktualnej objętości fazy zewnętrznej

Ponieważ po pobraniu próbek roztwór nie jest uzupełniany, objętość fazy zewnętrznej maleje.

(3)	$V_t = V_0 - k \cdot V_p$

k oznacza liczbę próbek pobranych przed aktualnym pomiarem. Dla pierwszego punktu czasowego k = 0.

Krok 4. Obliczenie liczby moli NaCl aktualnie znajdującej się w zlewce

(4)	$n_t = c_t \cdot V_t$

W tym obliczeniu V_t należy wyrazić w dm^3 (L).

Krok 5. Obliczenie ilości NaCl usuniętego we wcześniejszych próbkach

Każda pobrana próbka usuwa z układu część NaCl. Dla punktu m:

(5)	$n_{us,m} = V_p \cdot \Sigma c_j \quad (j = 1 \ldots m-1)$

V_p należy wyrazić w dm^3. Sumuje się stężenia NaCl oznaczone we wszystkich próbkach pobranych przed rozpatrywanym punktem.

Krok 6. Wyznaczenie całkowitej ilości NaCl, która przeszła do fazy zewnętrznej

(6)	$ntransport = n_t + n_{us}$

Jest to suma ilości NaCl aktualnie obecnej w zlewce i ilości usuniętej wraz z wcześniejszymi próbkami.

Krok 7. Obliczenie liczby przetransportowanych jonów Cl^-

(7)	$$N(Cl^-) = ntransport \cdot N_a$$

Przyjąć $N_a = 6{,}022 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

Krok 8. Obliczenie początkowego ciśnienia osmotycznego roztworu NaCl w worku

(8)	$$\pi_0 = i \cdot c_0 \cdot R \cdot T$$

W obliczeniach dydaktycznych dla NaCl przyjąć i = 2. Jeżeli c jest wyrażone w mol/dm^3, a R = 8,314 J/(mol·K), wynik liczbowy otrzymuje się w kPa, ponieważ 1 J/dm^3 = 1 kPa.

Krok 9. Obliczenie ciśnienia osmotycznego fazy zewnętrznej

(9)	$$\pi zew,_t = i \cdot c_t \cdot R \cdot T$$

Wartość $\pi zew,_t$ opisuje ciśnienie osmotyczne, jakie w idealnym modelu van 't Hoffa odpowiada oznaczonemu stężeniu NaCl w fazie zewnętrznej.

Założenie modelowe

Dla NaCl przyjmujemy w obliczeniach i = 2, czyli pełną dysocjację i zachowanie idealne. Rzeczywiste roztwory elektrolitów mogą od tego modelu odbiegać. Ponieważ używana membrana dializacyjna przepuszcza małe jony, układ nie jest klasycznym osmometrem utrzymującym trwałą różnicę stężeń substancji nieprzenikającej.

5. Przykładowe obliczenia

Poniższe dane służą wyłącznie do pokazania sposobu opracowania wyników. Wartości liczbowe zostały celowo dobrane inaczej niż parametry stosowane podczas ćwiczenia, aby przykład objaśniał metodę obliczeń, a nie stanowił gotowego rozwiązania. W sprawozdaniu należy wykorzystać własne dane z karty pracy.

Parametr	Wartość
Początkowe stężenie NaCl w worku, c_0	0,100 mol/dm^3
Objętość roztworu NaCl w worku	20,00 cm^3
Początkowa objętość fazy zewnętrznej, V_0	500 cm^3
Objętość pobieranej próbki, V_p	5,00 cm^3
Stężenie $AgNO_3$, $cAgNO_3$	0,00200 mol/dm^3
Objętość $AgNO_3$ zużyta na próbę zerową	0,05 cm^3
Temperatura	25,0 °C = 298,15 K
Współczynnik van 't Hoffa, i	2
Stała Avogadra, N_a	$6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Stała gazowa, R	8,314 J/(mol·K)

5.1. Przykładowe dane z miareczkowania

Czas [min]	V($AgNO_3$) – próbka [cm^3]	V($AgNO_3$) – próba zerowa [cm^3]	V_k [cm^3]
15	1,30	0,05	1,25
30	2,55	0,05	2,50
45	3,80	0,05	3,75
60	5,05	0,05	5,00

5.2. Przykład obliczeń dla 60 min

Skorygowana objętość $AgNO_3$:

$$V_k = 5{,}05 - 0{,}05 = 5{,}00\ cm^3$$

Stężenie NaCl w fazie zewnętrznej:

$$c_{60} = \frac{0{,}00200 \cdot 5{,}00}{5{,}00} = 0{,}00200\ mol/dm^3$$

Aktualna objętość fazy zewnętrznej: przed pobraniem próbki po 60 min pobrano wcześniej trzy próbki.

$$V_{60} = 500 - 3 \cdot 5 = 485\ cm^3 = 0{,}485\ dm^3$$

Liczba moli NaCl aktualnie obecna w zlewce:

$$n_{60} = 0{,}00200 \cdot 0{,}485 = 0{,}000970\ mol$$

NaCl usunięty we wcześniejszych próbkach:

$$n_{us} = 0{,}005 \cdot (0{,}00050 + 0{,}00100 + 0{,}00150) = 0{,}0000150\ mol$$

Całkowita ilość NaCl, która przeszła do fazy zewnętrznej:

$$ntransport = 0{,}000970 + 0{,}0000150 = 0{,}000985\ mol$$

Liczba jonów chlorkowych:

$$N(Cl^-) = 0{,}000985 \cdot 6{,}022 \times 10^{23} = 5{,}93 \times 10^{20}$$

Ciśnienie osmotyczne fazy zewnętrznej:

$$\pi zew, 60 = 2 \cdot 0{,}00200 \cdot 8{,}314 \cdot 298{,}15 = 9{,}92\ kPa$$

5.3. Podsumowanie przykładowych wyników

Czas [min]	c(NaCl) [mol/dm³]	V_t [dm³]	ntransport [mol]	N(Cl^-)	πzew [kPa]
0	0	0,500	0	0	0
15	0,00050	0,500	0,0002500	$1{,}51 \times 10^{20}$	2,48
30	0,00100	0,495	0,0004975	$3{,}00 \times 10^{20}$	4,96
45	0,00150	0,490	0,0007425	$4{,}47 \times 10^{20}$	7,44
60	0,00200	0,485	0,0009850	$5{,}93 \times 10^{20}$	9,92

6. Opracowanie graficzne i interpretacja

- sporządzić wykres c(NaCl) = f(t) dla fazy zewnętrznej;
- sporządzić wykres N(Cl^-) = f(t) lub ntransport = f(t);
- sporządzić wykres πzew = f(t);
- ocenić kierunek i tempo zmian stężenia NaCl w fazie zewnętrznej;
- wyjaśnić, dlaczego na podstawie tego doświadczenia obserwujemy dyfuzję NaCl przez membranę, a ciśnienie osmotyczne jest wielkością obliczaną;
- wskazać czynniki mogące wpływać na wynik: wyznaczenie punktu końcowego miareczkowania, próba zerowa, dokładność pobierania próbek, mieszanie, temperatura, stan membrany i stężenie titranta.

7. Schemat opracowania wyników

Krok	Co wyznaczyć	Wynik / zależność
1	Dane surowe	t, V_{AgNO_3} próbki, V_{AgNO_3} próby zerowej
2	Korekta próby zerowej	V_k = Vpróbki − Vzerowej
3	Stężenie NaCl	c_t z miareczkowania $AgNO_3$
4	Aktualna objętość fazy zewnętrznej	$V_t = V_0 - k \cdot V_p$
5	NaCl aktualnie w zlewce	$n_t = c_t \cdot V_t$
6	NaCl usunięty w próbkach	$n_{us} = V_p \cdot \Sigma c_j$
7	Całkowity transport	ntransport = $n_t + n_{us}$
8	Liczba jonów	N(Cl^-) = ntransport·N_a
9	Ciśnienie osmotyczne	π = i·c·R·T

8. Literatura

- Atkins P., Jones L., Laverman L., Chemia ogólna, PWN, Warszawa 2020 – temat 5F „Właściwości koligatywne", szczególnie 5F.2 „Osmoza"; pomocniczo zagadnienia reakcji strącania.
- Jones L., Atkins P., Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje, PWN, Warszawa 2004 – rozdz. 12 „Właściwości roztworów", szczególnie 12.11 „Sposoby wyrażania stężenia" i 12.14 „Osmoza"; pomocniczo rozdz. 3 dotyczący reakcji strącania i równań jonowych.