

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie B19

Konduktywność – przewodnictwo elektryczne roztworów elektrolitów

Część 1. Wyznaczanie przewodności elektrycznej właściwej elektrolitów

Roztwór	Przewodność właściwa κ [$\mu\text{S}/\text{cm}$] (Średnia \pm Odchylenie Standardowe)	Temperatura t [$^{\circ}\text{C}$]
H ₂ O (destylowana)		
1% NaCl		
.....% NaCl		
.....% NaCl		
.....		
.....		

Równanie dopasowanej prostej:....., $r =$

κ soli fizjologicznej (.....%NaCl):..... [$\mu\text{S}/\text{cm}$], Δx wzgl =(%)

Część 2. Wyznaczanie zależności przewodności elektrycznej właściwej od temperatury

Nr	Stężenie NaCl [%]	Równanie dopasowanej prostej	r
1			
2			

CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest badanie zjawiska przewodzenia prądu przez wodne roztwory elektrolitów. Przewodność właściwa κ jest miarą przewodnictwa elektrycznego roztworów elektrolitów i dla określonego rodzaju elektrolitu zależy od stężenia i temperatury. W ćwiczeniu badana będzie zależność przewodnictwa jonowego od temperatury i stężenia roztworu mocnego elektrolitu – chlorku sodu (NaCl).

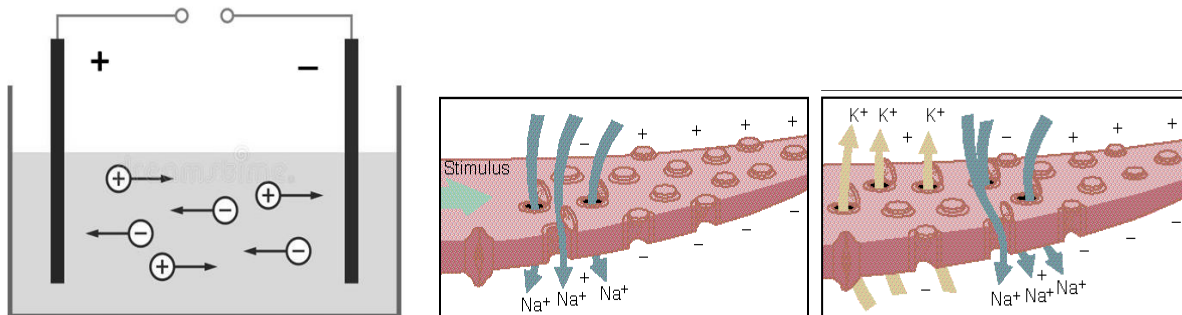
TEORIA

Przewodnictwo jonowe.

Zdolność materii do przewodzenia prądu jest szeroko wykorzystywana w naukach technicznych, biologicznych, farmaceutycznych, środowiskowych i biomedycznych. Z przepływem prądu, czyli uporządkowanym ruchem ładunków elektrycznych, mamy do czynienia zarówno w naturze (np.: wyładowania atmosferyczne, czy przewodzenie impulsów nerwowych przez komórki nerwowe), jak również w obwodach i instalacjach elektrycznych w naszych domach.

Rozróżniamy dwa typy przewodnictwa: **elektronowe i jonowe**. W przypadku przewodnictwa elektronowego nośnikami ładunku są elektrony. Taki typ przewodnictwa występuje w przewodnikach metalicznych (metale, półprzewodniki, nadprzewodniki). **W przypadku przewodnictwa jonowego nośnikami ładunku są jony (zarówno kationy, jak i aniony)**. Ruch jonów elektrolitu w polu elektrycznym (wywołany różnicą potencjałów) przedstawiono na Rysunku 1. Przewodnictwo jonowe występuje w przewodnikach elektrolitycznych, do których należą roztwory soli, kwasów i zasad i sole w stanie stopionym lub stałym. Substancje te w roztworach wodnych ulegają dysocjacji i występują w postaci jonów. Elektrolity dzielimy na elektrolity mocne i słabe:

- Elektrolity **mocne** (np. NaCl, KCl, HNO₃) ulegają w roztworze wodnym całkowitej dysocjacji (w roztworze obecna SA tylko jony) i efektywnie przewodzą prąd
- Elektrolity **słabe** (np. ocet CH₃COOH, woda z kranu) związki rozpuszczone ulegają częściowej dysocjacji i słabo przewodzą prąd
- Wyróżnić możemy również nie-elektrolity, których roztwory nie przewodzą prądu (czysta woda, roztwór cukru)



Rys. 1. Przewodnictwo jonowe elektrolitu. Ruchu jonów w polu elektrycznym umożliwia przewodzenie prądu przez roztwór elektrolitu. Propagacja impulsów nerwowych: na skutek wystąpienia bodźca otwierają się kanały jonowe obecne w błonie komórkowej komórek nerwowych i następuje przepływ jonów sodu (Na⁺) i potasu (K⁺) w poprzek błony komórkowej.

Przewodnictwo elektryczne w biofizyce odnosi się do zdolności materii biologicznej, takich jak tkanki, komórki i płyny ustrojowe, do przewodzenia prądu elektrycznego. Właściwość ta wynika z obecności w układach biologicznych jonów, takich jak **sód (Na⁺)**, **potas (K⁺)**, czy **wapń (Ca²⁺)**. Ruch tych jonów jest niezbędny dla podstawowych **funkcji fizjologicznych**, takich jak przekazywanie informacji w układzie nerwowym (impulsy nerwowe), praca mięśni, czy skurcze serca. Przepływ jonów przez wyspecyfikowane białka błonowe (kanały jonowe) komórki nerwowej przedstawiono na Rysunku 1. Zaburzenia równowagi elektrolitowej mogą zakłócać prawidłowe przewodnictwo elektryczne i powodować stany patologiczne takie jak na przykład arytmie serca.

Zjawisko przewodnictwa elektrycznego elektrolitów jest wykorzystywane również w **diagnostyce medycznej i terapii**. Przykładami są: elektrokardiografia (EKG) do oceny czynności serca, czy jonoforeza – metoda elektroterapeutyczna pozwalająca na bezinwazyjne wprowadzenie leków w postaci jonów przez skórę na skutek działania pola elektrycznego. Pomiary przewodnictwa jonowego są też jedną z metod analitycznych stosowaną w trakcie produkcji leków (śledzenie postępu reakcji, czy krystalizacji substancji czynnej) oraz w ocenie **jakości (czystości) wody**, zarówno w **laboratoriach badawczych i farmaceutycznych**, jak i w **badaniach środowiskowych**.

Przewodność elektryczna właściwa (konduktywność)

Zgodnie prawem Ohma przepływający prąd pokonuje opór ośrodka, który nazywamy oporem elektrycznym R . Opór elektryczny zależy od własności geometrycznych przewodnika (l – długość, s – powierzchnia) i jego oporu właściwego ρ :

$$R = \frac{l}{s} \rho \quad [\Omega]$$

Przewodność elektryczna L roztworu jest odwrotnością jego oporu. Jest to podstawowa wielkość opisująca ruch jonów w roztworach elektrolitów. Jednostką przewodności jest Simens ($1S = 1\Omega^{-1}$).

$$L = \frac{1}{R} = \frac{s}{l} \frac{1}{\rho} \quad [S]$$

Przewodność elektryczna właściwa κ jest odwrotnością oporu właściwego. Jednostką SI przewodności elektrycznej właściwej jest Simens na metr [Sm^{-1}]. Najczęściej jednak wartości przewodności właściwej κ podaje się w $\mu S \text{ cm}^{-1}$ ($10^{-6}S \cdot 10^2m^{-1}$).

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad [Sm^{-1}]$$

Przewodność L roztworu umieszczonego między elektrodami o powierzchni s oddalonymi od siebie o odległość l wynosi zatem:

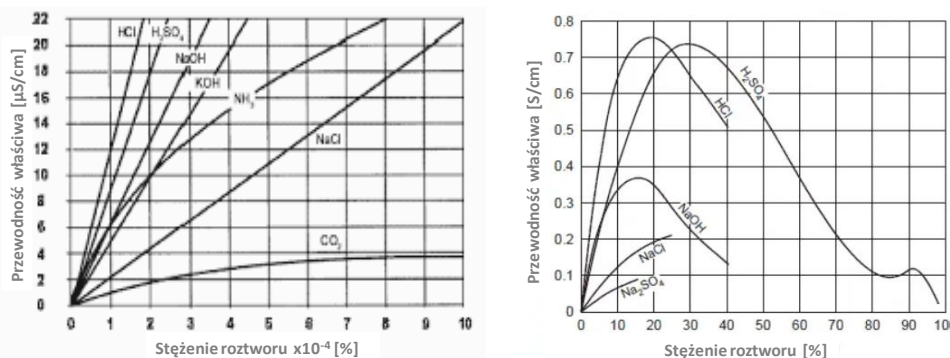
$$L = \frac{\kappa s}{l} = \frac{\kappa}{k} \quad [S]$$

gdzie $k = \frac{l}{s} [m^{-1}]$ jest **stałą naczynka konduktometrycznego** (jest to wartość stała dla określonego urządzenia pomiarowego).

Przewodność elektryczna właściwa elektrolitów mieści się w zakresie $< 1 S/cm$ i jest dużo niższa niż metali ($< 10^4$ - $10^6 S/cm$). Jest to wynikiem mniejszej liczby nośników (jonów) i mniejszej ich ruchliwości w ośrodku w porównaniu do elektronów, które są nośnikami ładunku w przewodnikach metalicznych.

Przewodność właściwa κ zależy od rodzaju elektrolitu, jego stężenia, temperatury. Poniżej omówiono pokrótce czynniki wpływające na przewodność elektryczną:

- **Stężenie:** Dla niskich stężeń wzrost stężenia jonów prowadzi do wyższego przewodnictwa elektrycznego i jest w przybliżeniu liniowy. Jest to związane ze zwiększaniem się liczby nośników ładunku na jednostkę roztworu. Jednak dla dużych stężeń elektrolitów wraz z jego zwiększaniem, z powodu oddziaływań między jonami i zmniejszania się ich ruchliwości oraz stopnia dysocjacji, przewodność po początkowym wzroście zaczyna maleć (Rys 2).



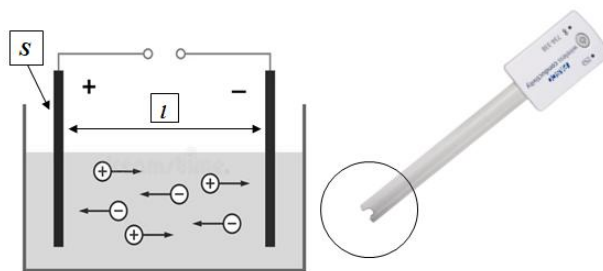
Rys. 2. Zależność przewodności właściwej od stężenia dla niskich i wysokich stężeń roztworów elektrolitów.

- **Temperatura:** Temperatura wpływa na stopień dysocjacji, ruchliwość jonów i lepkość rozpuszczalnika. Wraz ze wzrostem temperatury przewodność elektryczna roztworu wzrasta.
- **Ruchliwość jonów:** Ruchliwość jonów zależy od ich wielkości, ładunku i lepkości rozpuszczalnika. Generalnie większy rozmiar jonu i większa lepkość rozpuszczalnika zmniejszają przewodnictwo.
- **Ładunek jonów:** Jony o wyższym ładunku poruszają się szybciej w roztworze i przyczyniają się do wyższego przewodnictwa.

W przypadku małych stężeń mocnych elektrolitów przewodność właściwa rośnie niemal liniowo wraz ze wzrostem stężenia. W przypadku roztworu NaCl, który jest mocnym elektrolitem, badania wskazują, że zależność przewodności elektrycznej od stężenia można z dobrym przybliżeniem przyjąć jako liniową w zakresie stężeń do 3-5%.

Budowa konduktometru

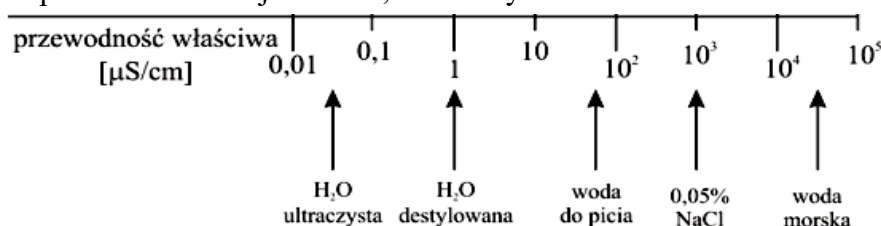
Konduktometria jest metodą, która polega na pomiarze przewodnictwa jonowego roztworu znajdującego się między dwoma elektrodami. Pomiaru dokonuje się z użyciem **naczynka konduktometrycznego lub czujnika pomiarowego**. Naczynko/czujnik składa się z dwóch powierzchni metalicznych (elektrod) o zadanej powierzchni S , które są umieszczone w określonej odległości od siebie l (Rys. 3). Urządzenie przykłada różnicę potencjałów pomiędzy elektrodami i dokonuje pomiaru natężenia prądu elektrycznego który dzięki ruchowi jonów płynie w obwodzie. Dla danego naczynka pomiarowego lub czujnika powierzchnia elektrod i odległość między nimi są stałe (stała naczynka/czujnika konduktometrycznego).



Rys. 3. Schemat działania konduktometru.

Konduktometria bezpośrednia

Konduktometria bezpośrednia jest metodą, która umożliwia **określenie stężenia substancji** na podstawie pomiaru przewodnictwa właściwego elektrolitów. Metoda ta działa tylko w przypadku prostych elektrolitów, dla których istnieje liniowa zależność między przewodnością a stężeniem. Polega na wykonaniu **krzywej kalibracyjnej** (linii prostej) w oparciu o wyznaczone wartości przewodności dla rosnących stężeń elektrolitu. Następnie mierząc przewodność roztworu tego elektrolitu o nieznanym stężeniu można wykorzystując krzywą kalibracyjną określić jego stężenie. Jest to metoda nieselektywna, co oznacza, że nie można przy jej pomocy określić stężenia określonego elektrolitu w mieszaninie. Metoda ta znalazła zastosowanie m.in. w przemysłowej analizie roztworów. Jest ona często wykorzystywana do kontroli procesów technologicznych, w tym w technologii oczyszczania wody. Wartości przewodności właściwych dla wody przedstawiono na Rys. 4. Ultraczysta woda wykazuje bardzo małe przewodnictwo; rośnie ono gwałtownie po rozpuszczeniu w niej kwasów, zasad czy soli.



Rys. 4. Przewodność właściwa dla różnych roztworów wodnych.

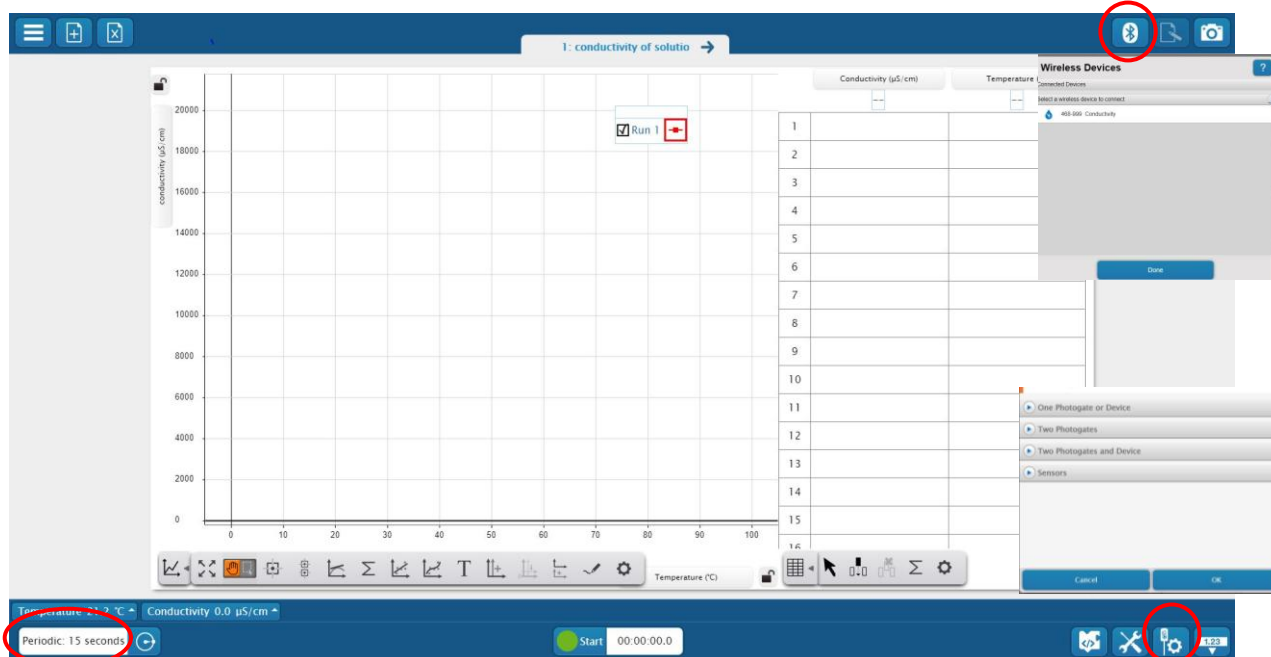
WYKONANIE ĆWICZENIA

POTRZEBNE WYPOSAŻENIE (Zdj. 1)	<ul style="list-style-type: none"> Zlewka
<ul style="list-style-type: none"> PASCO universal interface 	<ul style="list-style-type: none"> Mieszadło z termostatem i termoparą
<ul style="list-style-type: none"> Konduktometr 	<ul style="list-style-type: none"> Mieszadełko magnetyczne
<ul style="list-style-type: none"> Termopara pomiarowa 	<ul style="list-style-type: none"> Cylinder miarowy
POTRZEBNE ODCZYNNIKI	<ul style="list-style-type: none"> 1% NaCl, woda destylowana

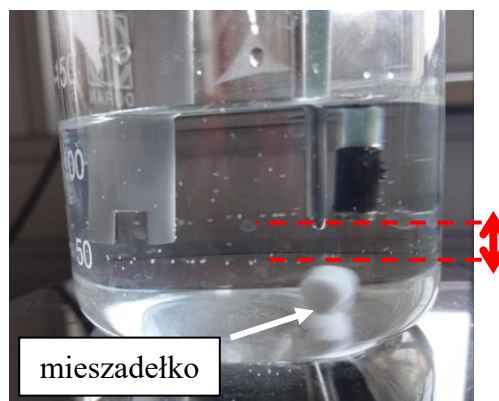
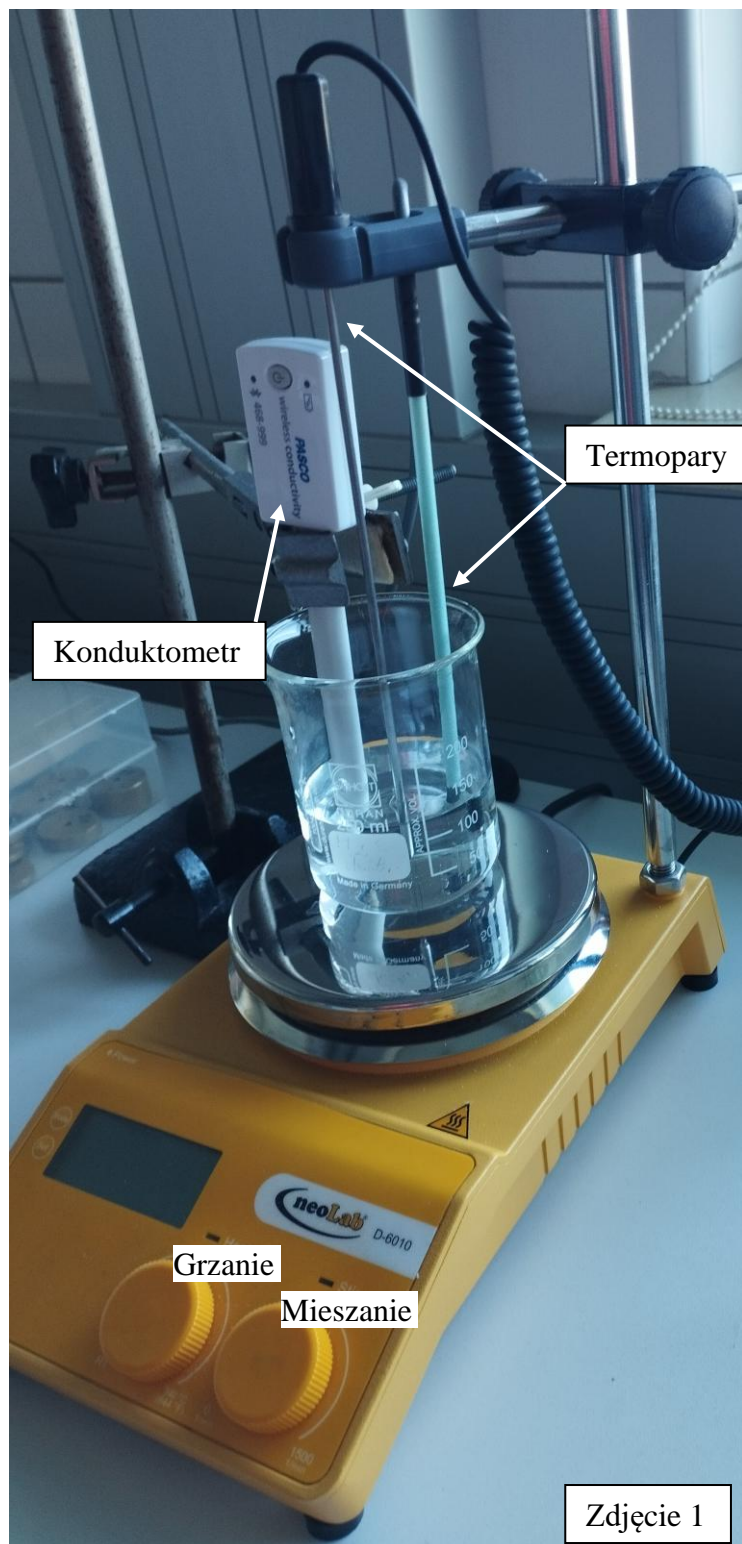
W przeprowadzonym doświadczeniu konduktometr będzie mierzył przewodnictwo właściwe roztworu, a termopara będzie dokonywać pomiaru temperatury roztworu. Program *PASCO* zarejestruje jednocześnie wartości przewodnictwa i temperatury elektrolitu oraz wykreśli zależność przewodnictwa właściwego od temperatury oraz od stężeń badanych roztworów.

PRZYGOTOWANIE UKŁADU POMIAROWEGO

- Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu – przy Twojej lewej nodze, gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć), przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść.
- Włącz w następującej kolejności: (1) PASCO universal interface, a następnie (2) komputer.
- Termopara pomiarowa powinna być podłączona do PASCO universal interface, do kanału analogowego B (Zdjęcie obok).
- Włącz konduktometr. Jeśli konduktometr jest w trybie pracy miga czerwona dioda.
- Aby uruchomić program wybierz na komputerze profil **B19**, a następnie na pulpicie ikonę **b19**. Otworzy się okno wykresu pokazane na zdjęciu poniżej. Aby przejść między zakładkami należy użyć strzałek obok nazwy zakładki.
- Jeśli program nie polaczy się automatycznie z konduktometrem, wciśnij przycisk **Bluetooth** i w oknie „Wireless Devices” wybierz **468-999 Conductivity**. W przypadku termopary, po wciśnięciu przycisku „Właściwości sensorów” wybierz „Sensors” i w zakładce dla „Kanału analogowego B” wybierz „Temperatura” (Zdjęcie poniżej).
- Okres próbkowania (Periodic) powinien być ustawiony na 15 sekund.



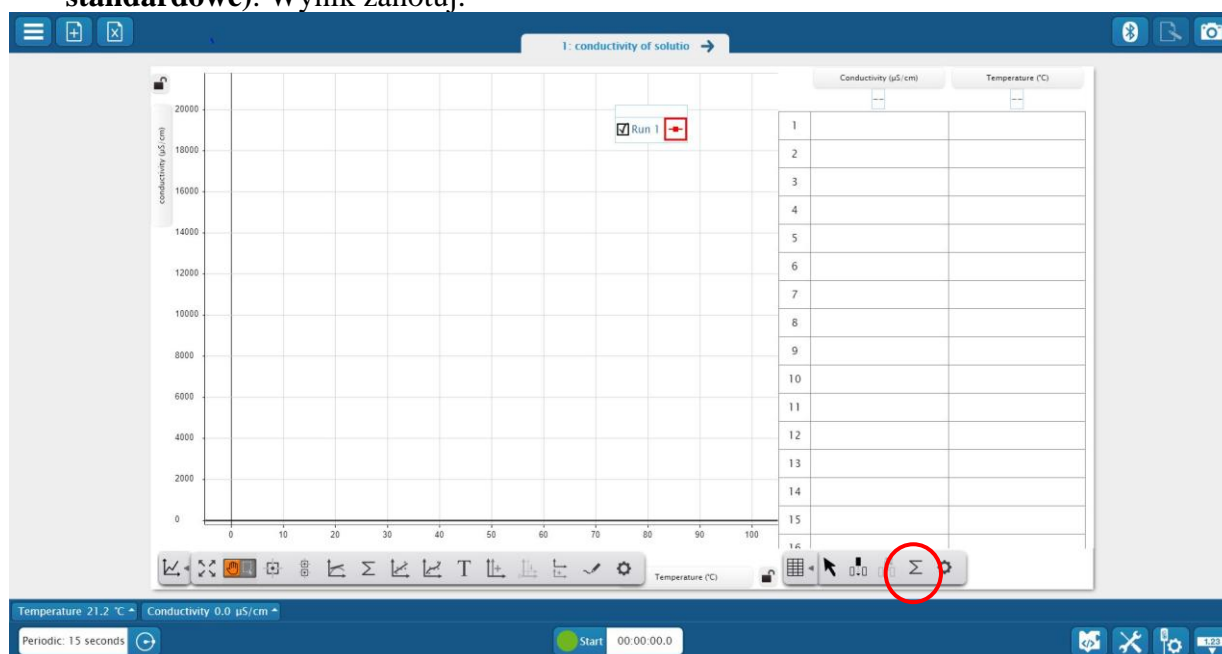
8. Na stoliku mieszadła magnetycznego ustaw zlewkę o pojemności 200 ml, na jej dnie delikatnie połóż mieszadełko (Rysunek 1).
9. Sprawdź ramię statywu z termoparami. Jedna termopara (srebrna) jest połączona z mieszadłem i pozwala na termostatowanie roztworu (utrzymywanie stałej zadanej temperatury). Druga termopara (zielonkawa) rejestruje temperaturę w roztworze i przesyła dane pomiarowe do komputera.
10. Układ pomiarowy jest gotowy do właściwych pomiarów.



PRZEBIEG I REJESTRACJA POMIARÓW

I. ZALEŻNOŚĆ PRZEWODNOŚCI WŁAŚCIWEJ OD STĘŻENIA

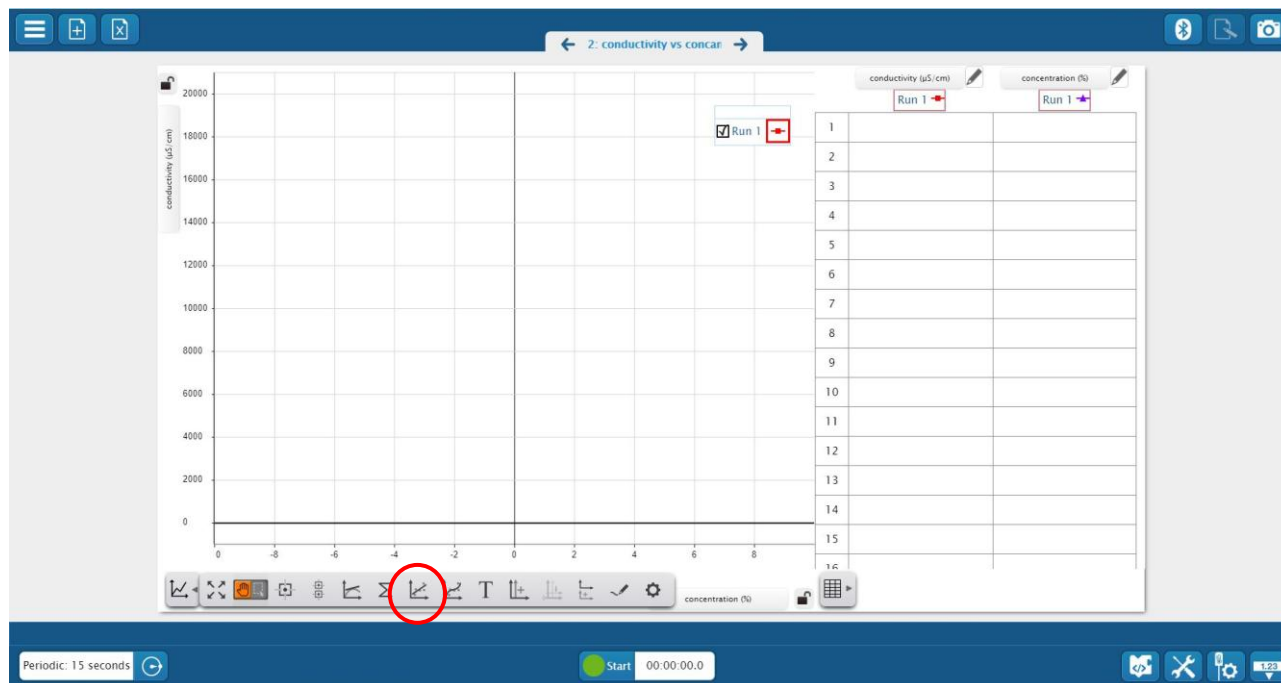
1. Ustaw w programie zakładkę 1: *conductivity of solution*.
2. Do szklanej zlewki o pojemności 200 ml nalać 70 ml wody destylowanej. Odmierzyć odpowiednią objętość wody za pomocą cylindra miarowego.
3. Ostrożnie obniż uchwyt z termoparami, tak aby końcówki były całkowicie zanurzone (około 1 cm w wodzie), wsunąć konduktometr w drugi uchwyt. Sprawdź, czy końcówka konduktometru z elektrodami jest całkowicie zanurzona w wodzie. Zadbaj, aby urządzenia pomiarowe nie dotykały ścianek zlewki i siebie nawzajem, oraz (**WAŻNE!**) aby była przestrzeń między nimi i mieszadłem (Zdjęcie 1).
4. Włącz mieszanie. Ustaw wartość częstotliwości obrotów na **400**. Nie włączaj grzania!
5. Wciśnij przycisk **Start**. Program dokona 3 pomiarów **przewodności (conductivity)** i **temperatury** co 15 sekund, wyniki zostaną wyświetlone na wykresie i w tabeli na ekranie (Zdjęcie poniżej). Policz średnią z pomiarów wraz z odchyleniem standardowym: zaznacz pod tabelą znak Σ i wybierz odpowiednio: **Mean (średnia)** i **Standard Deviation (odchylenie standardowe)**. Wynik zanotuj.



6. Wylej wodę ze zlewki i wlej do niej za pomocą cylindra 70 ml 1%NaCl. Powtórz czynności opisane w **pkt. 5**.
7. Dolej do zlewki za pomocą cylindra 70 ml wody destylowanej. Oblicz stężenie roztworu i wykonaj kroki opisane w **pkt. 5**. Wyniki zanotuj.
8. Dolej do zlewki kolejne 70 ml wody destylowanej. Oblicz stężenie roztworu i wykonaj kroki opisane w **pkt. 5**. Wyniki zanotuj.
9. Wyłącz mieszadło.
10. Wyjmij mieszadło. Wylej roztwór ze zlewki do zlewu, przepłucz zlewkę wodą kranową 2 razy – trzeci raz przepłucz około 50 ml wody destylowanej. Przemyj urządzenia pomiarowe – mieszadło i końcówki termopar, konduktometru wodą destylowaną poprzez zanurzenie ich w 100 ml wody destylowanej na około minutę (plastikowa zlewka).
11. Po umyciu można zmierzyć przewodność np. przyniesionej przez siebie wody mineralnej, wody z kranu, lub np. roztworu cukru. (kroki **2, 3, 5**). Za każdym razem przepłucz zlewkę i urządzenia pomiarowe jak opisano w **pkt. 10**. Wyniki zanotuj.
12. Przejdź do zakładki 2: *conductivity vs concentration* i przeprowadź analizę danych.

ANALIZA DANYCH – CZĘŚĆ I

1. W tej części ćwiczenia wykorzystujemy obliczone i zarejestrowane dane pomiarowe: stężenia wody destylowanej, roztworów NaCl i wyznaczone dla nich przewodności właściwe. Dane wpiszesz w tabelę w zakładce 2 programu (Zdjęcie poniżej). Zanim wpiszesz dane w okienku **serii (Run)** wybierz **Nowe (New)**. Automatycznie na wykresie pojawią się odpowiadające wartościom punkty.



2. Sprawdź, czy zależność przewodności właściwej od stężenia w badanym zakresie stężeń jest liniowa. W tym celu do danych eksperymentalnych dopasuj linię trendu:
 - Wybrać przycisk „**Zależność liniowa**” (Rysunek powyżej).
 - Odczytaj z wykresu **wyznaczone równanie linii** wraz ze współczynnikiem korelacji **r**. **r** mieści się w zakresie od -1 do 1. Im bardziej **r** jest oddalone od zera, tym silniejsza jest liniowa zależność między dwiema zmiennymi. Jeśli **r** jest dodatnie, to wraz ze wzrostem jednej zmiennej wzrasta również druga zmienna. Jeśli **r** jest ujemne, to wraz ze wzrostem jednej zmiennej, druga maleje.
 - Jeśli dla dopasowanej linii o równaniu **y=mx+b** uzyskamy wynik współczynnika **r >0,95**, możemy stwierdzić liniową (wprost proporcjonalną) zależność przewodnictwa od stężenia elektrolitu.
3. Znając równanie dla dopasowanej prostej możemy wyznaczyć przewodnictwo roztworu o zadanym stężeniu (pod warunkiem, że jego stężenie mieści się w zakresie mierzonych wcześniej stężeń):
 - Sprawdź stężenie soli fizjologicznej w Internecie, określ czy jest w zakresie badanych wcześniej stężeń.
 - Wyznacz wartość przewodności właściwej soli fizjologicznej, korzystając z wyznaczonego równania.
 - Porównaj uzyskany wynik z wartością podaną w źródłach naukowych¹. Oblicz błąd bezwzględny i błąd względny pomiaru przewodności właściwej soli fizjologicznej:

Błąd bezwzględny (Δx) to różnica między wartością rzeczywistą (**x**) a wartością otrzymanego wyniku (**x_i**).

$$\Delta x = |x - x_i|$$

¹ Przewodność właściwa soli fizjologicznej $\kappa=14.5$ mS/cm (22°C)

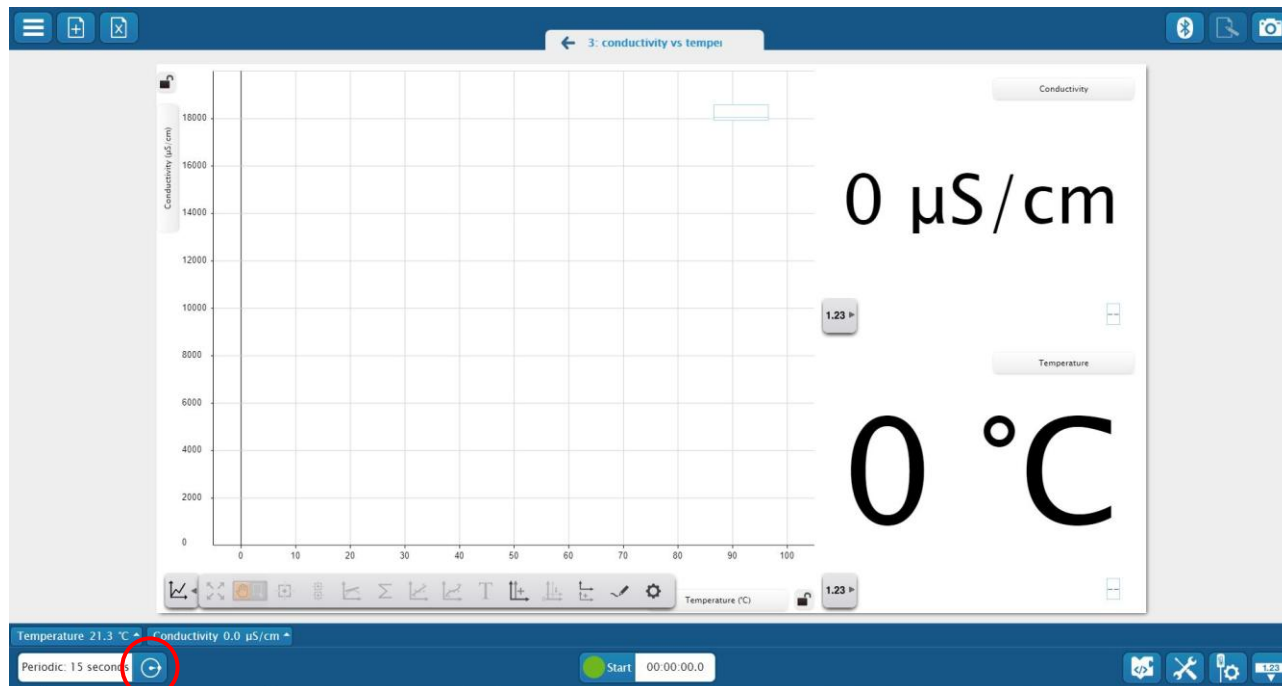
Błąd względny (Δx_{wzgl}) to stosunek błędu bezwzględnego (Δx) do wartości rzeczywistej (x).

$$\Delta x_{\text{wzgl}} = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

Błąd względny jest wartością niemianowaną. Wyrażony w procentach ułatwia porównanie wielkości błędów pomiędzy sobą.

II. ZALEŻNOŚĆ PRZEWODNOŚCI WŁAŚCIWEJ OD TEMPERATURY

1. Przejdź do zakładki 3: *conductivity vs temperature* (Zdjęcie poniżej).



- Wlej do zlewki 50 ml 1% NaCl i 50 ml wody destylowanej, wrzuć ostrożnie mieszadło, wprowadź termopary i konduktometr.
- W programie w okienku **Periodic** (zdjęcie powyżej) zmień ustawienia dla zakończenia pomiaru (**Stop Condition**) z **Time Based** na **None**. To umożliwi ręczne wyłączenie pomiaru, gdy zostanie osiągnięta temperatura końcowa.
- Włącz mieszadło – ustaw prędkość obrotów **400**, włącz grzanie – ustaw temperaturę **35°C** i jednocześnie włącz w programie przycisk **Start**.
- Program będzie rejestrował automatycznie co 15 sekund temperaturę i przewodność właściwą (mierzone wartości są widoczne po prawej stronie ekranu i na wykresie). Kontynuuj pomiary, aż do osiągnięcia temperatury **35°C**.
- Zakończ pomiary wciśnij przycisk **Stop**, **wyłącz grzanie**.
- Wykonaj analizę danych
- Umyj zlewkę i urządzenia pomiarowe jak opisano w **pkt. 10 cz. 1 ćwiczenia**.
- Wykonaj kroki 2-7 dla innego (wybranego przez Ciebie) stężenia roztworu NaCl.
- Wyłącz mieszadło, konduktometr.
- Wyłącz interfejs i komputer, wciśnij czerwony przycisk na panelu sterującym stołu.

ANALIZA DANYCH – CZĘŚĆ II

- Oceń jakiego typu zależność występuje między przewodnością a temperaturą. Postępuj jak opisano w ANALIZA DANYCH – CZĘŚĆ 1, pkt. 1. Wykonaj sprawdzenie dla obu pomiarów. Wyniki zanotuj w Tabeli.

PYTANIA

1. Jaka jest zależność przewodności właściwej roztworu NaCl od stężenia? Uzasadnij odpowiedź.
2. Czy możliwe było wyznaczenie przewodności soli fizjologicznej z zadowalającą dokładnością?
3. W jaki sposób przewodność zależy od temperatury? Jakie znaczenie może mieć to zjawisko w praktyce? Czy stężenie elektrolitu ma wpływ na tę zależność - jaka była różnica między nachyleniami (m) dopasowanych linii?