

## Problem komputerowy Nr 3.2.07 „Charakterystyka napięciowo-prądowa ogniwa”

### I. Z pracowni fizycznej.

Wykonano doświadczenie, **którego celem** jest zbadanie charakterystyki napięciowo-prądowej ogniwa, porównanie wyników z przewidywaniami teoretycznymi oraz wyznaczenie siły elektromotorycznej (SEM)  $\varepsilon$  i oporu wewnętrznego  $r$  tego ogniwa (przypomnij sobie te pojęcia, omówione w par. 3.2.1 i 3.2.7 e-podręcznika).

### Przewidywania teoretyczne.

Drugie prawo Kirchhoffa (patrz par. 3.2.8 e-podręcznika), zastosowane do zamkniętego obwodu na rys. 1, pozwala zapisać dwa równania, przewidujące wskazania każdego z mierników:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad \text{oraz} \quad U = R \cdot I$$

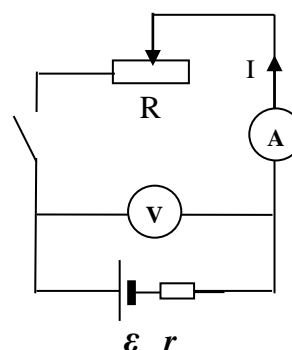
Po wyeliminowaniu z nich oporu  $R$ , który w każdym pomiarze jest inny, uzyskujemy:

$$U = \varepsilon - r \cdot I \quad (1)$$

Związek ten opisuje charakterystykę napięciowo-prądową ogniwa, czyli zależność napięcia  $U$  podawanego do obwodu przez ogniwo od natężenia prądu  $I$ , czerpanego z tego ogniwa. Jest to zależność liniowa, o postaci  $y = a \cdot x + b$ , której współczynnik wolny ‘ $b$ ’ jest równy SEM  $\varepsilon$ , zaś współczynnik kierunkowy ‘ $a$ ’ jest równy (z dokładnością do znaku) oporowi wewnętrznemu  $r$ .

**Zmontowano obwód** (rys. 1.) składający się z:

- ogniwa (np. bateria płaska „3R12” o nominalnej sile elektromotorycznej 4,5 V);
- potencjometru  $R$  (o regulowanym oporze w zakresie do 30  $\Omega$ );
- amperomierza (analogowego; w doświadczeniu wykorzystano dwa jego zakresy: do 0,6 A z podziałką co 0,01 A oraz do 3 A z podziałką co 0,05 A, klasa przyrządu na obu zakresach wynosi 2,0);
- woltomierza (analogowego, o zakresie do 6 V, klasie 1,5, z podziałką co 0,1 V i oporze wewnętrznym 6 k $\Omega$ );
- wyłącznika.



Rys. 1. Obwód do badania charakterystyki  $U(I)$  ogniwa [ $\varepsilon$ ;  $r$ ]

### Przebieg i wyniki pomiarów.

W doświadczeniu nastawiono kilkanaście różnych położenia potencjometru, nie notując przy tym wartości jego oporu. Dla każdego położenia zamknięto na krótki czas obwód, odczytano wskazania mierników, po czym obwód otwarto (takie postępowanie pozwala zminimalizować wyczerpywanie się baterii, co mogłoby zmienić jej SEM i opór wewnętrzny w trakcie pomiarów). Uzyskane wyniki pomiarów przedstawia poniższa tabela. Podano w niej (i zaznaczono różnicą w odcieniu koloru) dwa odczyty dla tego położenia potencjometru, w którym dokonano zmiany zakresu amperomierza.

|         |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I$ [A] | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,27 | 0,30 | 0,35 | 0,41 | 0,51 |
| $U$ [V] | 4,5  | 4,5  | 4,4  | 4,3  | 4,2  | 4,2  | 4,1  | 4,0  |
| $I$ [A] | 0,57 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,90 | 1,15 | 1,50 | 2,25 |

U [V] 4,0 3,9 4,0 3,8 3,7 3,4 3,1 2,3



## II. W pracowni informatycznej.

### Analiza danych z pomiaru.

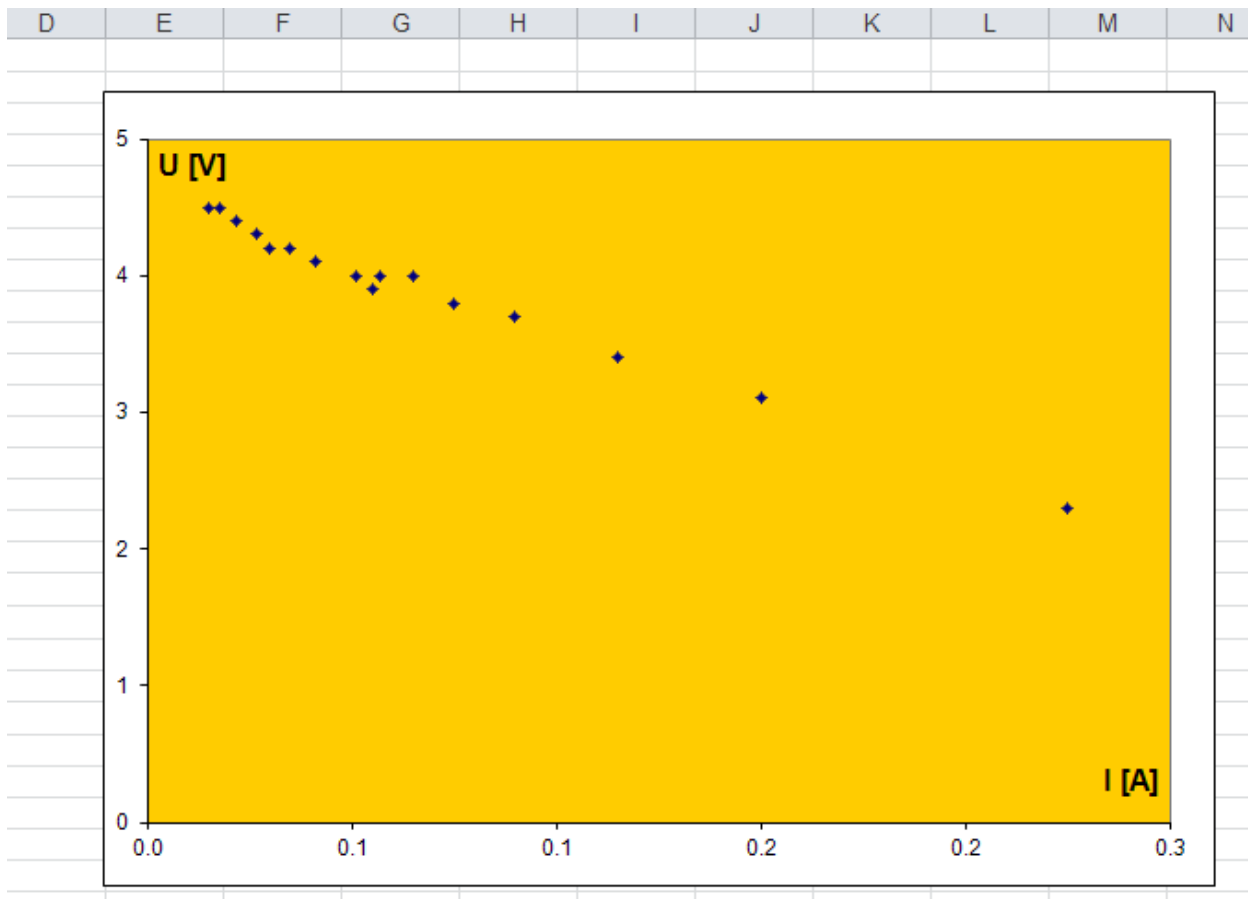
1. W arkuszu przygotuj tabelę

|    | A | B     | C     | D |
|----|---|-------|-------|---|
| 1  |   |       |       |   |
| 2  |   | I [A] | U [V] |   |
| 3  |   |       |       |   |
| 4  |   |       |       |   |
| 5  |   |       |       |   |
| 6  |   |       |       |   |
| 7  |   |       |       |   |
| 8  |   |       |       |   |
| 9  |   |       |       |   |
| 10 |   |       |       |   |
| 11 |   |       |       |   |
| 12 |   |       |       |   |
| 13 |   |       |       |   |
| 14 |   |       |       |   |
| 15 |   |       |       |   |
| 16 |   |       |       |   |
| 17 |   |       |       |   |
| 18 |   |       |       |   |
| 19 |   |       |       |   |

2. Wpisz wyniki pomiarów w dwóch kolumnach: I oraz U. W tabeli umieszczono przykładowe wyniki pomiarów.

|    | A | B     | C     | D |
|----|---|-------|-------|---|
| 1  |   |       |       |   |
| 2  |   | I [A] | U [V] |   |
| 3  |   | 0,15  | 4,5   |   |
| 4  |   | 0,18  | 4,5   |   |
| 5  |   | 0,22  | 4,4   |   |
| 6  |   | 0,27  | 4,3   |   |
| 7  |   | 0,30  | 4,2   |   |
| 8  |   | 0,35  | 4,2   |   |
| 9  |   | 0,41  | 4,1   |   |
| 10 |   | 0,51  | 4,0   |   |
| 11 |   | 0,57  | 4,0   |   |
| 12 |   | 0,55  | 3,9   |   |
| 13 |   | 0,65  | 4,0   |   |
| 14 |   | 0,75  | 3,8   |   |
| 15 |   | 0,90  | 3,7   |   |
| 16 |   | 1,15  | 3,4   |   |
| 17 |   | 1,50  | 3,1   |   |
| 18 |   | 2,25  | 2,3   |   |
| 19 |   |       |       |   |

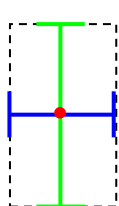
3. Sporządź wykres (1) zależności U(I). Wykres winien zawierać same dane pomiarowe, bez jakiegokolwiek linii łączącej punkty.



4. Skopiuj wykres i dodaj do punktów elementy służące analizie wyników.

Rozważ zmniejszenie rozmiaru punktów, by nie dominowały one na wykresie. W tym celu wskaż kursorem dowolny z punktów, kliknij „prawą myszą”, wybierz „Formatuj serie danych” i otwórz zakładkę „Desenie”.

5. Dodaj do wykresu prostokąty niepewności pomiarowej (tzw. prostokąty błędów). Polega to na otoczeniu każdego punktu prostokątem, wewnątrz którego najprawdopodobniej znajduje się prawdziwe położenie punktu. Trzeba to wykonać w dwóch niezależnych od siebie krokach, oddzielnie dla osi rzędnych, oddzielnie dla osi odciętych. W efekcie pojedynczy punkt pomiarowy na wykresie może wyglądać następująco:

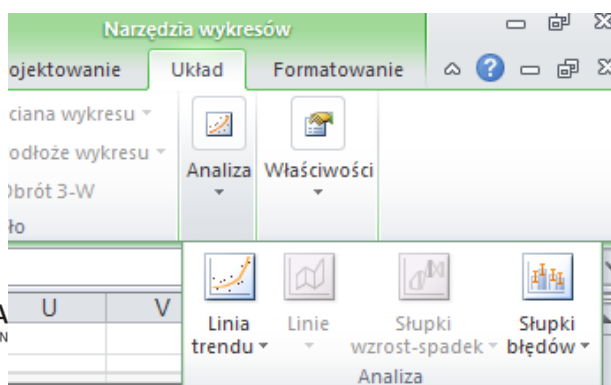


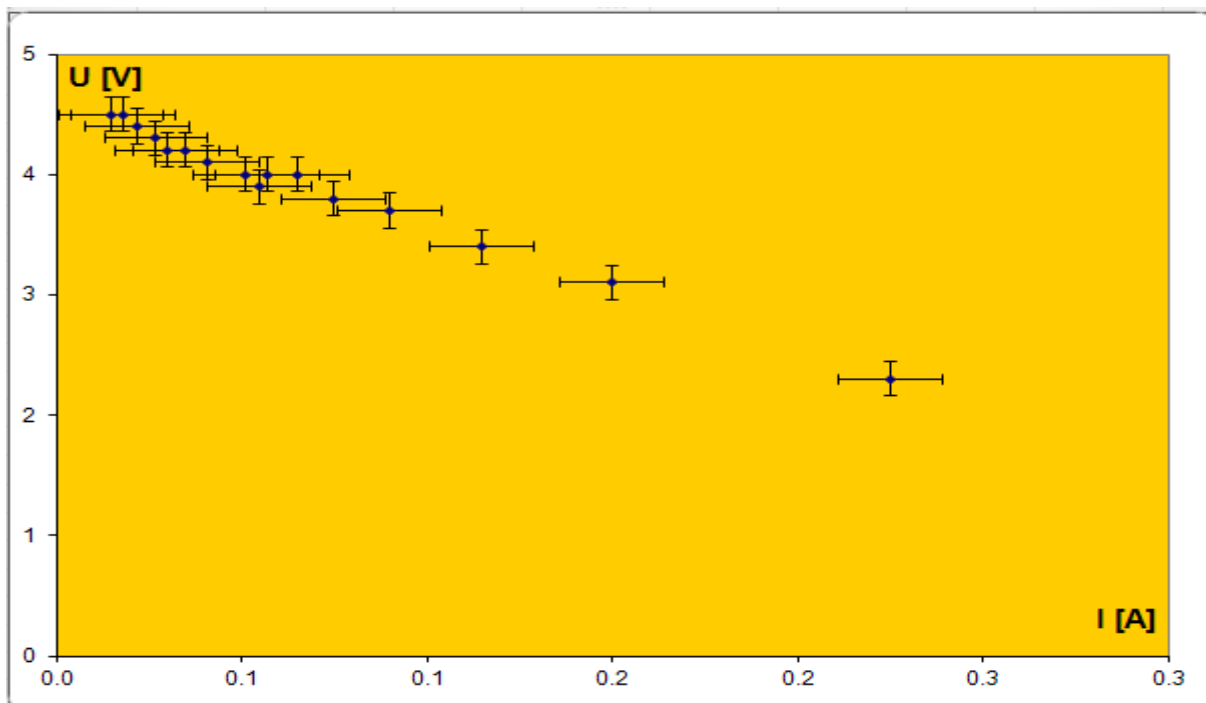
- kolorem niebieskim zaznaczono słupek niepewności natężenia prądu, odłożonego na osi odciętych;

- kolorem zielonym zaznaczono słupek niepewności napięcia, odłożonego na osi rzędnych;

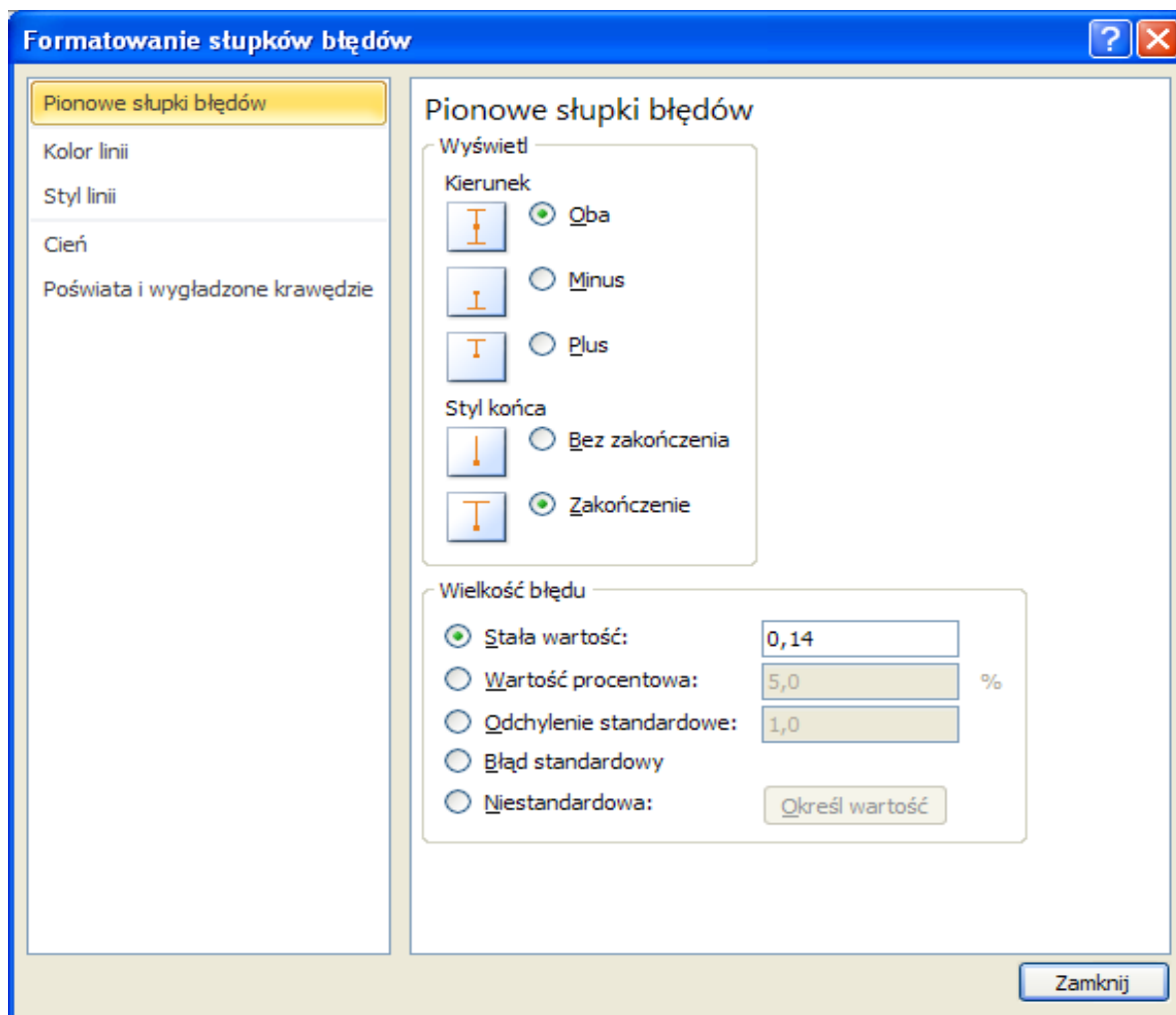
- linią przerywaną zaznaczono cały prostokąt niepewności pomiarowej, który nie pojawi się na wykresie.

• Dodaj do punktów słupki błędów z błędem standardowym.

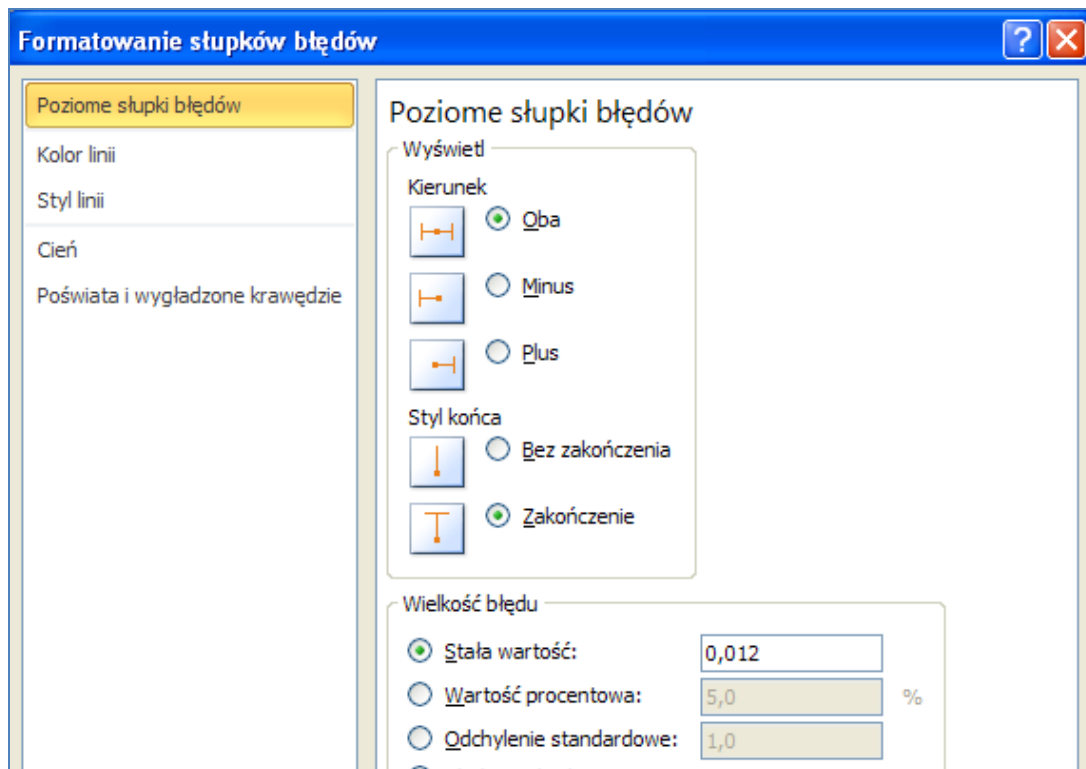




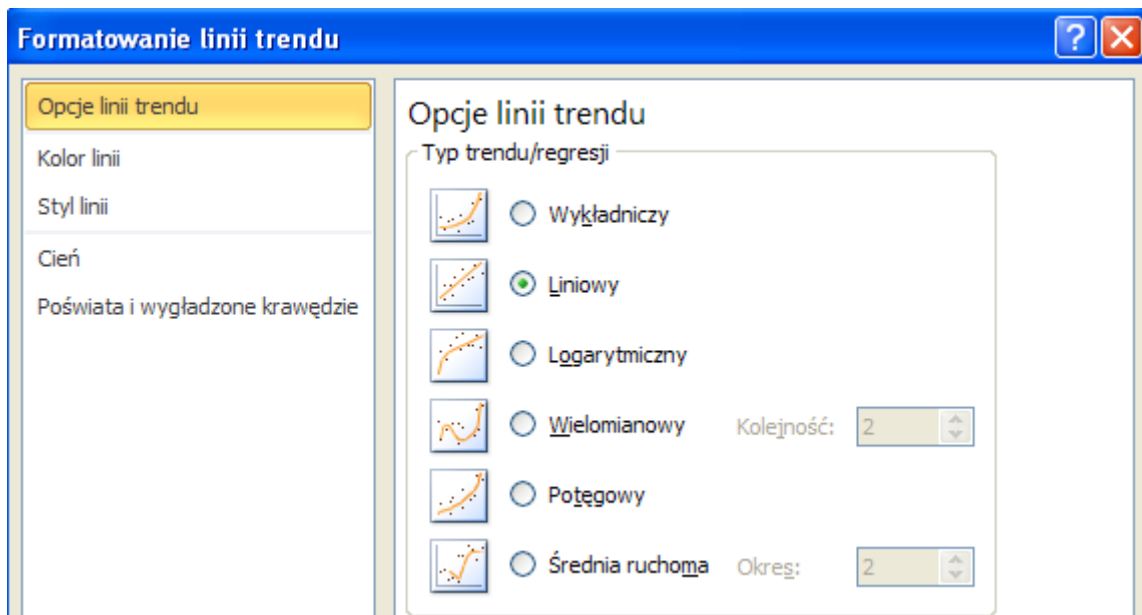
- Zaznacz pionowe słupki błędów i ustaw stałą wartość błędu 0,14 V, zgodnie z opisem w §3.2.9 e-podręcznika. Jest to precyzja pojedynczego odczytu napięcia na użytym w doświadczeniu woltomierzu, z uwzględnieniem jego klasy.



- Zaznacz poziome słupki błędów i ustaw stałą wartość błędu 0,012A zgodną z precyzją pojedynczego odczytu oraz klasy użytego amperomierza (tak jak opisano to w §3.2.9 e-podręcznika).

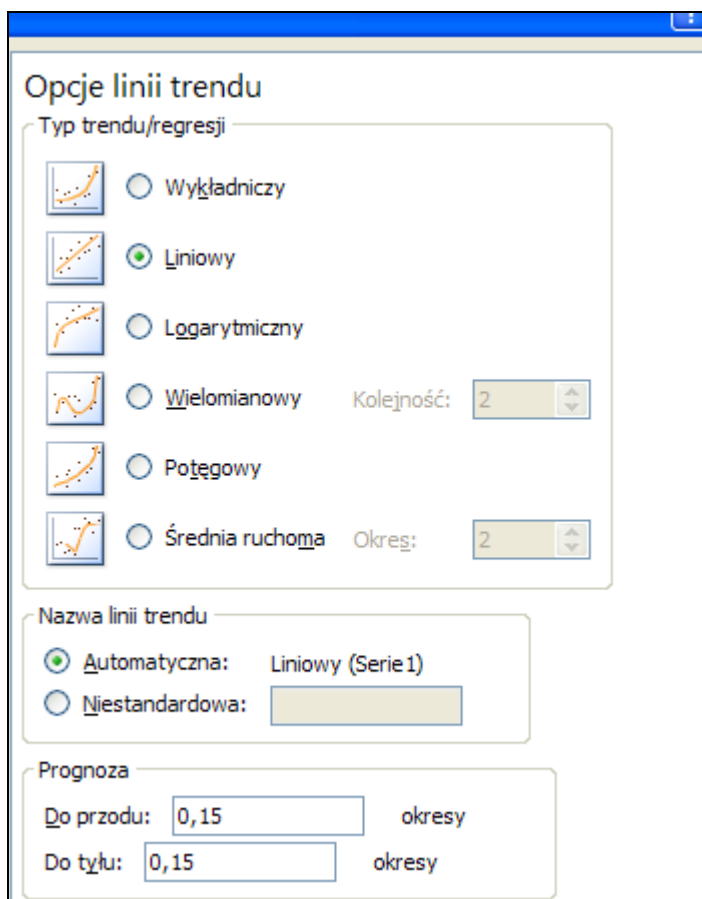


- Zwróć uwagę, że po zmianie zakresu amperomierza (z 0,6 A na 3 A) precyzja ta ulega pogorszeniu. Zastanów się nad możliwością uwzględnienia na wykresie różnych rozmiarów słupka niepewności dla różnych punktów (wskazówka: zapoznaj się z opcjami określania niestandardowych wartości błędów) - jeśli znajdziesz na to rozwiązanie, zastosuj je; oblicz przy tym nową, zwiększoną niepewność pomiaru natężenia prądu. W przeciwnym razie pozostaw jednakową dla wszystkich punktów wartość 0,012 A, ale pamiętaj o tym w trakcie analizy wyników i wyciągania wniosków.
6. Dodaj do punktów tzw. linię trendu.
- Najedź kursorem na jeden z punktów pomiarowych i kliknij „prawą myszą”; wybierz „Dodaj linię trendu”. Linia trendu to optymalna linia, która niekoniecznie łączy punkty, lecz przechodzi możliwie blisko pomiędzy nimi. Program Excel pozwala wybrać różne postacie funkcyjne linii optymalnej - zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi wybierz funkcję liniową („typ linii trendu - liniowy”).



- Rozważ taki dobór grubości linii trendu, by zapewnić przejrzystość wykresu. W tym celu wskaż linię kursorem, kliknij „prawą myszą”, wybierz „formatuj linię trendu” i w „Deseniach” dobierz żadaną grubość.
- Rozważ przedłużenie linii trendu do jej przecięcia z osią rzędnych (osią U). W tym celu wskaż linię kursorem, kliknij „prawą myszą”, wybierz „formatuj linię trendu” i w „Opcjach” wybierz „prognozę do tyłu” (doceń ten *oksymoron!*); ustaw ją na 0,15 jednostki. Ponieważ najmniejsze zmierzone natężenie prądu wynosiło właśnie 0,15 A, to ten zabieg przedłuży linię trendu do osi rzędnych. Możesz także, odpowiednio dobierając wartość „prognozy do przodu” (teraz doceń *pleonazm!*), przedłużyć nieco linię trendu poza ostatni punkt pomiarowy.





7. Uzupełnij wynik pomiaru o wartości i niepewności pomiarowe współczynników kierunkowego 'a' i wolnego 'b' prostej optymalnej.

- W arkuszu przygotuj tabelę:

|    | A | B                          | C                 | D |
|----|---|----------------------------|-------------------|---|
| 1  |   |                            |                   |   |
| 19 |   |                            |                   |   |
| 20 |   | a; $\Delta a$ [ $\Omega$ ] | b; $\Delta b$ [V] |   |
| 21 |   |                            |                   |   |
| 22 |   |                            |                   |   |
| 23 |   |                            |                   |   |

- Zaznacz obszar:  
B21:C22

- W komórkę B21 wprowadź funkcję REGLINP(). Za pomocą rozwiniętego okna dialogowego wprowadź jako zmienne:

**Argumenty funkcji**

REGLINP

|            |        |  |
|------------|--------|--|
| Znane_y    | C3:C18 | = {4,5;4,5;4,4;4,3;4,2;4,2;4,1;4;4;3,... |
| Znane_x    | B3:B18 | = {0,15;0,18;0,22;0,27;0,3;0,35;0,41...  |
| Stała      | 1      | = PRAWDA                                 |
| Statystyka | 1      | = PRAWDA                                 |

= {-1,01247663867957\4,5777265500...

Zwraca statystykę opisującą trend liniowy, dopasowany do znanych punktów danych, dopasowując linię prostą przy użyciu metody najmniejszych kwadratów.

**Znane\_y** - zbiór już znanych wartości y w relacji  $y = mx + b$ .

Wynik formuły = -1,01

[Pomoc dotycząca tej funkcji](#)

OK Anuluj

„znane\_y” kolumnę U arkusza;

„znane\_x” kolumnę I arkusza.

Stałym logicznym „stała” i „statystyka” przypisz wartości 1.

Funkcja jest funkcją tablicową, żeby wypełnić obliczonymi danymi cały zaznaczony obszar zatwierdź ją kombinacją klawiszy: CTRL+SHIFT+ENTER.

Dwie górne to, odpowiednio, wartości współczynnika kierunkowego ‘a’ i wolnego ‘b’ optymalnej prostej, poprowadzonej na wykresie. Dwie dolne to niepewności pomiarowe  $\Delta a$  i  $\Delta b$  tych współczynników; niepewności te są obliczone na podstawie rozrzutu punktów wokół optymalnej prostej.

### III. Do pracowni fizycznej.

Kolejnym krokiem wykonanym w programie odpowiadają elementy analizy i interpretacji uzyskanych wyników. Poniżej podano pytania, na które fizyk winien odpowiedzieć i wyciągnąć stosowne wnioski (niektóre przykładowe wnioski zawarto w tekście). Zwróć uwagę na trzy kategorie pytań i wniosków:

- prowadzące do realizacji założonych celów doświadczenia, stanowiące argumentację za (lub przeciw) zgodności wyników z oczekiwaniami;
- stanowiące stwierdzenie osiągnięcia (lub nie) założonych celów;
- stanowiące element podsumowania doświadczenia i dyskusji uzyskanych wyników.

Pamiętaj, analizując wyniki i wyciągając wnioski, że masz do czynienia z wynikami pomiarów, które są obarczone niepewnością pomiarową. Wynik doświadczenia nie jest zbiorem punktów czy wykresem funkcji, sporządzonym na podstawie wzoru.

#### 1. Wstępna, jakościowa ocena ułożenia punktów pomiarowych na wykresie (1).

##### 1.1 Czy wyniki pomiarów układają się wzdłuż jakiegokolwiek sensownej linii? Wniosek:

- jeśli tak, oznacza to, że napięcie podawane przez ogniwo do obwodu rzeczywiście zależy od natężenia prądu, jak przewiduje teoria;
- jeśli nie - czyli punkty ułożyły się chaotycznie - to .....

##### 1.2 Czy którykolwiek pojedynczy pomiar jawnie odstaje od tendencji wskazanej przez pozostałe? Wniosek:

- jeśli tak, oznacza to, że najprawdopodobniej popełniono błąd grubo i wtedy należy.....;
- jeśli nie, to .....

##### 1.3 Czy ułożenie punktów przypomina oczekiwaną linię „teoretyczną” (tutaj: linię prostą)? Wniosek:

- jeśli tak, oznacza to, że .....
- jeśli nie, to .....

#### 2. Ocena ilościowa dopasowania funkcji liniowej do danych pomiarowych - wykres (2).

##### 2.1 Czy wyniki pomiarów układają się losowo wokół zaproponowanej linii prostej optymalnej, niektóre nad nią a inne pod nią? Wniosek:

- jeśli tak, oznacza to, że napięcie podawane przez ogniwo do obwodu jest ....., zgodnie z teorią, a stwierdzone drobne odstępstwa wynikają z niepewności pomiarowej;
- jeśli nie - czyli punkty układają się wyraźnie wokół jakiejś linii krzywej - to .....

##### 2.2 Czy prosta optymalna przechodzi przez ogromną większość prostokątów niepewności pomiarowej? Wniosek:

- jeśli tak, oznacza to, że rozrzut punktów wokół prostej optymalnej mieści się w granicach .....
- jeśli nie - czyli prosta optymalna omija sporą część prostokątów niepewności - to należy przypuszczać że któryś z użytych mierników ma gorszą/lepszą (wskaz właściwe) precyzję, niż wynika to z jego cech, podanych przez producenta. Taki miernik należy wymienić na nowy i .....

#### 3. Interpretacja i ocena uzyskanych wartości współczynników optymalnej funkcji liniowej. Opis właściwości badanego ogniwa.

Jeśli ocena z punktów 1 i 2 wypadła pozytywnie, to zgodnie ze wzorem (1) współczynnik kierunkowy ‘a’ optymalnej prostej (dokładniej: jego wartość bezwzględna) odpowiada oporowi



wewnętrzny opór  $r$ ; niepewność pomiarowa  $\Delta a = \Delta r$ . Z kolei współczynnik wolny 'b' prostej optymalnej jest równy SEM  $\epsilon$  źródła a niepewność pomiarowa  $\Delta b = \Delta \epsilon$ .

**3.1** Czy uzyskana wartość  $\epsilon$ , z uwzględnieniem niepewności pomiarowej  $\Delta \epsilon$ , jest zgodna z nominalną wartością SEM, podaną przez producenta? Wniosek:

- jeśli tak, oznacza to, że .....
- jeśli nie, to wynik większy, niż podał producent może oznaczać, że producent ....., zaś wynik mniejszy musi oznaczać, że producent .....

**3.2** Producent nie podał żadnej informacji o oporze wewnętrznym ogniwa. Jaki wzorec należałoby przyjąć, gdzie szukać informacji o nim, by ocenić wiarygodność uzyskanego wyniku?

**3.3** Jedną z istotnych cech każdego źródła napięcia jest tzw. prąd zwarcia. Jest to maksymalne natężenie prądu  $I_{\max}$ , który może dostarczyć ogniwo, w dość ekstremalnej sytuacji: gdy jego bieguny połączy się przewodem o zerowym oporze. Taka czynność nazywa się „zwarcie ogniwa” lub „spowodowaniem krótkiego spięcia”. W instalacjach często stosuje się bezpieczniki, zapobiegające negatywnym skutkom zwarcia źródła napięcia.

- Na podstawie wyników doświadczenia (wartości współczynników 'a' i 'b' prostej optymalnej) oblicz  $I_{\max}$  badanego ogniwa i oszacuj jego niepewność pomiarową.
- Czy zastosowany w doświadczeniu amperomierz mógłby posłużyć do pomiaru  $I_{\max}$ ?
- Wykorzystaj czynności opisane w części II.4 do wskazania wartości  $I_{\max}$  na wykresie  $U(I)$ .

**4.** Inne uwagi do organizacji i przebiegu doświadczenia.

**4.1** W trakcie doświadczenia zmieniono zakres amperomierza. Czy zabieg ten jest widoczny w wynikach doświadczenia?

**4.2** Idealny woltomierz powinien mieć nieskończony opór wewnętrzny, zaś idealny amperomierz powinien mieć opór zerowy.

- Z czym należy porównać opór wewnętrzny użytego w doświadczeniu woltomierza, by stwierdzić, że w przybliżeniu spełnia on rolę woltomierza idealnego?
- Uzasadnij tezę, że natężenie prądu  $I_v$  płynącego przez woltomierz nie przekracza 1 mA.
- Wartość ta jest górną granicą **błędu systematycznego** popełnianego w doświadczeniu w związku z przyjęciem, że amperomierz wskazuje natężenie prądu płynącego przez ogniwo. Rozstrzygnij, czy wskazania amperomierza są **systematycznie** zaniżone czy zawyżone w związku ze skończoną wartością oporu wewnętrznego woltomierza.
- Wskaż właściwe uzupełnienie zdania i uzasadnij swój wybór: „**Błąd systematyczny** (o którym mowa wyżej) w porównaniu z niepewnością pomiarową wynikającą z cech użytego amperomierza [praktycznie nie wpływa na wynik doświadczenia i może być pominięty w analizie / powinien być uwzględniony w ocenie niepewności pomiarowej ostatecznego wyniku doświadczenia / zdecydowanie dominuje w tym doświadczeniu, co podważa wiarygodność uzyskanych wyników].
- Dlaczego w tym doświadczeniu nie jest istotna znajomość oporu wewnętrznego amperomierza?

**Rozwiązania, wskazówki, komentarze**



Uwaga: Poniższe „rozwiązania, wskazówki, komentarze” odnoszą się do danych pomiarowych przedstawionych w tabeli w części I ćwiczenia. Należy więc pamiętać, że dla wyników pomiaru wykonanego przez Ciebie, w Twojej pracowni, właściwe mogą być nieco inne odpowiedzi.

1. Wstępna, jakościowa ocena ułożenia punktów pomiarowych na wykresie (1).

### 1.1 Czy wyniki pomiarów układają się wzdłuż jakiegokolwiek sensownej linii?

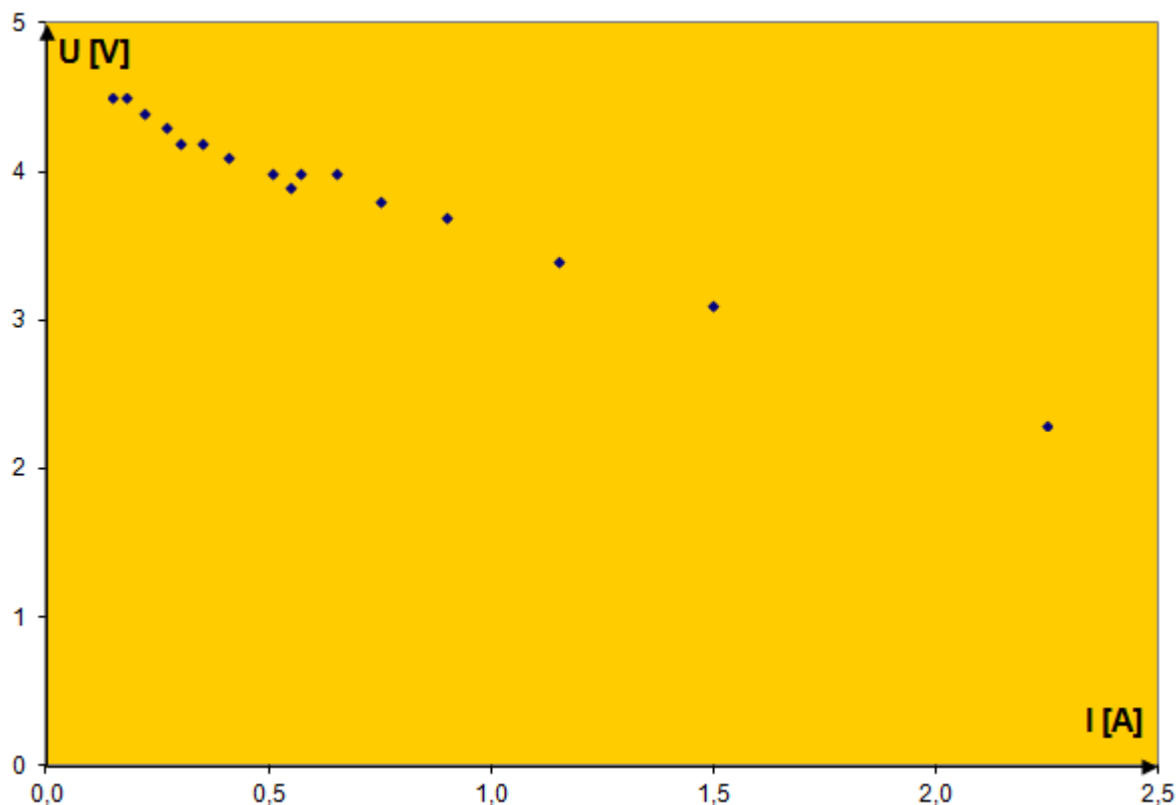
Tak. Wstępna analiza ułożenia punktów pomiarowych wyraźnie wskazuje na pewną tendencję ich ułożenia - jest to tendencja malejąca. Punkty nie są ułożone losowo na wykresie, choć w ich ułożeniu można doszukać się nieco chaosu. Trudno więc jednoznacznie wskazać kształt linii, która by najlepiej przybliżała obserwowany trend.

Wniosek: oznacza to, że napięcie podawane przez ogniwo do obwodu rzeczywiście zależy od natężenia prądu oraz że jest to zależność malejąca, tak jak przewiduje teoria.

### 1.2 Czy którykolwiek pojedynczy pomiar jawnie odstaje od tendencji wskazanej przez pozostałe?

Nie. Żaden pojedynczy pomiar nie odstaje od ogólnej tendencji w sposób zwracający szczególną uwagę.

Wniosek: można przyjąć, że w pomiarach nie popełniono błędu grubego, a stwierdzony niewielki chaos w ułożeniu punktów wynika raczej z naturalnej niepewności pomiarowej.



### 1.3 Czy ułożenie punktów przypomina oczekiwaną linię „teoretyczną” (tutaj: linię prostą)?

Nie można tego wykluczyć, choć widoczny w ułożeniu punktów lekki chaos nie pozwala też tego potwierdzić.

Wniosek: Należy pogłębić analizę o elementy ilościowe, takie jak naniesienie prostokątów niepewności pomiarowej i poprowadzenie optymalnej linii prostej.

## 2. Ocena ilościowa dopasowania funkcji liniowej do danych pomiarowych - wykres (2).

### 2.1 Czy wyniki pomiarów układają się losowo wokół zaproponowanej optymalnej linii prostej, niektóre nad nią a inne pod nią?

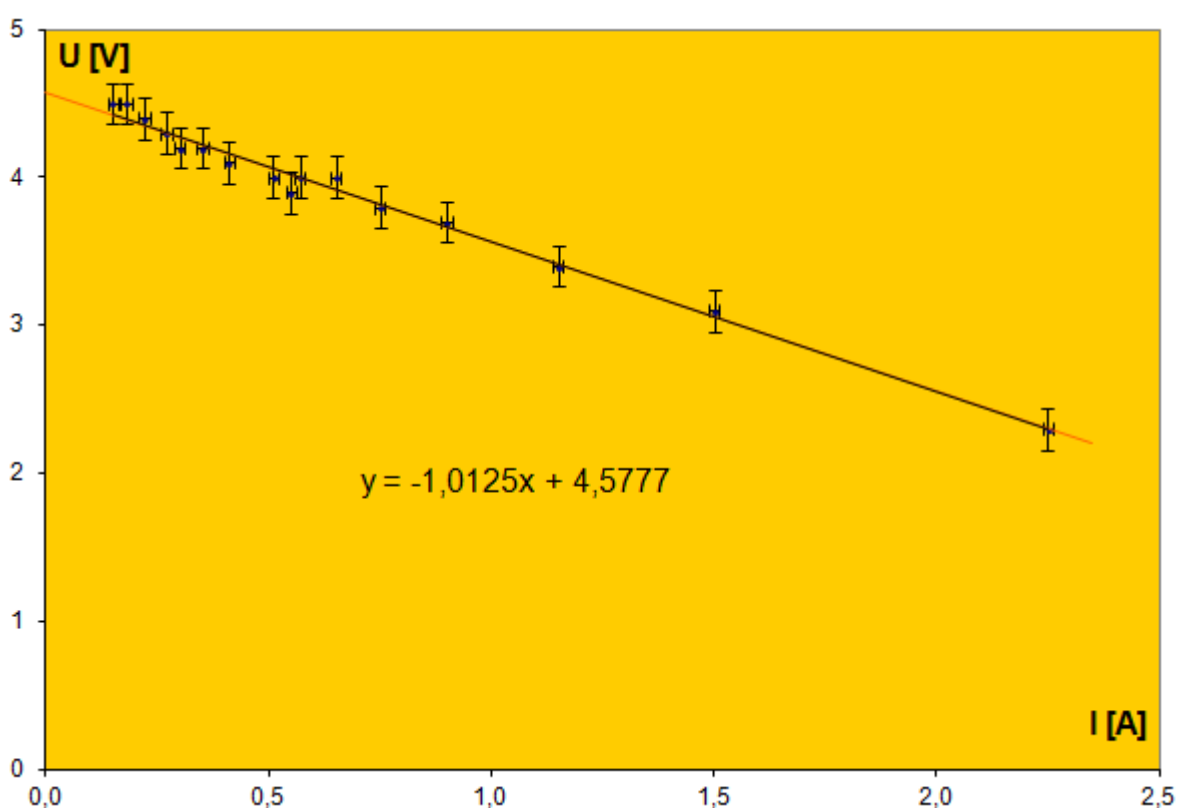
Tak. Punkty nie leżą wprawdzie dokładnie na linii optymalnej, ale jest to normalne, gdyż współrzędne tych punktów są wynikiem pomiaru a nie obliczeń. Odstępstwa punktów od linii optymalnej mają charakter losowy i nie wskazują żadnego innego trendu niż liniowy.

Wniosek: napięcie podawane przez ogniwo do obwodu jest liniową funkcją natężenia prądu, zgodnie z teorią, a stwierdzone drobne odstępstwa wynikają z niepewności pomiarowej.

### 2.2 Czy prosta optymalna przechodzi przez ogromną większość prostokątów niepewności pomiarowej?

Tak. Zwróćmy uwagę, że wykreślona linia przechodzi przez obszar niepewności każdego punktu.

Wniosek: rozrzut punktów wokół prostej optymalnej mieści się w granicach niepewności pomiarowej, a linia prosta dobrze opisuje obserwowaną w doświadczeniu prawidłowość.



## 3. Interpretacja i ocena uzyskanych wartości współczynników optymalnej funkcji liniowej. Opis właściwości badanego ogniwa.

Ocena z punktów 1 i 2 wypadła pozytywnie. Równanie optymalnej linii trendu to:

$$y = a \cdot x + b$$

Funkcja REGLINP() pozwoliła wyznaczyć:

$$a = -1,01 \pm 0,03 \Omega \quad \text{oraz} \quad b = 4,58 \pm 0,03 \text{ V}$$

Przewidywane przez teorię równanie ma postać:

$$U = -r \cdot I + b$$

W równaniu opisującym linię trendu zmieniamy oznaczenia, tak aby odpowiadało ono równaniu teoretycznemu. Zgodnie ze wzorem (1) współczynnik kierunkowy 'a' optymalnej prostej (dokładniej: jego wartość bezwzględna) odpowiada oporowi wewnętrznemu ogniwa  $r$ ; niepewność pomiarowa  $\Delta a = \Delta r$ . Z kolei współczynnik wolny 'b' prostej optymalnej jest równy SEM  $\varepsilon$  źródła a niepewność pomiarowa  $\Delta b = \Delta \varepsilon$ .

**3.1** Czy uzyskana wartość  $\varepsilon$ , z uwzględnieniem niepewności pomiarowej  $\Delta \varepsilon$ , jest zgodna z nominalną wartością SEM, podaną przez producenta?

Uzyskaliśmy  $\varepsilon = 4,58 \pm 0,03$  V.

Wniosek: Jest to wynik nieco większy od nominalnej SEM, podanej przez producenta. Można przypuszczać, że producent wolał minimalnie zaniżyć podawaną wartość SEM, by nie narazić się na zarzut niedotrzymania parametrów.

**3.2** Producent nie podał żadnej informacji o oporze wewnętrznym ogniwa. Jaki wzorec należałoby przyjąć, gdzie szukać informacji o nim, by ocenić wiarygodność uzyskanego wyniku?

Nie mamy informacji o oporze wewnętrznym ogniwa. Możemy przyjąć, że otrzymana wartość jest właściwa, ale możemy tę wartość również zweryfikować np. skontaktować się z producentem baterii.

**3.3** Na podstawie wyników doświadczenia (wartości współczynników 'a' i 'b' prostej optymalnej) oblicz  $I_{\max}$  badanego ogniwa i oszacuj jego niepewność pomiarową.

W naszym obwodzie popłynie prąd zwarcia o maksymalnej wartości natężenia, gdy opór zewnętrzny będzie równy zero, czyli zakładamy, że  $U = 0$  V, zatem:

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$$

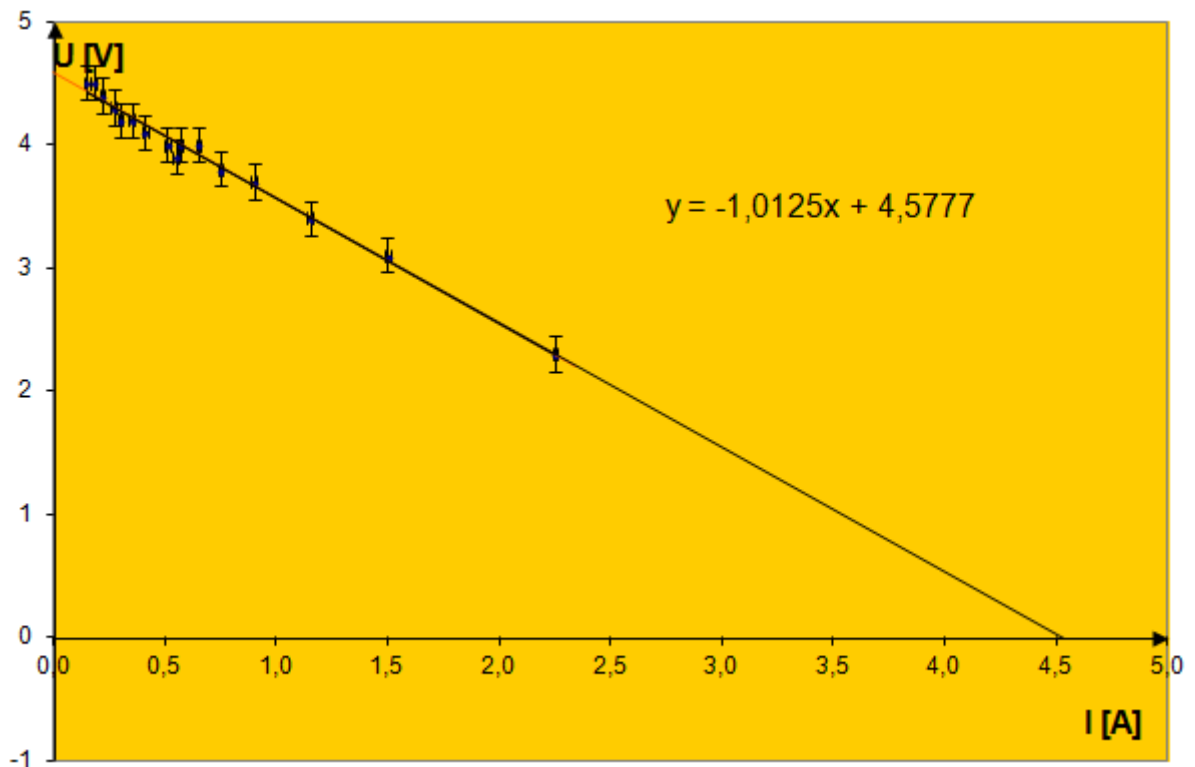
Po podstawieniu wyznaczonych wartości siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego otrzymamy:

$$I_{\max} = 4,52 \text{ A}$$

Jak widać, jest to wartość znacznie przekraczająca oba zakresy użytego w doświadczeniu amperomierza.

- Wykorzystaj czynności opisane w części II.4 do wskazania wartości  $I_{\max}$  na wykresie  $U(I)$ .





Na wykresie wartość natężenia prądu zwarcia możemy odczytać w punkcie przecięcia wykresu z osią odciętych. Jak widać wartość ta jest zbliżona do wartości wyliczonej wcześniej.

Znamy niepewności wyznaczenia siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego, obliczmy więc niepewność wyznaczenia natężenia prądu zwarcia.

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Niepewność względna natężenia prądu zwarcia wynosi:

$$\frac{\Delta I_{\max}}{I_{\max}} = \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\Delta r}{r}$$

Stąd:

$$\Delta I_{\max} = \left( \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\Delta r}{r} \right) \cdot I_{\max}$$

Po wstawieniu danych liczbowych i obliczeniach otrzymamy:

$$\Delta I_{\max} = 0,16 \text{ A}$$

Tak więc ostatecznie mamy  $I_{\max} = (4,52 \pm 0,16) \text{ A}$

#### 4. Inne uwagi do organizacji i przebiegu doświadczenia.

**4.1** W trakcie doświadczenia zmieniono zakres amperomierza. Czy zabieg ten jest widoczny w wynikach doświadczenia?



Amperomierz użyty w doświadczeniu miał nie tylko różne zakresy, ale także różne dokładności; mógł także mieć na tych dwóch zakresach różne opory wewnętrzne. Fakt zmiany zakresu możemy zauważyć w postaci niewielkiego „skoku” w charakterystyce; skok ten przypada na moment przełączenia zakresu. Jednak skok ten mieści się w granicach niepewności pomiarowej na obu skalach, więc nie ma on znaczenia dla uzyskanych wyników.

#### 4.2 Idealny woltomierz powinien mieć nieskończony opór wewnętrzny, zaś idealny amperomierz powinien mieć opór zerowy.

- Z czym należy porównać opór wewnętrzny użytego w doświadczeniu woltomierza, by stwierdzić, że w przybliżeniu spełnia on rolę woltomierza idealnego?

Opór użytego w doświadczeniu woltomierza  $R_V = 6 \text{ k}\Omega$ . Jest on 200 razy większy od maksymalnego oporu potencjometru użytego w tym doświadczeniu. Relacja ta upoważnia do stwierdzenia, że użyty woltomierz może być traktowany jako idealny.

- Uzasadnij tezę, że natężenie prądu  $I_V$  płynącego przez woltomierz nie przekracza 1 mA.

Maksymalną wartość natężenia  $I_V$  możemy oszacować, korzystając z II prawa Kirchhoffa dla oczka zawierającego ogniwo i woltomierz (patrz rys. 1.). Jeśli pominiemy opór  $r$  wobec  $R_V$ , to otrzymamy:

$$I_V = \frac{\varepsilon}{R_V} = 0,75 \text{ mA}$$

- Wartość ta jest górną granicą **błędu systematycznego** popełnianego w doświadczeniu w związku z przyjęciem, że amperomierz wskazuje natężenie prądu płynącego przez ogniwo. Rozstrzygnij, czy wskazania amperomierza są **systematycznie** zaniżone czy zawyżone w związku ze skończoną wartością oporu wewnętrznego woltomierza.

Sposób podłączenia amperomierza (patrz rys. 1.) powoduje, że wskazuje on natężenie prądu płynącego przez potencjometr. Prąd płynący przez ogniwo jest większy od wskazań amperomierza, gdyż jest on sumą tych wskazań oraz natężenia  $I_V$ . Tak więc wskazania amperomierza są systematycznie zaniżone w stosunku do rzeczywistości o wartość mniejszą niż 1 mA.

- Wskaż właściwe uzupełnienie zdania i uzasadnij swój wybór: „**Błąd systematyczny** (o którym mowa wyżej) w porównaniu z niepewnością pomiarową wynikającą z cech użytego amperomierza [praktycznie nie wpływa na wynik doświadczenia i może być pominięty w analizie / powinien być uwzględniony w ocenie niepewności pomiarowej ostatecznego wyniku doświadczenia / ~~zdecydowanie dominuje w tym doświadczeniu, co podważa wiarygodność uzyskanych wyników~~].

Wybór ten wynika z porównania błędu systematycznego (wynosi on mniej niż 1 mA) z wartością niepewności pomiarowej (wynosi ona 0,012 A, czyli 12 mA) i stwierdzenia, że błąd systematyczny jest o ponad jeden rząd wielkości mniejszy od niepewności pomiarowej pojedynczego odczytu natężenia prądu.

- Dlaczego w tym doświadczeniu nie jest istotna znajomość oporu wewnętrznego amperomierza?

Po pierwsze, sposób podłączenia woltomierza (patrz rys. 1.) powoduje, że wskazuje on napięcie panujące na badanym ogniwie (zgodnie z jego przeznaczeniem w tym doświadczeniu) niezależnie od właściwości amperomierza.

Po drugie, opór wewnętrzny amperomierza sumuje się z oporem potencjometru do wypadkowego oporu w tej gałęzi obwodu. Opór ten nie był w doświadczeniu mierzony, więc jego wartość nie ma żadnego znaczenia dla uzyskanych wyników.



KAPITAŁ LUDZKI  
CZŁOWIEK – NAJLEPSZA INWESTYCJA!



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

