



Co wiemy o oporze wewnętrznym ogniwa?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Co wiemy o oporze wewnętrznym ogniwa?

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/battery-energy-means-of-nutrition-1930833/> [dostęp 11.06.2022].

Czy to nie ciekawe?

Ogniwo jest źródłem napięcia w obwodzie elektrycznym. Jeśli chcesz poznać szczegóły procesów zachodzących wewnątrz, powodujące straty energii przy pracy rzeczywistych źródeł oraz to, jak je uwzględnić w rozważaniach dotyczących obwodów elektrycznych – ten materiał jest dla Ciebie.

Twoje cele

- dowiesz się jakie procesy odpowiedzialne są za straty energii wewnątrz rzeczywistych źródeł napięcia,
- zrozumiesz, dlaczego straty te można traktować jak dodatkowy opornik umieszczony wewnątrz źródła,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań i problemów dotyczących źródeł napięcia w obwodzie elektrycznym.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Niezbędnym elementem każdego obwodu prądu elektrycznego jest źródło napięcia. To urządzenie, które zamienia jeden rodzaj energii na drugi, w tym wypadku na energię elektryczną. Energią wyjściową (zamienianą) zwykle jest energia chemiczna, świetlna lub mechaniczna.

W Tabeli 1. zebrano najczęściej spotykane rodzaje źródeł, istotę ich działania i przykłady. Ostatnia kolumna zawiera informacje dotyczące głównych przyczyn strat energii, związanych z przepływem prądu elektrycznego przez ogniwo.

Nazwa	Rodzaj wykorzystywanej energii	Wykorzystywane zjawisko fizyczne lub chemiczne	Przykłady	Główna przyczyna oporu wewnątrz
Ogniwo galwaniczne	Chemiczna	Reakcje chemiczne między elektrolitem a elektrodami	Bateria, akumulator	- Ograniczona szybkość reakcji chemicznych - Niekorzystne reakcje uboczne - Zderzenia jonów z cząsteczkami rozpuszczonymi
Ogniwo słoneczne	Świetlna	Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne	Bateria fotowoltaiczna	- Opór elektryczny (zderzenia nośników ładunków z atomami krystalicznymi)

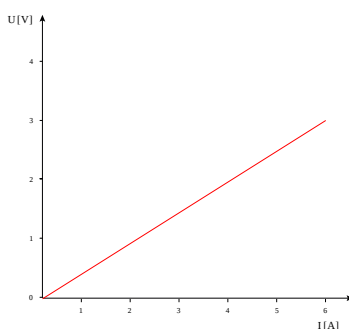
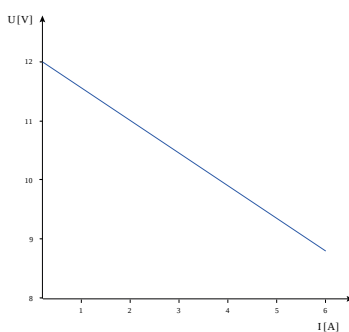
Prądnica	Mechaniczna	Indukcja elektromagnetyczna (ruch obrotowy przewodnika w polu magnetycznym)	Dynamo, alternator, wiatrak, generator w elektrowni (wodnej, atomowej, węglowej)	- Tarcie mechaniczne - Opór elektryczny elementów
----------	-------------	--	--	--

Tabela 1. Najważniejsze rodzaje źródeł napięcia i ich własności

Każda strata energii w obwodzie jest związana z pracą wykonaną przez prąd w jakimś elemencie, który posiada opór elektryczny, i ze spadkiem napięcia na końcach tego elementu. Dlatego postawmy hipotezę:

Straty energii elektrycznej występujące wewnątrz każdego rzeczywistego źródła napięcia można traktować jako spadek napięcia na oporniku znajdującym się wewnątrz źródła.

Postaramy się zweryfikować naszą hipotezę. Będzie ona prawdziwa wtedy i tylko wtedy, gdy opór wewnętrzny źródła spełnia prawo Ohma. Zbadajmy zatem, czy spadek napięcia na oporze wewnętrznym i natężenie przepływającego prądu są do siebie proporcjonalne. Sposób wykonania takiego doświadczenia i jego wyniki przedstawiono w materiale „Charakterystyka napięciowo-prądowa źródła napięcia”. Na Rys. 1. znajduje się fragment wykresu zależności napięcia na zaciskach źródła od natężenia prądu i umieszczony poniżej odpowiadający mu wykres spadku napięcia na oporze wewnętrznym, także w zależności od tego natężenia.

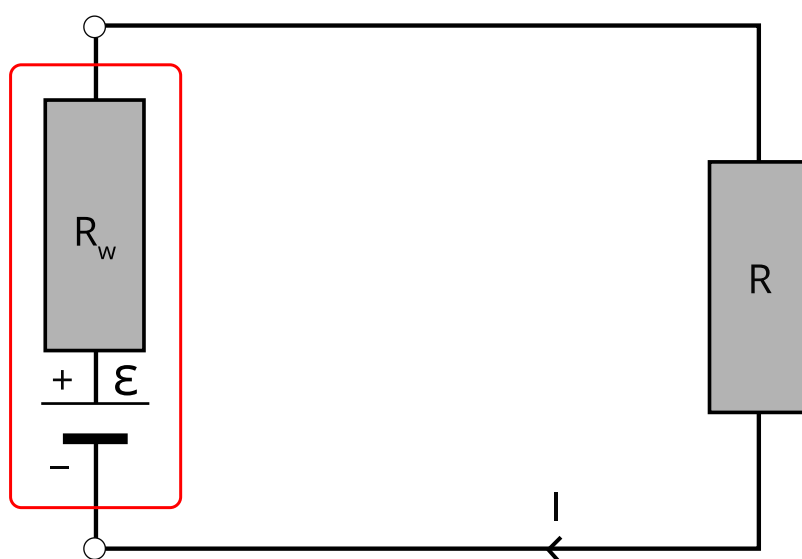


Rys. 1. Na górze: charakterystyka napięciowo-prądowa rzeczywistego źródła napięcia. U oznacza napięcie na jego zaciskach. Na dole: Wykres powstały na podstawie górnego, przedstawiający wartość bezwzględną spadku napięcia na zaciskach źródła, związanego z przepływem przez nie prądu

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Dolny wykres, to wartość „ubytku napięcia” na zaciskach źródła, który jest związany z przepływem prądu. Jest to wykres liniowy, spełniający zależność opisaną prawem Ohma. Zatem straty energii wewnątrz źródła są równoważne ze spadkiem napięcia na oporze wewnętrznym źródła, co potwierdza słuszność postawionej przez nas hipotezy.

Rzeczywiste źródło napięcia można więc przedstawić tak, jak na Rys. 2., jako element złożony z siły elektromotorycznej ($\mathcal{E}$) oraz oporu wewnętrznego (R_w).



Rys. 2. Model rzeczywistego źródła napięcia, składający się z siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego oraz podłączony odbiornik zewnętrzny

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

W konsekwencji, konstruując równanie bilansu napięć w obwodzie ([II prawo Kirchhoffa](#)), możemy napisać, stosując oznaczenia z Rys. 2.:

$$\mathcal{E} = IR_w + IR \quad (1)$$

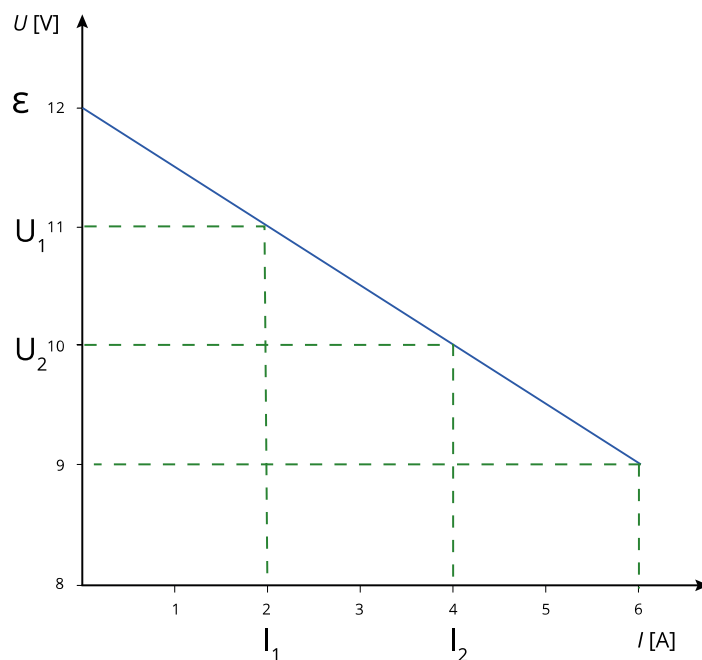
Skoro opór wewnętrzny źródła ma takie same właściwości, jak każdy inny opornik, przy połączeniach wielu źródeł w baterie zasilające, można stosować takie same reguły jak do szeregowego i równoległego łączenia oporników.

Podobne zasady stosuje się do [sił elektromotorycznych](#) (SEM). Przy połączeniu szeregowym, jeśli źródła włączone są w tym samym kierunku, ich siły elektromotoryczne

sumują się. Przy połączeniu równoległym takich samych źródeł, SEM baterii jest taka, jak pojedynczego źródła. Więcej na ten temat możesz przeczytać w materiale „Siła elektromotoryczna źródła energii elektrycznej”.

Opór wewnętrzny źródła jest jego cechą charakterystyczną i mieści się najczęściej w przedziale $0,1 \Omega - 10 \Omega$. Może się on jednak zmieniać w zależności od niektórych warunków zewnętrznych (np. temperatura) lub wewnętrznych (stopień zużycia elektrolitu).

Wartości oporu wewnętrznego źródła nie można zmierzyć omomierzem. Trzeba więc wykonać charakterystykę napięciowo-prądową ogniwa. Jeden ze sposobów posłużenia się takim wykresem przedstawiony jest na Rys. 3.



Rys. 3. Odczyt danych potrzebnych do wyznaczenia oporu wewnętrznego źródła

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ponieważ nie znamy wartości **siły elektromotorycznej** źródła ($\mathcal{E}$), do obliczeń musimy wykorzystać dwa odczyty danych charakterystyki. Na podstawie Rys. 2. i wzoru (1) możemy napisać:

$$U_1 = \mathcal{E} - I_1 \cdot R_w \quad (2)$$

$$U_2 = \mathcal{E} - I_2 \cdot R_w \quad (3)$$

Odejmując stronami te równania otrzymujemy:

$$U_1 - U_2 = (I_2 - I_1)R_w \quad (4)$$

i stąd:

$$R_w = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \quad (5)$$

Tę zależność najczęściej wykorzystuje się do doświadczalnych pomiarów oporu wewnętrznego źródła.

Słowniczek

II prawo Kirchhoffa

(ang.: *Kirchhoff's second law*) – prawo dotyczące bilansu napięć w obwodzie, wynikające z zasady zachowania energii: dla każdego obwodu zamkniętego, suma sił elektromotorycznych jest równa sumie spadków napięć na oporach elementów.

Indukcja elektromagnetyczna

(ang.: *electromagnetic induction*) – zjawisko fizyczne polegające na powstawaniu siły elektromotorycznej w przewodniku na skutek zmian strumienia pola magnetycznego, w którym się on znajduje.

Siła elektromotoryczna

(ang.: *electromotive force*) – napięcie źródła powodujące przepływ prądu w obwodzie, liczbowo równe elektrycznej energii potencjalnej nadawanej ładunkowi jednostkowemu przez źródło (równe napięciu panującemu na zaciskach źródła, do którego nie podłączono obwodu zewnętrznego).

Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne

(ang.: *internal photoelectric effect*) – zjawisko występujące w ciałach stałych, polegające na przejściu elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa pod wpływem absorpcji kwantów promieniowania świetlnego.

Film samouczek

Co wiemy o oporze wewnętrznym ogniwa?

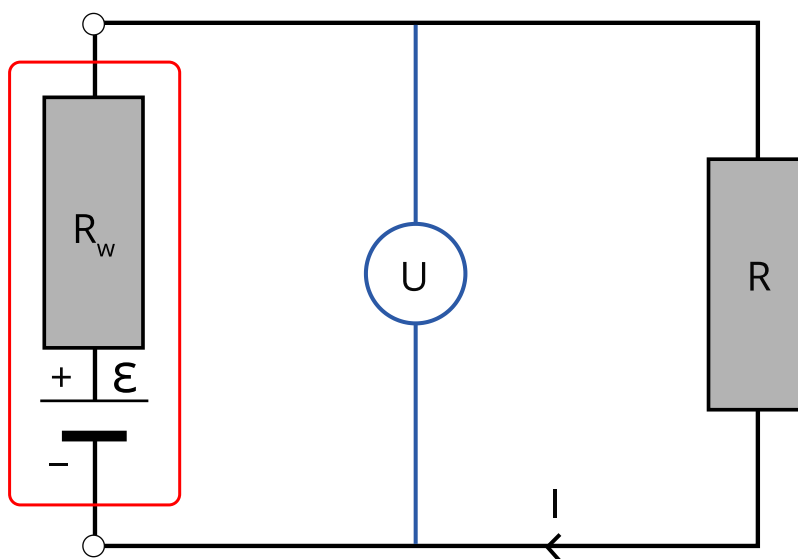
Film przedstawia rzeczywiste źródła napięcia. Tłumaczy, że przyczynę spadku napięcia na zaciskach ogniwa podłączonego do obwodu można traktować, jak umieszczenie opornika wewnątrz źródła. Omawia przyczyny występowania strat energii w źródłach różnego rodzaju oraz własności oporu wewnętrznego ogniwa.

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Wysłuchaj ścieżki lektorskiej.

Polecenie 1

Źródło napięcia o sile elektromotorycznej $\mathcal{E}$ i niezerowym oporze wewnętrznym R_w połączono z odbiornikiem o oporze R (rysunek). W obwodzie płynie prąd o natężeniu I . Wskaż poprawne równanie.



☐ $U = \mathcal{E}$

☐ $U = \mathcal{E} - I \cdot R_w$

☐ $U = \mathcal{E} - I \cdot R$

Polecenie 2

Uzupełnij tekst:

Opór wewnętrzny źródła ☐ nie zmienia się ☐ / ☐ zmienia się ☐ po podłączeniu odbiornika.

Jest cechą samego źródła i zależy od szczegółów jego konstrukcji, użytych materiałów

i zużycia elementów. ☐ Można ☐ / ☐ Nie można ☐ go wyznaczyć doświadczalnie.

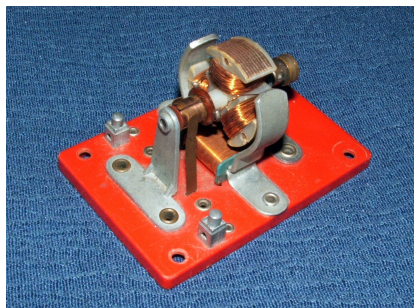
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



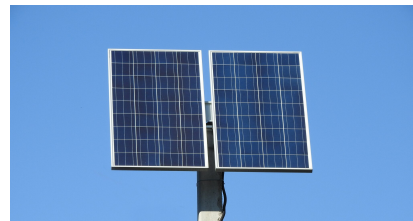
Opór wewnętrzny różnych źródeł napięcia może wynikać z różnych przyczyn. Kafelki z ich nazwami umieszczono poniżej. Dopasuj je do odpowiednich rodzajów źródeł.



Prądnicą



Ogniwo galwaniczne



Ogniwo słoneczne

Źródło: Luigi Chiesa, CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motore_elettrico_giocattolo.jpg [dostęp 11.06.2022], <https://pixabay.com/photos/solar-battery-clean-energy-pillar-2602980/> [dostęp 11.06.2022], <https://pixabay.com/photos/battery-motorcycle-battery-2490117/> [dostęp 11.06.2022].

Pogrupuj elementy wskazujące przyczyny występowania oporu wewnętrznego różnych źródeł napięcia.

Ogniwo galwaniczne

Opór elektryczny

Ograniczona szybkość reakcji chemicznych

Ogniwo słoneczne

Opór elektryczny

Tarcie mechaniczne

Niekorzystne uboczne reakcje chemiczne

Prądnicą

Zderzenia jonów z cząsteczkami rozpuszczalnika

Ćwiczenie 2



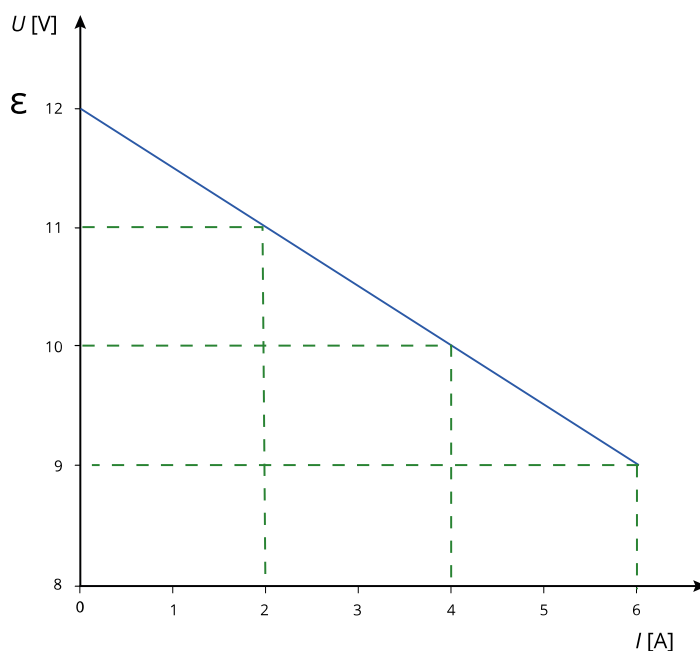
Który z wymienionych czynników NIE WPŁYWA na opór wewnętrzny żadnego z rodzajów źródła napięcia?

- ☐ Zużycie elementów lub elektrolitu
- ☐ Opór elektryczny dołączonych do źródła odbiorników
- ☐ Materiały użyte do skonstruowania źródła
- ☐ Prędkość cieczy poruszającej turbinę wodną generatora
- ☐ Sposób konstrukcji źródła
- ☐ Temperatura otoczenia
- ☐ Natężenie padającego światła

Ćwiczenie 3



Na podstawie zamieszczonej poniżej charakterystyki napięciowo-prądowej ogniwa wyznacz jego opór wewnętrzny.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Opór wewnętrzny tego ogniwa wynosi:

$$R_w = \boxed{} \Omega$$

Ćwiczenie 4



Wyznacz wzór opisujący charakterystykę napięciowo-prądową ogniwa jako funkcję napięcia zależną od natężenia prądu $U(I)$.

Ćwiczenie 5



Do ogniwa najpierw podłączono opornik o wartości $10\ \Omega$, a potem dołączono do niego szeregowo jeszcze jeden opornik o wartości $40\ \Omega$. Za pierwszym razem napięcie na zaciskach ogniwa wynosiło 8 V , a za drugim 10 V . Oblicz opór wewnętrzny i siłę elektromotoryczną ogniwa.

Odpowiedź: $R_w =$ / Ω , $E =$ /
 V

Ćwiczenie 6



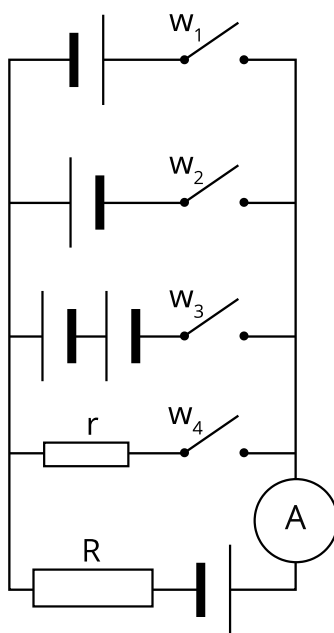
Jednakowe ogniwa, o oporze wewnętrznym $r = 1\ \Omega$ każde, połączono w baterię na dwa sposoby: szeregowo i równolegle. Następnie, do zacisków takiej baterii podłączono opór zewnętrzny R . Jaka musi być wartość tego oporu, by w obu przypadkach napięcie między zaciskami baterii było takie samo?

Odpowiedź: $R =$ Ω

Ćwiczenie 7



Na rysunku przedstawiono jednakowe ogniwa o oporze wewnętrznym r oraz opornik o oporze R , dziesięciokrotnie większym niż r . Każdy z wyłączników można pojedynczo włączyć na chwilę, odczytać natężenie prądu z amperomierza i wyłączyć. Za każdym razem natężenie to będzie miało inną wartość. Ustaw kafelki z nazwami wyłączników w takiej kolejności, by były ułożone od największego do najmniejszego wskazania amperomierza.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

W_1



W_3



W_2



W_4



Ćwiczenie 8



Sprawność ogniwa, jest to stosunek mocy wykorzystywanej w obwodzie do mocy produkowanej przez źródło. Czy wielkość ta zależy od oporu wewnętrznego ogniwa? Jeśli nie, to dlaczego. Jeśli tak, to jaka jest to zależność? W razie potrzeby skorzystaj z odpowiedzi.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Sobiepan
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Opór wewnętrzny ogniwa
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VIII. Prąd elektryczny. Uczeń: 7) posługuje się pojęciami oporu wewnętrznego i siły elektromotorycznej jako cechami źródła.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wyjaśni, jakie procesy odpowiedzialne są za straty energii wewnątrz rzeczywistych źródeł napięcia. 2. wyjaśni, dlaczego straty te można traktować jak dodatkowy opornik umieszczony wewnątrz źródła. 3. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań i problemów dotyczących źródeł napięcia w obwodzie elektrycznym.
Strategie nauczania:	Flipped classroom
Metody nauczania:	- wykład informacyjny, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	- praca indywidualna w domu, - praca w parach w klasie.
Środki dydaktyczne:	- film samouczek, - zestaw zadań.
Materiały pomocnicze:	e-materiał: Co wiemy o oporze wewnętrznym ogniwa?
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
- Zaciekawienie uczniów: wg części „Czy to nie ciekawe?” - Uzgodnienie z uczniami celów do osiągnięcia na lekcji. - Przekazanie pracy do wykonania w domu przed lekcją. Połowa klasy (uczniowie wybrani drogą losowania) czyta część „Warto przeczytać”, a pozostali oglądają film samouczek.	
Faza realizacyjna:	

- Nauczyciel pyta uczniów, jakie źródła napięcia poznali przygotowując się do lekcji i prosi o podanie przykładów. Przewidywane odpowiedzi uczniów: ogniwo galwaniczne (bateria, akumulator), ogniwo słoneczne (bateria fotowoltaiczna), prądnica (dynamo, alternator, wiatrak, generator w elektrowni).
- Nauczyciel rysuje na tablicy schemat obwodu z Polecenia 1. pod samoucziem i prosi uczniów o naszkicowanie i omówienie wykresu zależności napięcia U na zaciskach źródła od natężenia prądu I . Uczniowie szkicują wykres przedstawiony na Rys. 1. w części „Warto przeczytać” i wyjaśniają, że napięcie na zaciskach źródła liniowo maleje wraz ze wzrostem natężenia prądu.
- Uczniowie pracują w parach mieszanych z punktu widzenia rodzaju wykonywanej w domu pracy i rozwiązują zadania wstępne 1, 2, 3, 4, które sprawdzają zapamiętanie i zrozumienie materiału przerabianego w domu.
- Nauczyciel sprawdza, czy uczniowie prawidłowo rozwiązali i zrozumieli zadanie 4 oraz czy mają pytania dotyczące materiału przerobionego w domu lub na lekcji.
- Uczniowie w parach rozwiązują pozostałe zadania. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje pracę uczniów i w razie potrzeby udziela wskazówek i odpowiedzi.

Faza podsumowująca:

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i umiejętności zdobyte w czasie lekcji i rozwiązują zadania, których nie zdążyli rozwiązać w klasie.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium:**

Film samouczek może służyć jako element podsumowania działu „Prąd elektryczny” oraz przy przygotowywaniu się do pracy klasowej lub egzaminu.