



## Siła elektromotoryczna źródła energii elektrycznej

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



## Siła elektromotoryczna źródła energii elektrycznej

### Czy to nie ciekawe?

Co powoduje ruch ładunków w obwodzie elektrycznym, czyli przepływ prądu? Możesz sobie pomyśleć: „Pewnie jakaś siła...” I masz rację, ale nie należy mylić siły elektromotorycznej z siłą elektrostatyczną. W rozwikłaniu zawiłości tej zbieżności nazw pomoże Ci materiał, który masz przed sobą. Zapraszamy.

#### Twoje cele

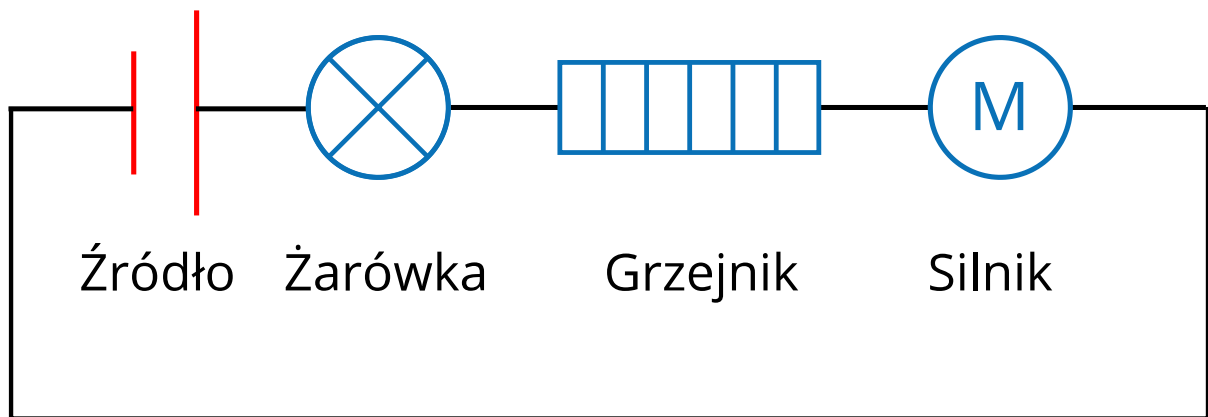
- dowiesz się, co oznacza pojęcie siła elektromotoryczna i jaka jest jej definicja,
- zrozumiesz, jaką rolę pełnią w obwodzie elektrycznym: siła elektromotoryczna i opór wewnętrzny źródła,
- przeanalizujesz i zrozumiesz różnicę pomiędzy pojęciami: siła elektromotoryczna i siła elektrostatyczna,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów pojęciowych i rachunkowych.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

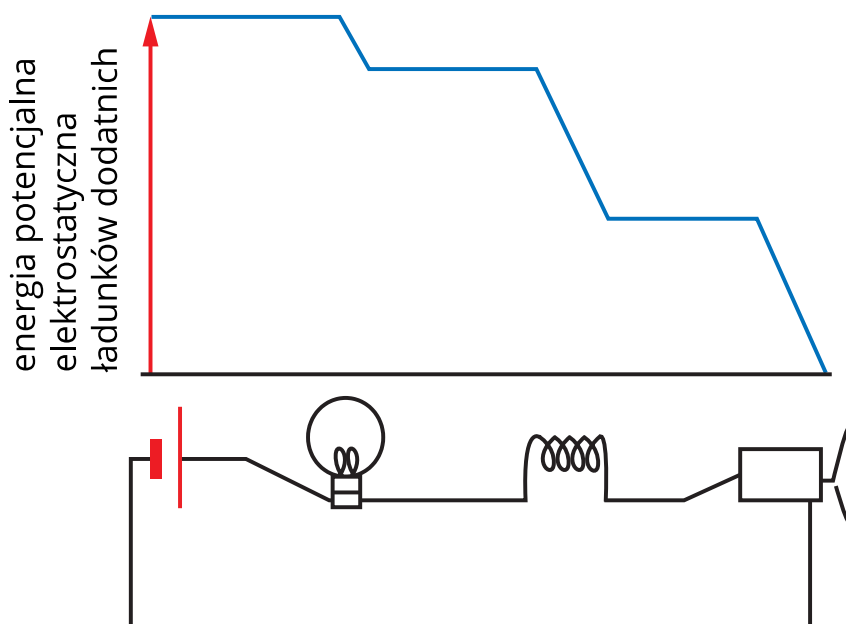
Źródło prądu, to urządzenie, które dostarcza energię elektryczną do obwodu, wykorzystywaną przez podłączone odbiorniki. Czasem urządzenie to nazywane jest źródłem napięcia, gdyż jego rolą jest wytwarzanie napięcia między zaciskami, do których obwód jest podłączony. Napięcie to powoduje, że wzdłuż obwodu przemieszczają się ładunki elektryczne i dzięki temu w odbiornikach wykonywana jest praca prądu elektrycznego.



Rys. 1. Przykładowy obwód elektryczny. Elementy dostarczające i pobierające energię elektryczną zaznaczono różnymi kolorami.

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

Podział ról na Rys. 1. jest jasny: źródło dostarcza energię elektryczną, a odbiorniki ją wykorzystują. Rozkład energii w takim obwodzie schematycznie przedstawia Rys. 2.



Rys. 2. Rozkład energii potencjalnych elektrostatycznych ładunków dodatnich wzdłuż obwodu.

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

Więcej na ten temat możesz przeczytać w e-materiale „Jak definiuje się napięcie elektryczne?”.

Wielkość fizyczna, która jest liczbowo równa ilości potencjalnej energii elektrycznej nadawanej ładunkowi jednostkowemu przez źródło nazywana jest **siłą elektromotoryczną** źródła (w skrócie SEM) i oznaczana symbolem  $\mathcal{E}$ .

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta E_p}{q} \quad (1a)$$

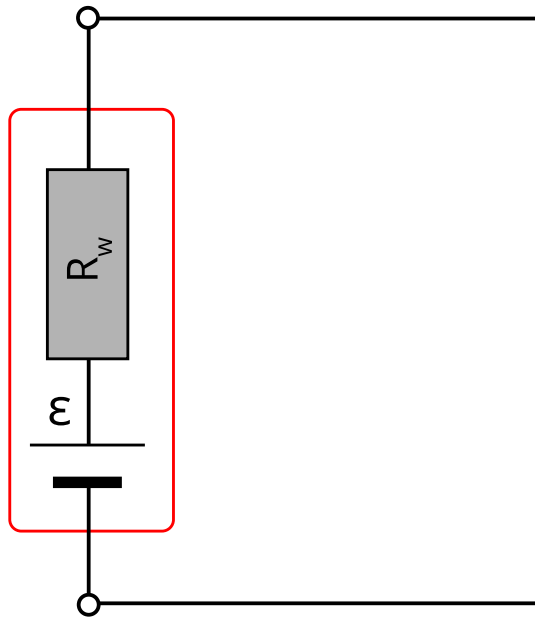
Często podaje się też definicję równoważną:

**Siła elektromotoryczna** źródła (w skrócie SEM) jest liczbowo równa energii zamienionej w źródle na energię elektryczną, przypadającej na ładunek jednostkowy:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta E}{q} \quad (1b)$$

Ze wzoru (1) widać, że jednostka SEM jest taka sama, jak jednostka napięcia elektrycznego, czyli wolt [V].

Idealne źródło utrzymuje zawsze to samo napięcie, niezależnie od tego, jaka jest wartość oporu podłączonego obwodu. W rzeczywistości, wartość ta nieco spada po podłączeniu obciążenia. Powodem jest fakt, że każde realne źródło posiada swój własny opór wewnętrzny. Schematycznie przedstawiono to na Rys. 3.



Rys. 3. Źródło napięcia z zaznaczonym jego oporem wewnętrznym.

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

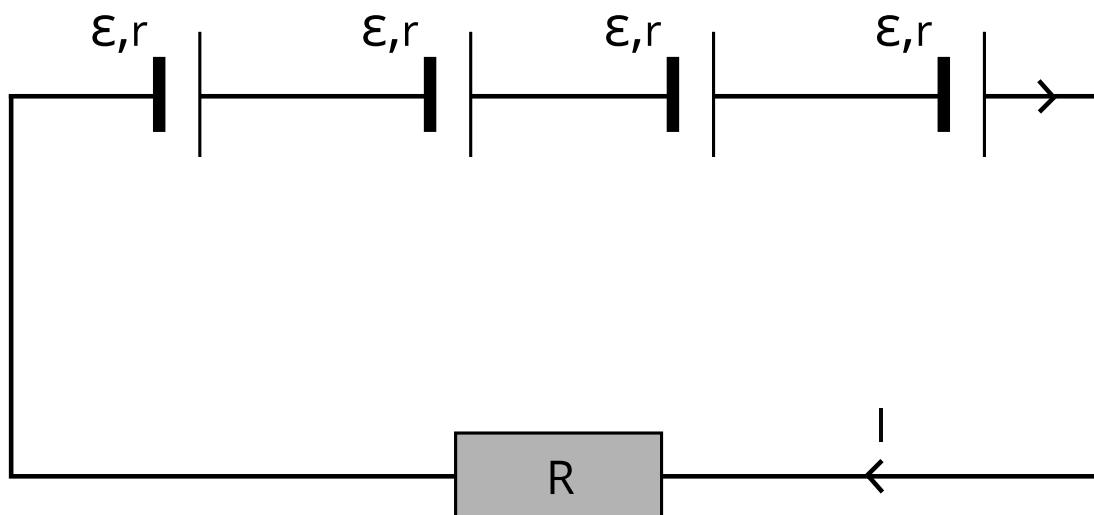
Napięcie, które naprawdę panuje między jego zaciskami ma wartość:

$$U = \mathcal{E} - I \cdot R_w \quad (2)$$

gdzie  $I$  jest wartością natężenia prądu płynącego w obwodzie (a więc i przez źródło).

Warto zauważyć, że SEM źródła jest tą wartością napięcia na jego zaciskach, które panuje w stanie jałowym, czyli bez podłączenia do nich odbiornika.

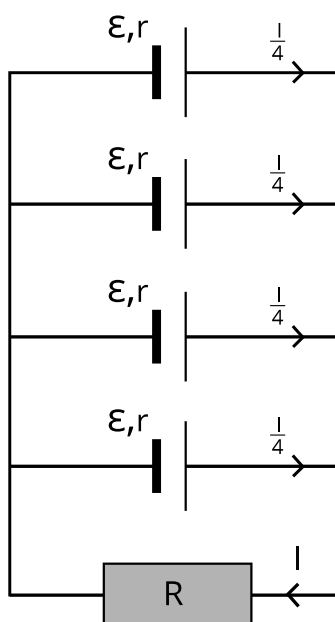
Często zachodzi potrzeba, by pojedyncze źródła połączyć ze sobą, tworząc baterię. Jeśli łączy się je szeregowo, tak jak na Rys. 4., siły elektromotoryczne oraz opory wewnętrzne sumują się. Wynika to z bilansu napięć w obwodzie (zgodnie z II prawem Kirchhoffa).



Rys. 4. Źródła połączone w baterię szeregowo.

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

Jeśli źródła łączą się równolegle, tak jak na Rys. 5., siła elektromotoryczna baterii jest taka sama, jak pojedynczego źródła.



Rys. 5. Źródła połączone w baterię równolegle.

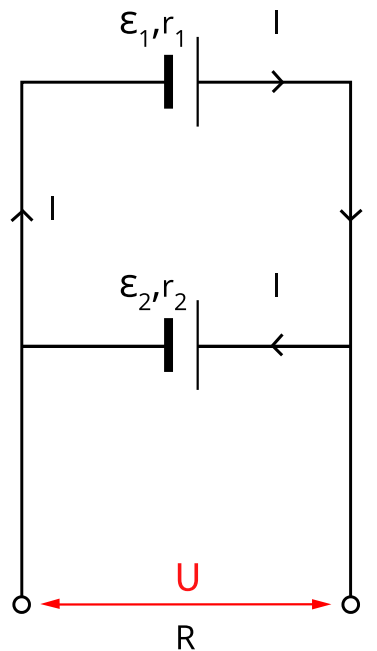
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Wynika to z faktu, że wszystkie lewe bieguny mają taki sam potencjał (są ze sobą połączone) oraz wszystkie prawe bieguny mają taki sam potencjał (inny, niż lewe). Istnieje więc jedna, wspólna różnica potencjałów pomiędzy lewą a prawą stroną. Na pewno pamiętasz, że

różnica potencjałów, to właśnie napięcie. Napięcie na rozwartej baterii (bez podłączenia opornika do jej biegunów) jest równe jej SEM.

Opór wewnętrzny takiej baterii oblicza się tak, jak opór zastępczy oporników przy połączeniu równoległym.

Jeżeli jednak SEM źródeł są różne, tak, jak na Rys. 6, siła elektromotoryczna baterii będzie wartością pośrednią między  $\mathcal{E}_1$  a  $\mathcal{E}_2$ .



Rys. 6. Połączenie równoległe różnych źródeł napięcia.

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

Gdy  $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ , w górnym oczku zawsze płynie prąd we wskazanym kierunku nawet, gdy bateria nie jest podłączona do obwodu zewnętrznego. Równania bilansu napięć (II prawo Kirchhoffa) dla wszystkich oczek, pisane w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, są następujące:

$$\mathcal{E}_1 - Ir_1 - \mathcal{E}_2 - Ir_2 = 0 \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_1 - Ir_1 - U = 0 \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_2 + Ir_2 - U = 0 \quad (5)$$

Zwróć uwagę, że w ostatnim równaniu spadek napięcia na oporze  $r_2$  został wzięty z przeciwnym znakiem, gdyż kierunek obiegu oczka jest przeciwny do  $\mathcal{E}_2$ .

Siła elektromotoryczna takiej baterii, czyli napięcie ( $U$ ) panujące między jej zaciskami, gdy nie jest obciążona obwodem zewnętrznym, jest więc równa:

$$SEM = U = \frac{\mathcal{E}_1 r_2 + \mathcal{E}_2 r_1}{r_1 + r_2} \quad (6)$$

## 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.

### siła elektromotoryczna

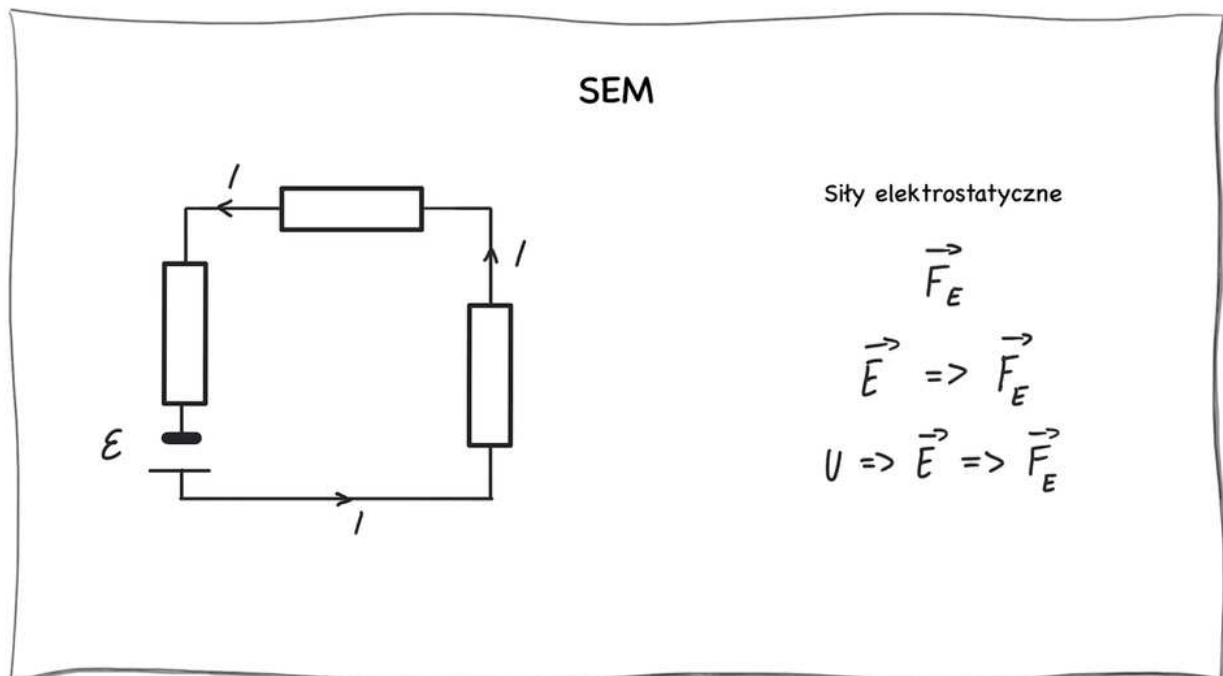
(*ang. electromotive force*) napięcie źródła powodujące przepływ prądu w obwodzie, liczbowo równe elektrycznej energii potencjalnej nadawanej ładunkowi jednostkowemu przez źródło (równe napięciu panującemu na zaciskach źródła, do którego nie podłączono obwodu zewnętrznego).

# Film samouczek

---

## Siła elektromotoryczna źródła energii elektrycznej

Film samouczek poświęcony jest zdefiniowaniu siły elektromotorycznej źródła energii elektrycznej. Zaczyna się on od rozważań dotyczących przepływu prądu w obwodzie oraz występującego wtedy rozkładu potencjalnej energii elektrycznej. W rozważania te zaangażowany jest także uczeń. Następnie lektor podaje definicję siły elektromotorycznej a na koniec wiąże ją z napięciem, natężeniem prądu i wartością oporu elektrycznego w obwodzie.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1Z9L086xGYhn>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

---

### Polecenie 1



Przemyśl ostatni wzór podany w filmie i zastanów się, jak opór wewnętrzny źródła wpływa na napięcie  $U_{\text{źr}}$  panujące na zaciskach rzeczywistego źródła prądu.

### Polecenie 2

Zastanów się, czy to napięcie  $U_{\text{źr}}$  zależy od odbiornika podłączonego do źródła prądu.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Bateria zbudowana jest z  $n$  jednakowych źródeł o SEM równej  $\mathcal{E}$  i oporze wewnętrznym równym  $r$  każde, połączonych szeregowo. Jakie napięcie panuje na zaciskach baterii, jeśli pobierany prąd ma natężenie równe  $I$ ?

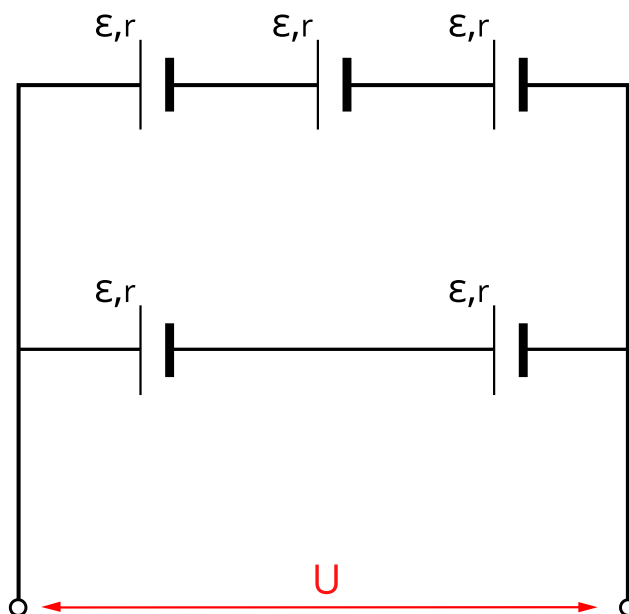
Ćwiczenie 5



## Ćwiczenie 6



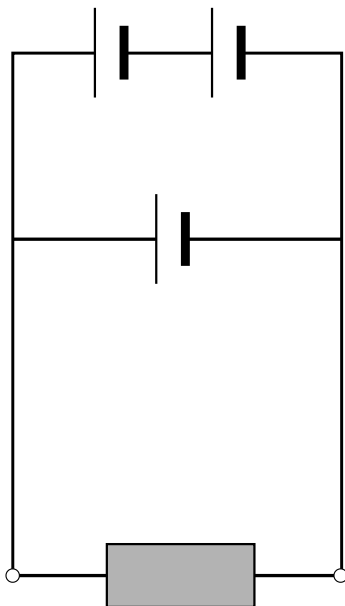
W baterii składającej się z sześciu identycznych ogniw o SEM = 5 V każde, jedno z nich uległo zwarceniu, wskutek czego powstał układ, jak na rysunku. Jakie napięcie panuje na zaciskach baterii?



## Ćwiczenie 7



Trzy identyczne źródła prądu o SEM = 12 V i oporze wewnętrznym 1  $\Omega$  połączone w baterię tak, jak na rysunku i połączone z odbiornikiem o oporze równym 10  $\Omega$ . Jakie napięcie panuje na zaciskach baterii?



## Ćwiczenie 8



Do pomiaru parametrów źródła prądu często używa się metody polegającej na pomiarze napięcia między zaciskami za pomocą dwóch woltomierzy o różnych oporach wewnętrznych. Wyprowadź wzory pozwalające obliczyć tym sposobem SEM i opór wewnętrzny źródła.

# Dla nauczyciela

---

## Konspekt (scenariusz) lekcji

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Tomasz Sobiepan
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Siła elektromotoryczna źródła</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>7) posługuje się pojęciami oporu wewnętrznego i siły elektromotorycznej jako cechami źródła.</p>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>

<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. zdefiniuje pojęcie siły elektromotorycznej,</li> <li>2. wyjaśni, jaką rolę pełnią w obwodzie elektrycznym: siła elektromotoryczna i opór wewnętrzny źródła,</li> <li>3. przeanalizuje i zrozumie różnicę pomiędzy pojęciami: siła elektromotoryczna i siła elektrostatyczna,</li> <li>4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów pojęciowych i rachunkowych.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	Formative feedback
<b>Metody nauczania:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wykład w formie filmu,</li> <li>- praca samodzielna,</li> <li>- udzielanie informacji zwrotnej przez nauczyciela.</li> </ul>
<b>Formy zajęć:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- praca w grupach,</li> <li>- praca indywidualna.</li> </ul>
<b>Środki dydaktyczne:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- film samouczek,</li> <li>- zestaw zadań.</li> </ul>
<b>Materiały pomocnicze:</b>	-
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zaciekawienie uczniów: (wg części „Czy to nie ciekawe”)</li> <li>- Uzgodnienie z uczniami celów do osiągnięcia na lekcji.</li> <li>- Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów i nawiązanie do tej wiedzy: prawo Ohma, połączenie równoległe.</li> </ul>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uczniowie samodzielnie zapoznają się filmem-samouczkiem.</li> <li>- Każdy uczeń pisze na kartce w kilku punktach, czego nauczył się z filmu.</li> <li>- Uczniowie podają, co zapisali na kartce (następni dodają tylko zagadnienia nie wymienione dotychczas), a nauczyciel każde stwierdzenie komentuje krótką informacją zwrotną kształtującą, odnoszącą się do procesu uczenia się.</li> <li>- Uczniowie pracują w grupach trzyosobowych rozwiązując zadania. Po każdym, jeden uczeń referuje swoje rozwiązania, drugi przekazuje mu informację zwrotną, a trzeci jest obserwatorem. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje pracę uczniów i w razie potrzeby udziela wskazówek i odpowiedzi.</li> </ul>	
<b>Faza podsumowująca:</b>	

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 zdobyte umiejętności przez przeczytanie części „**Warto przeczytać**” (jako uzupełnienie i rozszerzenie) oraz rozwiązanie w domu zadań, których nie przerobili na lekcji.

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

Film może być użyty jako wprowadzenie, podsumowanie lub rozszerzenie do każdej lekcji dotyczącej obwodów prądu stałego.