

## Lekcja z e-doświadczeniem „Obwody prądu stałego”

### Wstęp

Pamiętam, iż za czasów dzieciństwa podłączyłem amperomierz do gniazdka elektrycznego, aby przekonać się czy płynie prąd. Przygoda ta zakończyła się zniszczeniem miernika i wyłączeniem głównego bezpiecznika w domu. Przy pomocy e-doświadczenia można „bezpiecznie” zapoznać się z zagrożeniami związanymi z niewłaściwym użytkowaniem urządzeń elektrycznych. Chociaż tutaj także możliwe jest przepalenie żarówki, opornika czy amperomierza bez groźnych konsekwencji.

Jednym z głównych celów dydaktycznych e-doświadczenia jest zapoznanie uczniów z obsługą przyrządów używanych później na lekcjach fizyki, czy techniki. Wracając jeszcze do własnych czasów studenckich pamiętam, iż zetknąłem się z pewnymi rodzajami zasilaczy, których niejednokrotnie obsługa nastęczała mi trudności. W obecnej praktyce dydaktycznej zauważyłem także, iż studenci pierwszego roku przychodzący na zajęcia laboratoryjne z fizyki często nie potrafią obsługiwać nowoczesnych zasilaczy, powszechnie używanych w laboratoriach studenckich i naukowych. Cechą tych zasilaczy jest możliwość niezależnego ustawienia wyjściowego napięcia oraz natężenia prądu. Właśnie taki zasilacz zasymulowano w e-doświadczeniu „Obwody prądu stałego”.

Wreszcie e-doświadczenie pozwala zainteresowanym uczniom na samodzielne eksperymentowanie, biorąc pod uwagę fakt, iż mają oni często ograniczony kontakt z doświadczeniem podczas zajęć lekcyjnych.

### Opis e-doświadczenia

E-doświadczenie „Obwody prądu stałego” jest symulacją komputerową rzeczywistego doświadczenia. W e-doświadczeniu można korzystać z gotowych układów lub budować własne obwody elektryczne. W zestawie znajdują się: zasilacz, zestaw baterii, amperomierz, woltomierz, galwanometr, różne rodzaje potencjometrów, pudełko z opornikami, bezpiecznikami oraz żarówkami, zestaw przewodów oraz płytka perforowana, na której można budować obwody.



Rys.1. Widok okna głównego e-doświadczenia „Obwody prądu stałego”. U dołu znajduje się przewijany panel z powiększonymi skalami urządzeń i mierników.

Do e-doświadczenia dołączona jest instrukcja z propozycjami trzydziestu ćwiczeń do wykonania. Dostępna jest także rozszerzona wersja instrukcji dla nauczyciela. W instrukcji poruszone zostały następujące zagadnienia:

- Obsługa zasilacza oraz podłączanie woltomierza i amperomierza
- Pomiar napięcia i natężenia prądu
- Prawo Ohma
- Wyznaczanie oporu właściwego
- Prawa Kirchhoffa
- Łączenie żarówek i oporników
- Mostek Wheatstone’a
- Ogniwa galwaniczne
- Dzielniki napięcia i prądu
- Czy urządzenie pomiarowe może zaburzyć obwód elektryczny?
- Bezpieczniki i wyłączniki

Pierwszy rozdział instrukcji zawiera wstęp do teorii obwodów prądu stałego. W kolejnym rozdziale omówiono zagadnienia związane z obsługą e-doświadczenia oraz jego narzędzi, w szczególności pracy z zasilaczem oraz sposobem podłączania amperomierza i woltomierza w obwodzie elektrycznym.

Poniżej chcielibyśmy przybliżyć państwu wybrane ćwiczenia, możliwe do wykonania przy pomocy e-doświadczenia:

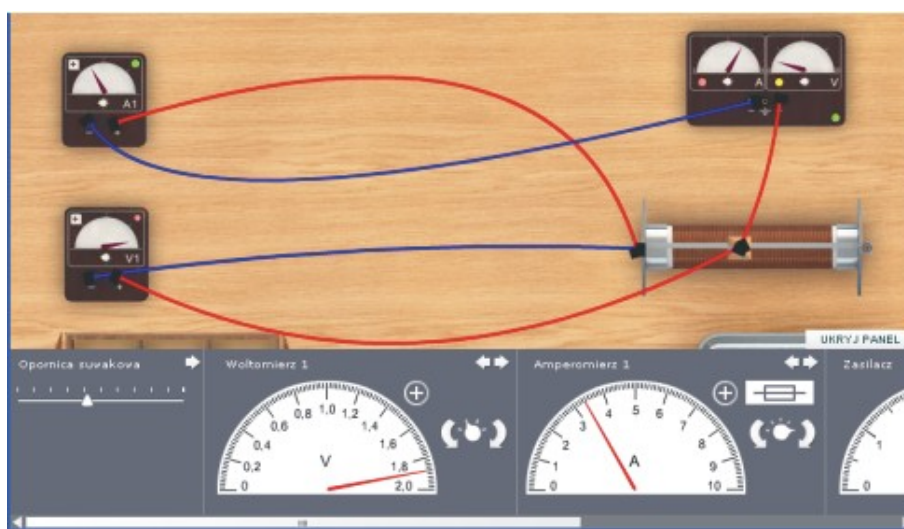
### Ćwiczenie 1 Wyznaczanie oporu właściwego

Wielkość oporu elektrycznego przewodników o takich samych wymiarach, lecz wykonanych z różnych materiałów będzie różna. Wartość oporu elektrycznego danego materiału określa wielkość zwana opornością właściwą  $\rho$ . Można zapisać opór przewodnika poprzez oporność właściwą materiału, z którego wykonany jest przewodnik w następujący sposób:

$$R = \rho \frac{l}{s}. \quad (1)$$

Jak widać, opór przewodnika zależy od rodzaju materiału ( $\rho$ ), długości przewodnika ( $l$ ) oraz pola przekroju poprzecznego przewodnika ( $s$ ).

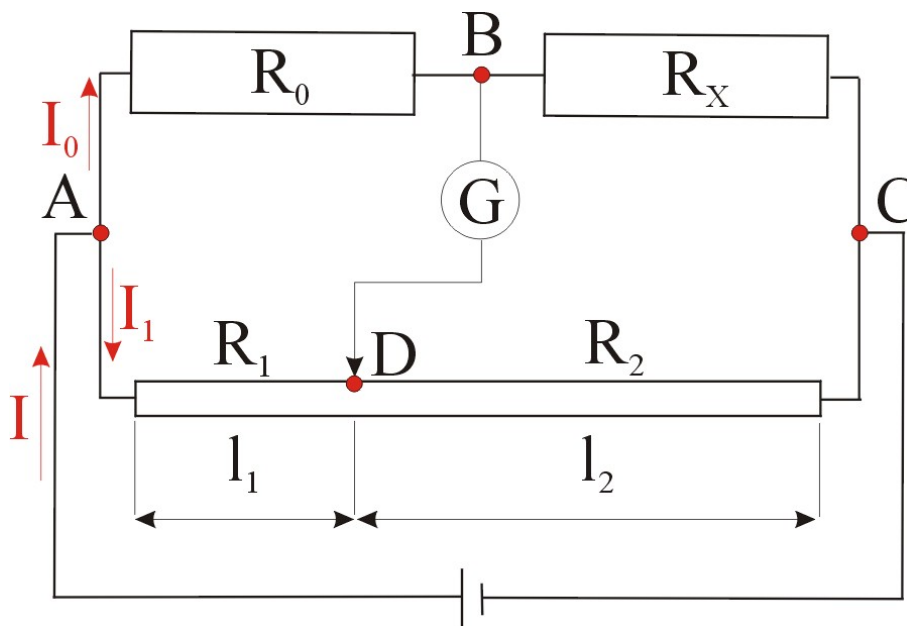
Do wyznaczania oporności właściwej drutów w tym e-doświadczeniu wykorzystuje się opornice suwakowe. Opornica zbudowana jest z cylindra wykonanego z izolatora, na którym nawinięty jest drut oporowy. Po powierzchni opornicy przesuwac można suwak. Przesuwanie suwaka zmienia długość drutu pomiędzy jednym z końców opornicy a suwakiem, a zatem zmienia także opór, który zależy od długości. W e-doświadczeniu dostępne są opornice wykonane z trzech różnych materiałów (miedzi, platyny oraz chromonikieliny), a także opornice miedziane o różnej średnicy drutu. Umożliwia to badanie zależności oporu od długości drutu, rodzaju materiału oraz jego przekroju. Uczeń posiadając informację na temat średnicy zwojów oraz ich ilości, na podstawie aktualnego położenia suwaka, może określić długość drutu oporowego. Ostatecznie w pomiarze tym można wyznaczyć wartość oporu właściwego materiału, z którego jest wykonany drut i porównać otrzymaną wartość z wartością podaną w tablicach fizycznych e-doświadczenia. To doświadczenie można zrealizować wybierając z zakładki „Narzędzia” gotowy schemat numer 10.



Rys.2. Układ opornicy suwakowej do wyznaczania oporu drutu. Położeniem suwaka opornicy steruje się w wysuwającym panelu dolnym.

## Ćwiczenie 2 Wyznaczanie nieznanego oporu za pomocą układu mostka Wheatstone'a

Schemat układu mostka Wheatstone'a przedstawiony jest na poniższym rysunku. Składa się on z galwanometru (G) oraz czterech oporników. Opory  $R_1$  oraz  $R_2$  można regulować poprzez zmianę położenia suwaka D listwy oporowej. Zamiast galwanometru można użyć także zwykły amperomierz a nawet woltomierz.



Rys.3. Schemat układu mostka Wheatstone'a.

Mostek Wheatstone'a wykorzystuje się do wyznaczenia nieznanego oporu  $R_x$ . W tym celu przesuwa się suwak D, do momentu gdy przez galwanometr nie płynie prąd. Brak przepływu prądu oznacza, iż potencjały elektryczne w punkcie B i D są takie same. Stąd wynika, że różnica potencjałów (czyli napięcie) między punktami A i B ( $U_{AB}$ ) jest taka sama jak między punktami A i D ( $U_{AD}$ ):

$$U_{AB} = U_{AD}. \quad (2)$$

Analogicznie napięcia między punktami B i C ( $U_{BC}$ ) oraz D i C ( $U_{DC}$ ) są sobie równe:

$$U_{BC} = U_{DC}. \quad (3)$$

Używając prawa Ohma powyższe zależności można zapisać w postaci:

$$I_0 R_0 = I_1 R_1, \quad (4)$$

$$I_0 R_x = I_1 R_2. \quad (5)$$

Dzieląc stronami powyższy układ równań, otrzymamy:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (6)$$

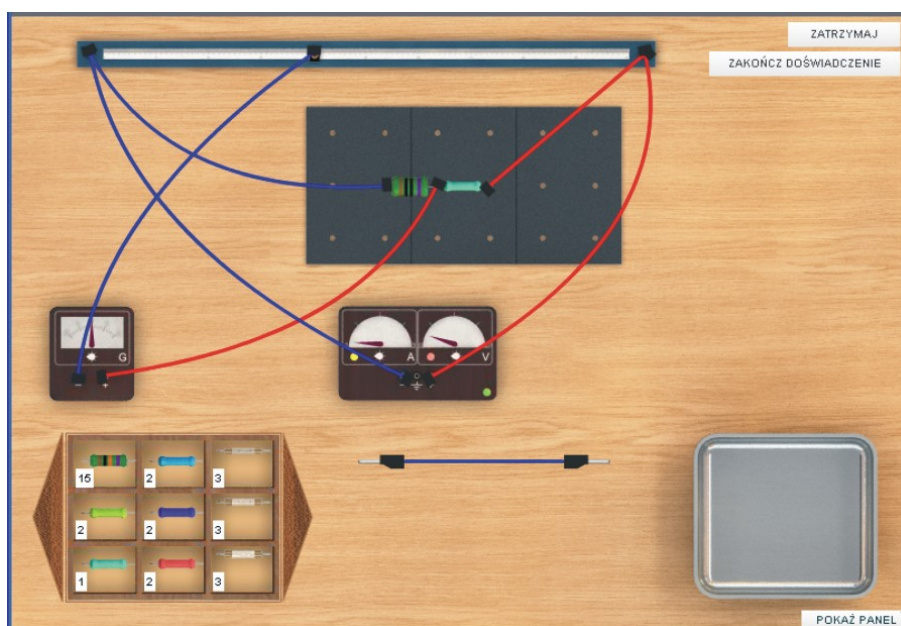
Opory  $R_1$  oraz  $R_2$  są wykonane z tego samego drutu, o takiej samej średnicy. Pamiętajmy wzór na opór przewodnika:

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{s}, \quad (7)$$

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{s}. \quad (8)$$

Zatem ich opór zależy wyłącznie od ich długości  $l_1$  i  $l_2$ , które zmienia się poprzez zmianę położenia suwaka:

$$R_x = R_0 \frac{l_2}{l_1}. \quad (9)$$

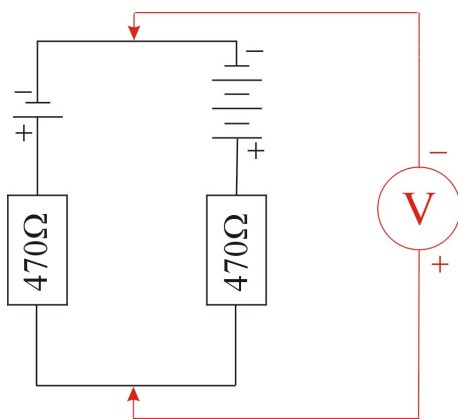


**Rys.4. Realizacja układu mostka Wheatstone'a przy pomocy e-doświadczenia.**

Opisany układ należy samodzielnie złożyć z dostępnych elementów. Używana się tu listwa oporowa z suwakiem o długości 1 m posiadająca skalę milimetrową, pozwalającą na precyzyjny odczyt.

### Ćwiczenie 3 Łączenie ogniów – prosty komputer

Równoległe łączenie dwóch lub większej ilości ogniów o różnych SEM zgodnie z poniższym schematem daje ciekawe rezultaty.

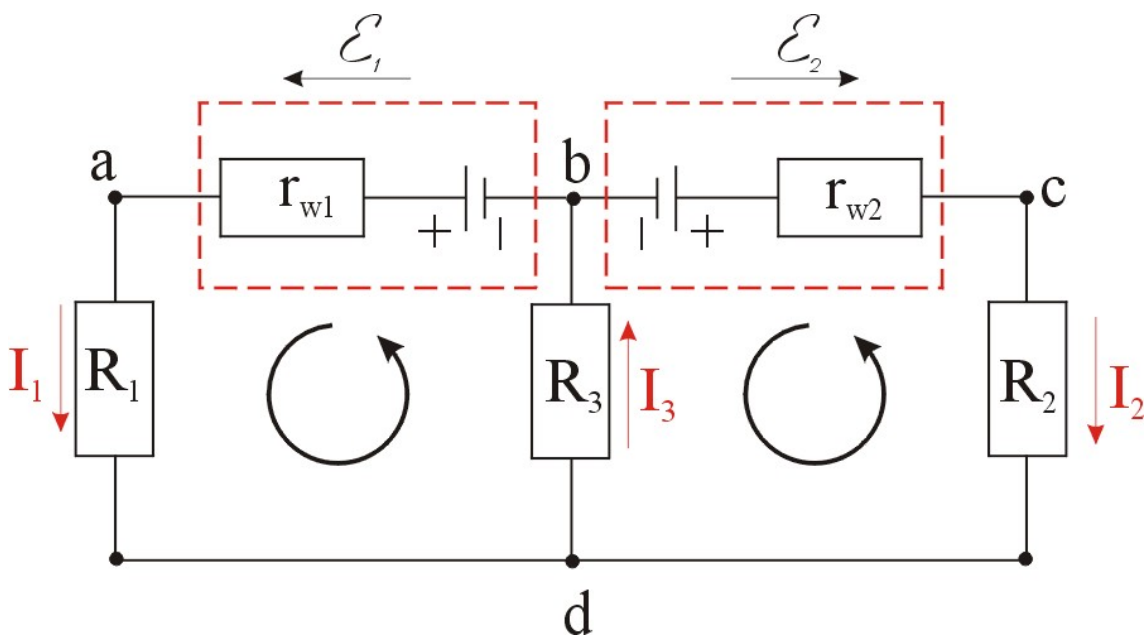


Rys.5. Schemat połączenia dwóch ogniw (czy też dwóch baterii). Użycie oporników zapobiega wzajemnemu ładowaniu oraz rozładowywaniu się połączonych ogniw.

Podłączony do układu ogniw woltomierz wskazuje napięcie będące średnią arytmetyczną SEM połączonych równolegle ogniw.

#### Ćwiczenie 4 Prawa Kirchhoffa – badanie obwodu o dwóch oczkach

W poniższym przykładzie (Rys.6) przedstawiono obwód posiadający dwa oczka.



Rys.6. Schemat obwodu o dwóch oczkach. Opory  $r_{w1}$  oraz  $r_{w2}$  to opory wewnętrzne użytych baterii, zaś  $\mathcal{E}_1$  oraz  $\mathcal{E}_2$  to wartości ich SEM.

Używając praw Kirchhoffa wyznaczymy natężenia prądów  $I_1$ ,  $I_2$  oraz  $I_3$ , płynących w poszczególnych gałęziach obwodu.

Z pierwszego prawa Kirchhoffa można zapisać zależność między prądami wpływającymi i wypływającymi z węzła  $d$  w następującej postaci:

$$I_1 + I_2 = I_3. \quad (10)$$

W przypadku, gdybyśmy przyjęli inny kierunek jednego z prądów, to ostatecznie obliczenia matematyczne i tak wykażą tę nieprawidłowość. Jeżeli w otrzymanym wzorze na natężenie prądu pojawi się znak minus, oznaczać to będzie, iż kierunek przepływu prądu ma być przeciwny niż założono.

Przyjmując kierunek obiegu oczka taki jak na rysunku za pomocą strzałki wygiętej w kształt okręgu, dla lewego oczka możemy zapisać drugie prawo Kirchhoffa w następującej postaci:

$$\mathcal{E}_1 - I_1 r_{w1} - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0. \quad (11)$$

Dla prawego oczka otrzymujemy:

$$- \mathcal{E}_2 + I_2 r_{w2} + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 0. \quad (12)$$

Rozwiązując układ trzech równań (10), (11) oraz (12) otrzymujemy wartości natężeń prądów  $I_1$ ,  $I_2$  oraz  $I_3$ :

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1(r_{w2} + R_2 + R_3) - \mathcal{E}_2 R_3}{r_{w1}(r_{w2} + R_2) + R_1(r_{w2} + R_2) + R_3(r_{w1} + R_1) + R_3(r_{w2} + R_2)}, \quad (13)$$

$$I_2 = \frac{-\mathcal{E}_1 R_3 + \mathcal{E}_2(r_{w1} + R_1 + R_3)}{r_{w1}(r_{w2} + R_2) + R_1(r_{w2} + R_2) + R_3(r_{w1} + R_1) + R_3(r_{w2} + R_2)}, \quad (14)$$

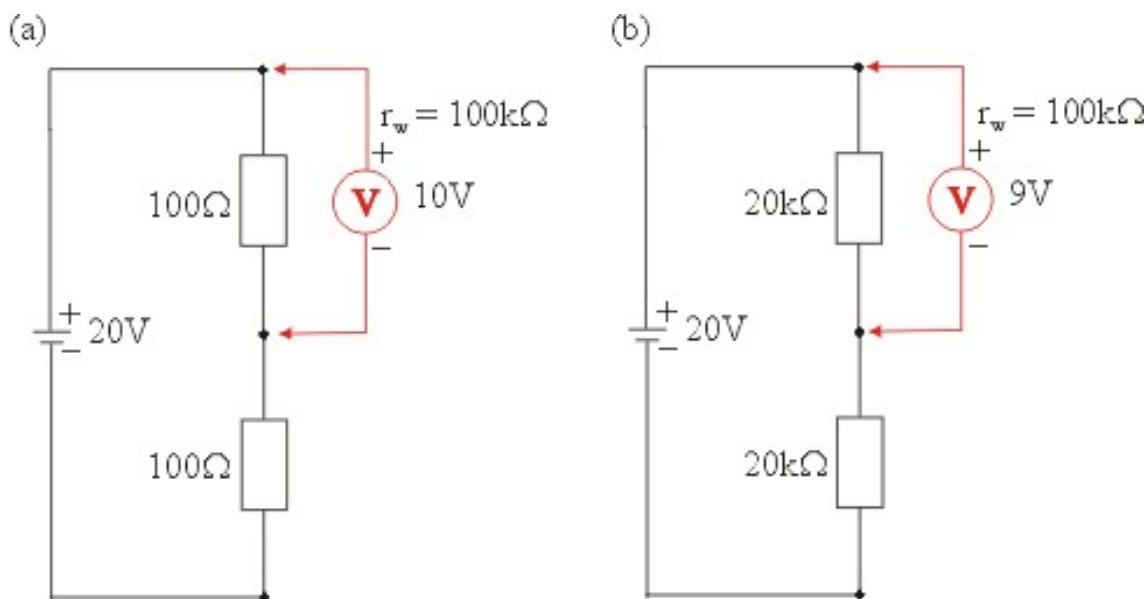
$$I_3 = \frac{\mathcal{E}_1(r_{w2} + R_2) + \mathcal{E}_2(r_{w1} + R_1)}{r_{w1}(r_{w2} + R_2) + R_1(r_{w2} + R_2) + R_3(r_{w1} + R_1) + R_3(r_{w2} + R_2)}. \quad (15)$$

Z powyższych równań widać, że  $I_3$  jest zawsze dodatni, czyli skierowany zawsze w tę stronę, w którą założyliśmy. Prądy  $I_1$  oraz  $I_2$  mogą być różnie skierowane, zależnie od wartości parametrów  $R$  i  $\mathcal{E}$ .

Powyżej przedstawiono analizę teoretyczną tego zagadnienia. W ramach e-doświadczenia uczeń może zbudować opisany obwód oraz sprawdzić doświadczalnie wyciągnięte powyżej wnioski. Dla uproszczenia można zacząć od użycia dwóch jednakowych ogniw oraz jednakowych oporników. Wówczas zależności (13–15) znacznie się upraszczają. Zadaniem ucznia jest sprawdzenie od czego zależy kierunek przepływu prądu w poszczególnych gałęziach obwodu, a także na podstawie zmierzonych wartości natężeń prądów wyznaczenie oporów wewnętrznych użytych baterii. Przy pomocy e-doświadczenia możliwe jest także rozważanie obwodów o większej ilości oczek, podczas gdy analiza teoretyczna takich obwodów znacznie się już komplikuje.

## Ćwiczenie 5 Czy urządzenie pomiarowe może zaburzyć obwód elektryczny?

Woltomierz, aby zmierzyć napięcie na danym elemencie badanego układu, podłącza się równolegle. Idealny woltomierz powinien się charakteryzować nieskończonym oporem, tak aby nie płynął przez niego prąd. W rzeczywistych woltomierzach opór wewnętrzny miernika, w zależności od klasy przyrządu, ma pewien skończony opór wewnętrzny, przez co może zaburzać badany układ. Zaburzenie to jest tym większe, im wartość mierzonego opornika jest bliższa wartości oporu wewnętrznego woltomierza.



**Rys.7. Układ dzielnika napięcia. Pomiar woltomierzem o oporze wewnętrznym  $r_w=100\text{ k}\Omega$ . (a) Odczyt woltomierza prawidłowy. (b) Odczyt woltomierza fałszywy – zaburzony przez użyte urządzenie pomiarowe.**

Na powyższym rysunku przedstawiono układ dzielnika napięcia. Po połączeniu szeregowym dwóch jednakowych oporników do źródła napięcia 20V, na każdym z oporników powinno się rejestrować spadek napięcia 10 V (Rys.7(a)). Skończona wartość oporu wewnętrznego woltomierza (w tym przypadku 100 kΩ) powoduje, iż spadek napięcia jest mniejszy niż przewidywany (Rys.7(b)). Przykładowe wartości napięć dla różnych wartości użytych oporników podano w tabeli:

$R\text{ [k}\Omega\text{]}$	$U\text{ [V]}$
1	10
10	9,5
20	9,0
30	8,5

**Tabela 1. Wartości napięć pokazywanych przez woltomierz o oporze wewnętrznym  $r_w=100\text{ k}\Omega$  dla różnych wartości oporników użytych w dzielniku napięcia.**

E-doświadczenie „Obwody prądu stałego” można pobrać bezpłatnie ze strony: [doswiadczenia.mif.pg.gda.pl](http://doswiadczenia.mif.pg.gda.pl)