

## Badanie oporu właściwego metali

P. Barski<sup>a</sup>, H. Urban<sup>a</sup>, W. Matysiak<sup>b</sup>, M. Szindler<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Studenckie Koło Naukowe Nanotechnologii i Materiałów Funkcjonalnych  
email: pawebar243@student.polsl.pl,

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: wiktormatysiak@polsl.pl, magdalena.szindler@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono metodę pomiaru oporu czterech przewodników o różnych wielkościach przekroju poprzecznego, a także sposób obliczenia oporu właściwego dla poszczególnych próbek.

**Słowa kluczowe:** badanie przewodników, prawo Ohma, prawo Kirchoffa, opór właściwy.

## 1. WSTĘP TEORETYCZNY

### 1.1. Prąd elektryczny

Prąd elektryczny to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych, zachodzących pod wpływem pola elektrycznego. Podstawowymi wielkościami opisującymi go w obwodzie elektrycznym są natężenie prądu ( $I$ ) i napięcie elektryczne ( $U$ ).

### 1.2. Prawo Ohma

Związek między natężeniem prądu ( $I$ ) i napięciem elektrycznym ( $U$ ) zawarto w prawie Ohma, które opisuje stosunek napięcia elektrycznego przyłożonego do elementu o pewnym oporze, przez który płynie prąd, zatem natężenie prądu jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia,  $I=U/R$ , co po niewielkich przekształceniach daje wzór na opór przewodnika:

$$R = \frac{U}{I}$$

gdzie:

$R$  – opór [ $\Omega$ ],  $U$  – napięcie [ $V$ ],  $I$  – natężenie [ $A$ ]

### 1.3. Natężenie prądu

Rozróżnia się dwa rodzaje prądu elektrycznego: prąd stały, którego natężenie nie ulega zmianie w czasie oraz prąd zmienny, w którym następuje zmiana zwrotu i natężenia w funkcji czasu.

Natężenie prądu jest wielkością skalarną równą stosunkowi ładunku elektrycznego przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika do czasu tego przepływu:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

gdzie:

$\Delta q$  – zmiana ładunku równoważna przepływającemu ładunkowi [C]

$\Delta t$  – czas przepływu ładunku [s]

### 1.4. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Pierwsze prawo Kirchhoffa mówi o tym, że suma natężeń prądów wpływających do rozgałęzienia równa jest sumie natężeń prądów wypływających z tego rozgałęzienia.

$$I_c = I_1 + I_2 + I_3$$

gdzie:

$I_c$  – natężenie całkowite [A]

$I_1, I_2, I_3$  – natężenie w opornikach [A]

### 1.5. Napięcie elektryczne

Napięcie elektryczne jest to różnica potencjałów elektrycznych między dwoma punktami obwodu elektrycznego lub pola elektrycznego; stosunek pracy wykonanej podczas przenoszenia ładunku elektrycznego między punktami, dla których określa się napięcie, do wartości tego ładunku:

$$U = \int_A^B E_s ds$$

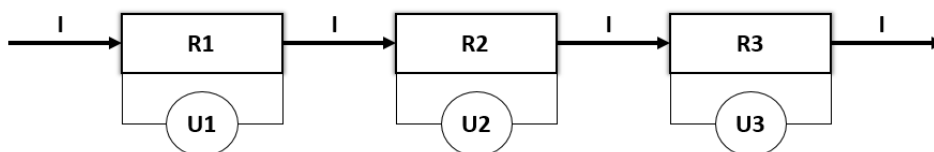
gdzie:

$E_s$  – składowa natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$  wzdłuż drogi łączącej punkty A i B.

### 1.6. Łączenie oporników

Oporniki można łączyć ze sobą na dwa sposoby:

a) szeregowo (Rys.1.), gdy kilka oporników połączonych przewodnikami ustawionych jest jeden za drugim, a różnica potencjałów przyłożona jest do jednego i drugiego końca układu, to wtedy dla  $U_1 = IR_1$ ,  $U_2 = IR_2$  oraz  $U_3 = IR_3$  napięcie całkowite  $U_c$  jest sumą poszczególnych napięć, a wszystkie oporniki można zastąpić jednym, przez który, przy tej samej różnicy potencjałów, przepływa prąd o takim samym natężeniu, jak przez każdy z oporników, co można prosto zapisać jako opór zastępczy  $R_c = R_1 + R_2 + R_3$ .

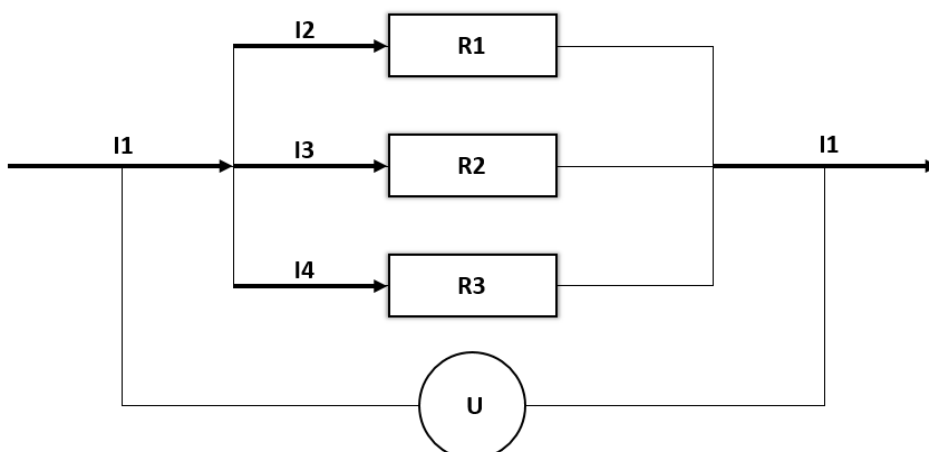


Rys. 1. Schemat łączenia oporników szeregowo  
 Fig. 1. Scheme of several resistors connected in series

b) równolegle (Rys. 2.), czyli w taki sposób, że oporniki z jednej oraz z drugiej strony połączone są za pomocą wspólnych przewodów, do końców których przykładana jest różnica potencjałów  $U$ . Dzięki takiemu połączeniu oporników na każdym z nich występuje takie samo napięcie o wartości  $U$ , które wytwarza na każdym rezystorze prąd o różnym natężeniu, a w przypadku rezystorów o jednakowym oporze, prąd przepływający przez te rezystory będzie miał taką samą wartość.

$$\frac{U}{R_c} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



Rys. 2. Schemat łączenia oporników równolegle  
 Fig. 2. Scheme of several resistors connected in parallel

### 1.7. Opór właściwy

Z szeregowego łączenia przewodników wynika, że opór elektryczny przewodnika jest wprost proporcjonalny do jego długości, zatem  $R \sim l$ , gdzie  $l$  to długość przewodnika wyrażona w metrach. Z połączenia równoległego natomiast opór elektryczny przewodnika jest odwrotnie proporcjonalny do jego pola przekroju poprzecznego  $S$  wyrażonego w  $\text{mm}^2$ , czyli  $R \sim 1/S$ . Wniosek z tego taki, że opór elektryczny zależy od długości i przekroju przewodnika:  $R \sim l/S$

Aby zamiast znaku proporcjonalności użyć znaku równości należy wymnożyć iloraz długości przewodnika i pola przekroju przez pewien stały współczynnik, charakterystyczny dla każdego materiału, zatem:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gdzie:

$\rho$  - opór właściwy [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ].

Po przekształceniu powyższego otrzymuje się wzór pozwalający na obliczenie oporu właściwego:

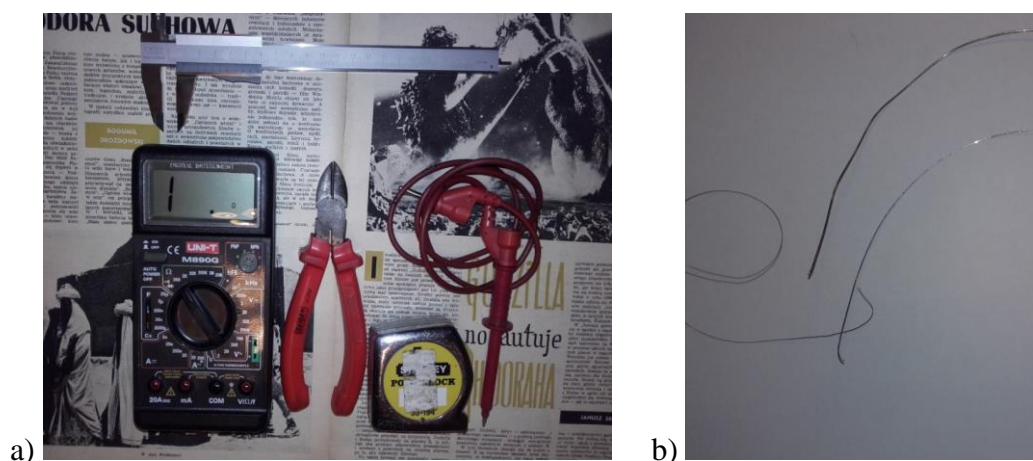
$$\rho = R \frac{S}{l}$$

Dla przewodników o przekroju kołowym do policzenia pola przekroju należy zastosować prosty wzór  $S = \pi r^2$ , gdzie  $r$  jest promieniem przekroju przewodnika wyrażonym w mm.

## 2. BADANIE OPORU WŁAŚCIWEGO

Na początku należało skompletować sprzęt badawczy tj.: omomierz, suwmiarkę, obciążki boczne, miarę (Rys. 3.). Do badań zebraliśmy cztery przewody, każdy o innym przekroju poprzecznym, wykonane z nieznanego nam materiału (Rys. 4.).

Wszystkie przewody przed pomiarem oczyściliśmy i skróciliśmy do długości jednego metra. Dokonywaliśmy pomiarów omomierzem, a uzyskane wyniki spisywaliśmy. Następnie podzieliliśmy metrowe przewody na mniejsze odcinki i znów dokonywaliśmy pomiarów. Zmierzyliśmy także średnice przewodów i obliczyliśmy pola przekrojów próbek. Mając przekrój poprzeczny wyliczyliśmy opór właściwy badanego materiału z wykorzystaniem wzorów wyprowadzonych w części teoretycznej. Wyniki badań i obliczeń zebrano i przedstawiono w Tabelcy 1.



Rys. 3. Przyrządy użyte w badaniu (a) oraz badane przewody (b)  
 Fig. 3. Instruments used in the research (a) and tested conductors (b)

Tablica 1. Wyniki pomiarów i obliczeń dla badanych próbek

Table 1. Results of measurements and calculations for the samples

| <b>Próbka 1</b> |                |             |                   |                  |   |
|-----------------|----------------|-------------|-------------------|------------------|---|
| Promień<br>[mm] | Długość<br>[m] | Opór<br>[Ω] | Pole<br>przekroju | Opór<br>właściwy | Średni opór<br>[Ω · mm <sup>2</sup> /m] |
| 0,3             | 1              | 5,2         | 0,2826            | 1,47             | 1,58                                    |
| 0,3             | 0,5            | 2,6         | 0,2826            | 1,47             |   |
| 0,3             | 0,3            | 1,8         | 0,2826            | 1,69             |   |
| 0,3             | 0,25           | 1,4         | 0,2826            | 1,58             |   |
| 0,3             | 0,15           | 0,9         | 0,2826            | 1,60             |   |
| <b>Próbka 2</b> |                |             |                   |                  |   |
| Promień<br>[mm] | Długość<br>[m] | Opór<br>[Ω] | Pole<br>przekroju | Opór<br>właściwy | Średni opór<br>[Ω · mm <sup>2</sup> /m] |
| 0,2             | 1              | 11,6        | 0,1256            | 1,46             | 1,49                                    |
| 0,2             | 0,5            | 5,7         | 0,1256            | 1,43             |   |
| 0,2             | 0,3            | 3,5         | 0,1256            | 1,47             |   |
| 0,2             | 0,25           | 3           | 0,1256            | 1,51             |   |
| 0,2             | 0,15           | 1,9         | 0,1256            | 1,59             |   |
| <b>Próbka 3</b> |                |             |                   |                  |   |
| Promień<br>[mm] | Długość<br>[m] | Opór<br>[Ω] | Pole<br>przekroju | Opór<br>właściwy | Średni opór<br>[Ω · mm <sup>2</sup> /m] |
| 0,1             | 1              | 45          | 0,0314            | 1,41             | 1,42                                    |
| 0,1             | 0,5            | 22,7        | 0,0314            | 1,43             |   |
| 0,1             | 0,3            | 13,7        | 0,0314            | 1,43             |   |
| 0,1             | 0,25           | 11,35       | 0,0314            | 1,42             |   |
| 0,1             | 0,15           | 6,6         | 0,0314            | 1,38             |   |
| <b>Próbka 4</b> |                |             |                   |                  |   |
| Promień<br>[mm] | Długość<br>[m] | Opór<br>[Ω] | Pole<br>przekroju | Opór<br>właściwy | Średni opór<br>[Ω · mm <sup>2</sup> /m] |
| 0,05            | 1              | 78,9        | 0,00785           | 0,62             | 0,62                                    |
| 0,05            | 0,5            | 39,2        | 0,00785           | 0,62             |   |
| 0,05            | 0,3            | 24          | 0,00785           | 0,62             |   |
| 0,05            | 0,25           | 19,7        | 0,00785           | 0,62             |   |
| 0,05            | 0,15           | 11,7        | 0,00785           | 0,61             |   |

### **3. PODSUMOWANIE**

Analizując zebrane wyniki badań stwierdzono, że wraz ze wzrostem pola przekroju badanego materiału wartość jego oporu maleje, natomiast opór właściwy materiału bez względu na wymiary pozostaje taki sam. Dowiedziono zatem eksperymentalnie, że opór właściwy jest wielkością stałą, charakterystyczną dla danego materiału. Po zestawieniu wyników otrzymanych z danymi zawartymi w źródłach literaturowych ustalono, że badane przewodniki zostały wykonane ze stali kanthal.

### **4. LITERATURA**

1. Pracownia fizyczna, Szydłowski Henryk, PWN 1989.
2. Inżynieria materiałowa, Ashby Michael, Shercliff Hugh, Cebon David, Galaktyka Wydawnictwo 2012
3. Wstęp do inżynierii materiałowej, Blicharski Marek, WNT 2001
4. Bobrowski C. „Fizyka: krótki kurs”. Warszawa, WNT 2007.
5. Halliday D., Resnick R, Walker J. „Podstawy fizyki”. Warszawa, WNT 2007.
6. Strykowski S. „Materiałoznawstwo elektryczne”. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej 1997.
7. Hempowicz P. i inni. „Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków”. Warszawa WNT 2005.
8. Gierczak E., Ciosek K., Włodarczyk M. „Laboratorium elektrotechniki dla wydziałów nieelektrycznych”. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej 1997, 1999.
9. Encyklopedia – Fizyka z astronomią, Alicja Nawrot, Dorota Karolczak, Jadwiga Jaworska, Wydawnictwo Greg, Kraków 2014