Zad. E06A	**I PRACOWNIA FIZYCZNA** **Instytut Fizyki US**
Temat:	**Prawo Ohma – doświadczalne potwierdzenie, wyznaczanie rezystancji przewodnika**

Cel: Nabranie umiejętności tworzenia i montażu prostych obwodów elektrycznych ze źródłem napięcia, miernikami elektrycznymi. Zbadanie zależności $I = I(U)$ lub $U = U(I)$ dla przewodnika – drutu oporowego oraz wyznaczenie jego rezystancji. Prawidłowe i szczegółowe opracowanie danych pomiarowych, wykonanie wykresów badanych zależności, obliczenie i analiza niepewności pomiaru. Wykształcenie u studenta samodzielnego posługiwania się aparaturą pomiarową oraz umiejętności analizy i interpretacji wyników pomiarów.

Przyrządy: Przewodnik – drut oporowy zawieszony między słupkami lub deska z 8 odcinkami drutu, każdy o długości ok. 0,5 m i rezystancji ok. 10 Ω. Źródło napięcia prądu elektrycznego – regulowany zasilacz prądu stałego M10-SP typu SPM18-3E lub SP-305E, 2 uniwersalne cyfrowe mierniki elektryczne UT 90A, przewody do połączeń, miarka zwijana kl. II do pomiaru długości, mikrometr cyfrowy.

1. ZAGADNIENIA

1. Znajomość zagadnień BHP w zakresie bezpiecznej pracy na stanowisku laboratoryjnym w pracy z prądem elektrycznym. Prąd rażeniowy.
2. Skutki cieplne przepływu prądu elektrycznego.
3. Łączenie mierników i odbiorników prądu elektrycznego.
4. Prąd elektryczny i opór elektryczny. Prawo Ohma.
5. Wielkości elektryczne i ich jednostki. Orientacja w wartościach tablicowych metali stosowanych do zastosowań elektrycznych.

2. OPIS ZAGADNIENIA

A. Wprowadzenie

Natężenie prądu elektrycznego I płynącego w przewodniku, w ustalonej temperaturze, jest wprost proporcjonalne do napięcia U na jego końcach:

$$I \sim U, \quad I = \frac{1}{R}U. \tag{1}$$

Odwrotność współczynnika proporcjonalności nazywamy oporem elektrycznym (rezystancją). Opór elektryczny przewodnika R to wielkość charakteryzująca przewodnik, stała w danej temperaturze, równa stosunkowi napięcia U przyłożonego do jego końców do wywołanego w nim natężenia prądu elektrycznego I. Jednostką oporu elektrycznego jest om: $1\ \Omega = (1\ \mathrm{V})/(1\ \mathrm{A})$.

Opór przewodnika (rezystancja) w danej temperaturze zależy od jego długości, pola powierzchni przekroju poprzecznego S i od rodzaju materiału:

$$R = \rho\frac{l}{S}, \tag{2}$$

gdzie ρ – opór właściwy (rezystywność), to stała materiałowa charakteryzująca materiały ze względu na ich zdolność przewodzenia prądu elektrycznego.

$$\rho = R\frac{S}{l}, \qquad [\rho] = \Omega \cdot \mathrm{m}\ \text{(omometr)}. \tag{3}$$

Opory właściwe metali mogą się dość znacznie różnić, np. dla miedzi – $\rho_{\mathrm{Cu}} = 1{,}71 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$; dla żelaza – $\rho_{\mathrm{Fe}} = 9{,}71 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$; dla konstantanu (stop miedzi i niklu) – $\rho_{\mathrm{CuNi45}} = 52{,}1 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$; dla chromonikieliny – $\rho_{\mathrm{NiCr15}} = 111{,}1 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$.

Odwrotność R jest def. jako konduktancja (przewodność elektryczna) i ozn. literą G, natomiast odwrotność ρ jest def. jako konduktywność (przewodność elektryczna właściwa materiału przewodnika) i oznaczana literą γ lub σ. Jednostką przewodności elektrycznej jest simens, ozn. S: 1 S = 1 Ω^{-1}, jednostką konduktywności jest siemens na metr.

Zależność oporu przewodnika od temperatury, dla większości metali jest w przybliżeniu liniowa i dla dość szerokiego przedziału temperatur prawdziwy jest wzór:

$$R(T) = R_0[1 + \alpha_R(T - T_0)], \tag{4}$$

gdzie R_0 oznacza opór przewodnika w temperaturze T_0, α_R – temperaturowy współczynnik oporu (np. dla miedzi – $\alpha_{R,\,\mathrm{Cu}} = 3{,}9 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$, dla żelaza – $\alpha_{R,\,\mathrm{Fe}} = 6{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$; dla konstantanu $\alpha_{R,\,\mathrm{CuNi45}} = 0{,}03 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$, dla chromonikieliny – $\alpha_{R,\,\mathrm{NiCr15}} = 0{,}1 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$).

3. PRZEBIEG WYKONANIA ĆWICZENIA

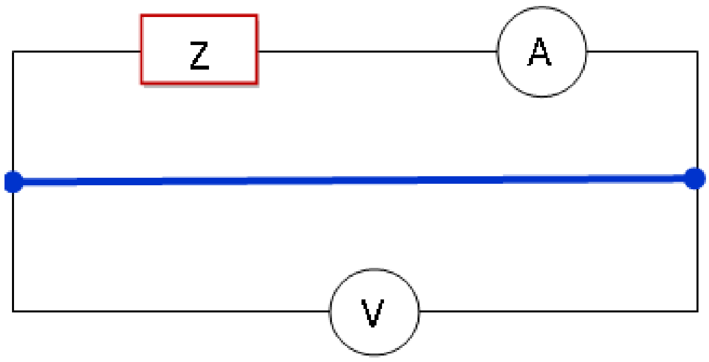
A. Metoda pomiarów.

W układzie pomiarowym – rys. 1, dokonujemy pomiaru natężenia płynącego prądu w obwodzie dla różnych wartości napięcia, które ustalamy na zasilaczu laboratoryjnym. Maksymalne natężenie prądu elektrycznego I_{Max} = 150 mA. Ponieważ opór wewnętrzny woltomierza jest dużo większy od wartości oporu wewnętrznego amperomierza oraz badanego przewodnika – drutu oporowego, ozn. pogrubioną niebieską linią, więc mierzona wartość napięcia na woltomierzu jest prawie dokładnie równa spadkowi napięcia na badanym przewodniku, natomiast amperomierz wskazuje wartość natężenia prądu płynącego w badanym przewodniku. Dla badanego układu doświadczalnego, dla ustalonej długości przewodnika, należy zaplanować pomiary – obliczyć U_{Max}, przyjmując liczbę pomiarów n = 12 (około, dla różnych wartości U) obliczyć o jaką wartość należy zmieniać napięcie. Przyjąć wartość „okrągłą" dogodną do prezentacji wyników, tj. jeśli wartość tą przyjmiemy za U_1 to kolejne powinny w przybliżeniu być równe: $U_i = i\,U_1$, gdzie $i = 1, 2, \ldots, n$. Można, w uzasadnionych przypadkach, ograniczyć się do mniejszej niż 12 wartości $i\,U_1$.

Ponieważ przy przepływie prądu przewodnik się nagrzewa nie należy przedłużać pomiarów. Z tego też względu wskazane jest je powtórzyć dla malejących wartości napięcia, jednak po wyłączeniu zasilania i zrobieniu krótkiej przerwy na ostygnięcie przewodnika.

Dla przyjętego planu przygotować tabelkę pomiarową.

B. Układ doświadczalny.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego. Z – regulowany zasilacz prądu stałego; A – amperomierz, miernik uniwersalny ustawiony na zakresie prądowym 200 mA DC; V – woltomierz, miernik uniwersalny ustawiony na zakresie napięciowym 20 V DC;

C. Wykonanie doświadczenia.

1. Jeden z mierników uniwersalnych UT 90A [6], z oznaczeniem na obudowie V, ustawić na zakres napięciowy 20 V DC a drugi, z oznaczeniem na obudowie A, na zakres prądowy 200 mA DC. Sprawdzić w instrukcji miernika jaka jest dokładność pomiarów na ustawionych zakresach.
2. Regulowany zasilacz prądu stałego M10-SP serii SPM18-3E lub SP – 305E [7] powinien mieć ustawienie granicznej wartości prądu obciążenia w trybie CV (patrz w instrukcji p. „Praca w trybie CV z ograniczeniem prądowym" lub p. 3.3 z instrukcji zasilacza SP – 305E) – 150 mA. Należy upewnić się u prowadzącego.

Uwaga: W trakcie ćwiczenia zmiany prądu w obwodzie dokonujemy jedynie pokrętłem FINE (precyzyjnym). W żadnym wypadku nie wolno obracać pokrętłem CURRENT (skrajne lewe lub dolne.

Sprawdzić działanie zasilacza.

3. Zbudować układ zgodnie ze schematem – rys. 1, przewodnik (drut oporowy o wybranej długości – takiej aby I_{max} < 190 mA) połączyć za pomocą przewodów ze źródłem napięcia (regulowany zasilacz prądu stałego) i amperomierzem (włączamy szeregowo), podłączyć woltomierz (równolegle).
4. Włączyć zasilacz. Sprawdzić czy napięcie $U = 0$. Włączyć mierniki. Regulując pokrętłem wartości napięcia zasilania (FINE, VOLTAGE), zebrać dane wartości natężenia prądu I płynącego w obwodzie od wybranych wartości napięcia U (od 0 do ok. U_{Max}).
5. Wyłączyć zasilacz i mierniki uniwersalne. Odczekać chwilę.
6. Ponownie włączyć zasilacz i mierniki. Powtórzyć pomiary w odwrotnej kolejności obniżając wartości napięcia od maksymalnej do 0. Z punktu tego można zrezygnować za zgodą prowadzącego.
7. Wyłączyć zasilacz i miernik uniwersalny. Zdemontować układ pomiarowy, zostawić elementy na swoich miejscach.
8. Zmierzyć długość przewodnika – drutu oporowego z zaplanowaną dokładnością. Przewodnik jest z chromonikieliny. Z danych producenta: opór właściwy $1111\ \mathrm{n}\Omega \cdot \mathrm{m}$, średnica d = 0,25 mm. Należy dokonać kilkakrotnych pomiarów średnicy drutu za pomocą mikrometru cyfrowego aby zwiększyć dokładność do co najmniej 3 cyfr znaczących.
9. Za pomocą omomierza zmierzyć opór tego drutu oporowego.

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

A. Przedstawienie zależności, wyznaczenie wartości pomiarowych i niepewności pomiaru. Wyznaczenie wartości pomiarowych.

1. Obliczyć wartości średnie (dla pomiarów wielokrotnych), wartości niepewności granicznej i standardowej dla pomiarów bezpośrednich: U_i, I_i, l, d, R (Dodatek, p. 1 wzór (A). Oblicz wartości udziałów niepewności $u_U(R)$ i $u_I(R)$.
2. Obliczyć wartości średnie (dla pomiarów wielokrotnych) wielkości złożonych R_i (=U_i/I_i oraz wartości średniej (ważonej) z R_i. Obliczeń dokonaj korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarów – Dodatek.
3. W układzie współrzędnych $(I,\ U)$ (lub $(U,\ I)$) z jednostkami na osiach: $[I]$ = mA, $[U]$ = V, zaznacz na papierze milimetrowym punkty odpowiadające wartościom $(I_i,\ U_i)$.

Uwaga: dla $U = 0$, (powinno być) $I = 0$ – ten punkt zaznaczyć z odpowiednimi niepewnościami.

4. Poprowadź odręcznie prostą (półprostą) między zaznaczonymi punktami* – wykres $I = f(U)$. Wyznacz wartość współczynnika kierunkowego i wyrazu wolnego dla dopasowanej prostej.

   * W tym celu najlepiej jest skorzystać z przeźroczystej linijki i tak ją ułożyć aby zminimalizować odległości do punktów pomiarowych tj., aby w przybliżeniu, sumy odległości punktów nad i pod półprostą były sobie równe.).
5. Dla każdego z punktów zaznacz odcinki niepewności – jeśli są wyraźnie większe od symbolu punktu na wykresie. Poprowadzić proste celem wyznaczenia wartości minimalnej i maksymalnej nachylenia prostej $I = f(U)$. Na tej podstawie oszacuj niepewność pomiaru R.
6. Podobnie jak powyżej, z wartości ilorazów U/I sporządź wykres $U/I = f(\mathrm{Lp.})$ i wyznacz wartość R. Zaznacz odcinki niepewności i oszacuj niepewność pomiaru R.
7. Stosując metodę regresji liniowej – Dodatek, wyznacz współczynnik nachylenia prostej i oszacuj niepewność pomiaru R.
8. Oblicz wartość R przewodnika na podstawie pomiaru l, d i znajomości ρ. Wyznacz niepewność pomiaru R.

B. Zestawić otrzymane wartości, niepewności pomiaru. Porównać wartości *R* otrzymane w p. 3. C.9 i 4 A.

Korzystając z przedziałowego *kryterium zgodności wyników pomiarów* – Dodatek p. 3, porównać obliczone wartości *R*.

5. Dokonać dyskusji wyników, zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

Wskazać źródła ewentualnych odstępstw od oczekiwanej zależności, wartości, gdzie są największe niepewności pomiaru.

Odnieść się do: Uwaga w Dodatku p. 4.

LITERATURA

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: *Podstawy fizyki*. Warszawa, PWN, 2007 lub inne wydanie.
2. T. Molenda, J. Stelmach: *Fizyka – prościej, jaśniej*. Szczecin, Interbook, 2003 (lub inne wydanie).
3. H. Szydłowski: *Pracownia fizyczna*. Wyd. IX, PWN, Warszawa 1999 (lub inne wydanie).
4. P. Bilski, M. Dobies, A. Kozak, M. Makrocka-Rydzyk, *Materiały do ćwiczeń ze wstępu do pracowni fizycznej. Normy ISO i matematyka w laboratorium*. Wyd. Naukowe UAM; 2014
5. H. Szydłowski: *Analiza graficzna w nauczaniu fizyki*, Fizyka w Szkole 2/2002, http://dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_270.pdf
6. Instrukcja obsługi *Miernik uniwersalny* UT 90A: www.dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_216.pdf
7. Instrukcja obsługi *Regulowany zasilacz prądu stałego* M10-SP serii SPM18-3E www.dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_217.pdf lub SP – 305E: www.dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_219.pdf

Dodatek

1. Dane z instrukcji dla miernika uniwersalnego UT 90 A [6]:

Napięcie DC: 200 mV / 2 V / 20 V / 200 V; ±(0,5%+2) / 1000 V; ±(0,8%+3)
(należy powiększyć o 2 jednostki na ostatnim miejscu cyfry znaczącej)

Przykład. Jeśli wskazanie na zakresie 20 V wynosi 8,5 to dla 0,5 % mamy 0,0425; Dla 2 cyfr na ost. miejscu znaczącym daje 0,2. Zatem niepewność graniczna pojedynczego pomiaru wynosi: 0,3 (z zaokraglenia liczby 0,2425).

Natężenie prądu stałego DC: 200 μA / 2 mA / 20 mA / 200 mA; ±(1%+5) / 10 A; ±(2%+5)
(należy powiększyć o 5 jednostek na ostatnim miejscu cyfry znaczącej).

Przykład. Jeśli wskazanie na zakresie 200 mA wynosi 107,7 to dla 1 % mamy 1,077. Dla 5 cyfr na ost. miejscu znaczącym daje 0,5. Zatem niepewność graniczna pojedynczego pomiaru wynosi: 1,6 (z zaokraglenia liczby 1,577).

2. Niepewność pomiaru

Niepewność całkowita wielkości *x* mierzonej bezpośrednio:

$$u(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 + \frac{(\Delta_\mathrm{d} x)^2}{3} + \frac{(\Delta_\mathrm{t} x)^2}{3} + u_\mathrm{e}^2(x)} \qquad \text{(A)}$$

gdzie

pierwszy składnik pod pierwiastkiem – niepewność standardowa średniej

następnymi przyczynkami niepewności pomiaru są

$\Delta_\mathrm{d} x$ – niepewność wzorcowania (niepewność wynikająca z dokładności przyrządu)

$\Delta_\mathrm{t} x$ – niepewności wyników zaczerpniętych z literatury, tablic lub kalkulatora

$u_\mathrm{e}(x)$ – niepewność standardowa eksperymentatora.

Złożoną niepewność standardową $u(y)$ – niepewność dla funkcji kilku zmiennych $y = f(x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_N)$ oblicza się korzystając z **prawa przenoszenia niepewności** pomiarów bezpośrednich nieskorelowanych w postaci

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left[c_i u(x_i)\right]^2} \equiv \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_i^2(y)},$$

gdzie N – liczba wielkości mierzonych bezpośrednio, c_i – współczynnik wrażliwości,

$u_i(y) \equiv c_i\, u(x_i)$ – udziały niepewności.

Obliczanie niepewności $u(y)$ można dokonać bez odwoływania się do rachunku różniczkowego korzystając z metody elementarnej – wzoru numerycznego zalecanego przez *Przewodnik GUM* [1] poprzez obliczanie *udziałów niepewności*

$$u_i(y) = \frac{1}{2}\left| f(x_1, \ldots, x_i + u(x_i), \ldots, x_N) - f(x_1, \ldots, x_i - u(x_i), \ldots, x_N)\right| \tag{B}$$

$u_i(y)$ – zmiana wartości funkcji f spowodowana zmianą x_i o $+u(x_i)$ i o $-u(x_i)$.

$u(y)$ obliczamy jako sumę geometryczną udziałów $u_i(y)$:

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_i^2(y)}\,. \tag{C}$$

W przypadku gdy zależność funkcyjna dla f ma postać jednomianu: $y = c\, x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \ldots x_n^{\alpha_n}$, c – stała, wówczas wygodnie jest korzystać z prawa propagacji niepewności względnych[2]

$$\frac{u(y)}{|y|} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left[\alpha_i\, u_{\mathrm{r}}(x_i)\right]^2}\ , \tag{D}$$

gdzie $u_{\mathrm{r}}(x_i) \equiv u(x_i)/|x_i|$ – względna niepewność pomiaru wielkości x_i.

3. Porównywanie wyników

Chcąc porównać otrzymane wyniki z innym wynikiem, np. tablicowym x^{T}, korzystamy z przedziałowego ***kryterium zgodności wyników pomiarów***, czyli sprawdzamy czy dla naszych wyników spełniona jest nierówność:

$$\left|\bar{x} - x^{\mathrm{T}}\right| \le u(\bar{x}) + u(x^{\mathrm{T}})\,. \tag{E}$$

Jeżeli powyższa nierówność nie zachodzi, należy zastąpić niepewność u przez *niepewność rozszerzoną U*, gdzie $U(x) = k\,u(x)$ a współczynnik k, w naszym przypadku należy przyjąć 2. Jeśli i wówczas ta nierówność nie jest spełniona to znaczy, że wyniki nie są zgodne.

Niepewność rozszerzona (*expanded uncertainty*) – zdefiniowana przez „wielkość określającą przedział wokół wyniku pomiaru, taki że można oczekiwać, iż obejmie on dużą część wartości, które w uzasadniony sposób można przyporządkować wielkości mierzonej."

Obie niepewności są powiązane zależnością $U = ku$, gdzie k – współczynnik rozszerzenia. Współczynnik rozszerzenia k zależny jest od liczby pomiarów oraz poziomu ufności (określany jest często mianem *współczynnika Studenta-Fishera* $t_{n,a}$), w większości przypadków przyjmujemy $k = 2$

4. Regresja liniowa – klasyczna (metoda najmniejszych kwadratów)[3]

Jeżeli pomiędzy dwiema wielkościami fizycznymi występuje zależność liniowa to regresja liniowa jest prostą metodą wyznaczenia parametrów najlepiej dopasowanej prostej. Parametry prostej określonej równaniem $\boldsymbol{y = mx + b}$ wyznaczamy przy użyciu ogólnie dostępnych (dość złożonych) wzorów. Znając współczynniki m i b regresji liniowej oraz współczynnik korelacji (Pearsona) r można, korzystając z poniższych wzorów, obliczyć niepewności pomiaru (odchylenia standardowe) typu A (statystyczne)

$$u_{\mathrm{A}}(m) = |m|\sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n-2}}, \qquad u_{\mathrm{A}}(b) = u_{\mathrm{A}}(m)\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n}}\,. \tag{F}$$

Wartości współczynników charakteryzujących prostą dla regresji liniowej szybko otrzymamy korzystając z funkcji wbudowanych w arkuszu kalkulacyjnym.

---

[1] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO, Switzerland 1993, 1995; (dokument wydany w imieniu BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OML). Fundamentalny dokument zbiorowego autora – zespołu międzynarodowych organizacji naukowo-technicznych – dla ustanowienia procedury wyrażania niepewności pomiaru, jest wydany przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) Publikacja jest udostępniona online: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf

[2] Niepewność względna w *Przewodniku GUM* nie ma oddzielnego oznaczenia. W sytuacjach nie powodujących nieporozumień można stosować zapis z indeksem dolnym „r" tj. $u_{\mathrm{r}}(y) \equiv u(y)/y$.

[3] np. P. Bilski, M. Dobies, A. Kozak, M. Makrocka-Rydzyk, *Materiały do ćwiczeń ze wstępu do pracowni fizycznej. Normy ISO i matematyka w laboratorium*. Wyd. Naukowe UAM; 2014; A. Zięba: *Analiza danych w naukach ścisłych i technice*. PWN. Warszawa, 2014.

Współczynnik korelacji liniowej Pearsona r – bezwymiarowy wskaźnik z przedziału [–1, 1] określający stopień liniowej zależności dwóch zestawów danych. Składnia w Excelu: =PEARSON(tablica1;tablica2).

Współczynniki regresji liniowej, składnia w Excelu:

m: =NACHYLENIE(*znane_y*;*znane_x*); b: =ODCIĘTA(*znane_y*;*znane_x*)

Uwaga: zwrócić uwagę, że na pierwszym miejscu jest „*y*" a na drugim „*x*".

Wartości: m i b, $u_A(m)$ i $u_A(b)$ oraz r^2 i $u(r)$ otrzymamy korzystając z bardziej wszechstronnej funkcji tablicowej REGLINP, która zwraca tablicę wartości. Składnia: =REGLINP(*znane_y*;*znane_x*;*stała*;*statystyka*).

Stała – argument opcjonalny; domyślna wartość PRAWDA oznacza normalne liczenie wartości wpółczynnika b; wartość FAŁSZ wymusza , to stała $b = 0$ (wartość m jest dopasowana do danych tak, aby spełnić równanie $y = mx$), tak powinno się pojawić w naszym przypadku.

Statystyka – argument opcjonalny. Jeżeli dla wyświetlenia wartości funkcji oznaczymy obszar „2 kolumny na 2 wiersze (3 wiersze)" i wartością jest:

– PRAWDA, to funkcja w kolejnych wierszach zwraca kolejno: m i b, $u_A(m)$ i $u_A(b)$ – przy zaznaczeniu obszaru z 2 wierszami (oraz r^2 i $u(r)$ przy zaznaczeniu obszaru z 3 wierszami).

– FAŁSZ lub argument został pominięty, to funkcja zwraca jedynie wartości współczynników m i b.

Aby użyć funkcję REGLINP trzeba: (i) zaznaczyć obszar w którym ma się znaleźć wynik; (ii) wpisać nazwę funkcji; (iii) zatwierdzić jej wprowadzanie kombinacją klawiszy *Ctrl*+*Shift*+*Enter*.

Na temat wszystkich statystyk, generowanych przez funkcję REGLINP można przeczytać w Pomocy.

Uwaga. W arkuszu kalkulacyjnym jest wykorzystana tzw. normalna metoda najmniejszych kwadratów, pojawia się pytanie na ile ta metoda, w porównaniu do prostej regresji ortogonalnej z rys., jest uzasadniona.