

T.1. ZASADY OPRACOWANIA SPRAWOZDANIA

WSTĘP

Nieodzowną częścią każdego ćwiczenia laboratoryjnego jest sporządzenie właściwej jego dokumentacji. Z uwagi na różnorodność zadań pomiarowych, wyposażenia i organizacji pracy danego laboratorium, nie jest możliwe podanie tylko jednego, szczegółowego schematu postępowania przy jej wykonywaniu; można jedynie sformułować pewne zalecenia, które w miarę możliwości powinny być spełnione. Z reguły zbiór podstawowych dokumentów obejmuje wypełniany w trakcie wykonywania pomiarów protokół oraz sporządzone na jego podstawie sprawozdanie, stanowiące ostateczne podsumowanie przeprowadzonego eksperymentu.

1. ZASADY WYPEŁNIANIA PROTOKOŁU POMIAROWEGO

Protokół pomiarowy jest dokumentem, który należy prowadzić na bieżąco z wykorzystaniem wcześniej przygotowanego formularza. Powinien on być zwięzły, ale jednocześnie zawierać taką ilość informacji o przeprowadzonym eksperymencie i warunkach w jakich się on odbywał, aby mógł być zrozumiały przez inne osoby nie biorące bezpośredniego udziału w pomiarach.

Wyniki odczytane z przyrządów powinny być natychmiast notowane. Z uwagi na możliwość powstania błędów, niedopuszczalne jest jakiegokolwiek przeliczanie ich w pamięci przed wpisaniem do protokołu. Kolejność czynności powinna być następująca: odczyt – zapis – sprawdzenie odczytu z zapisem. Niewskazane jest również przepisywanie protokołu, głównie ze względu na powstające wówczas pomyłki, przeinaczenia, pomijanie tych wyników, które wydają się mniej ważne lub błędne. Na odrzucenie danego wyniku można decydować się dopiero na etapie ostatecznego sprawozdania, po wykonaniu stosownych obliczeń i rozważeniu wszystkich warunków wykonania eksperymentu.

Mimo wymogów wypełniania na bieżąco, protokół powinien być prowadzony starannie. Niechlujne lub nieczytelne notowanie wyników jest częstym powodem błędnych interpretacji i świadczy o niskiej kulturze technicznej eksperymentatora.

Do podstawowych informacji, które z reguły powinny znaleźć się w każdym protokole należą:

- 1) dane dotyczące osoby lub osób przeprowadzających pomiary, miejsce, data i temat, zestawione najczęściej w formie odpowiedniej tabeli nagłówkowej,
- 2) cel pomiarów,
- 3) niezbędne dane teoretyczne o przeprowadzanych pomiarach (jeśli wymagane),
- 4) wykaz aparatury, najlepiej sporządzony w formie odpowiedniej tabeli, np. tabela 1,

Tabela 1. Przykład wykazu aparatury

Lp	Nazwa i typ przyrządu	Numer punktu pomiarowego	Oznaczenie na schemacie	Uwagi

- 5) ponumerowane schematy układów pomiarowych, umieszczone pod odpowiednimi punktami pomiarowymi,
- 6) wyniki pomiarów sporządzone, o ile to jest tylko możliwe, w postaci tabeli zaopatrzonej w numer i tytuł – np. tabela 2. Tabela jest najbardziej jasną i zwartą formą zapisu. Każda kolumna lub każdy wiersz w tabeli powinny być oznaczone symbolem wielkości, której wartości one zawierają, symbolem jednostki, w której te wartości są podawane oraz numerem porządkowym.

Tabela 2. Wyniki pomiaru pewnej charakterystyki częstotliwościowej

$U_z = \pm 15V$			
Lp.	f	U_1	U_2
-	Hz	mV	mV
1	1	100	238
2	10	100	241
3	100	100	239
4	1000	100	175

Wartość uzyskana z pomiaru jest zawsze liczbą przybliżoną (trudno wyobrazić sobie przyrząd pomiarowy z wyświetlaczem kilkunastopozycyjnym). Stopień tego przybliżenia określa liczba tzw. cyfr znaczących.

Cyframi znaczącymi są cyfry $0 \div 9$, przy czym liczy się je począwszy od pierwszej cyfry nierównej zeru z lewej strony; np. liczba 0,0067 ma dwie cyfry znaczące, zaś liczba 156,08 – pięć cyfr znaczących. Dla zaznaczenia liczby cyfr znaczących, wygodnie jest posługiwać się mnożnikami 10^n lub stosować odpowiednie jednostki pochodne danej wielkości. W tabeli 3 zestawiono przykłady określania cyfr znaczących.

Tabela 3. Przykłady cyfr znaczących

Wartość liczbowa	Liczba cyfr znaczących
812	trzy
$1520 = 1,52 \cdot 10^3$	trzy
$0,032 = 32 \cdot 10^{-3}$	dwie
$0,320 = 32 \cdot 10^{-2}$	dwie

Może się jednak zdarzyć, że w pewnej sytuacji należy uwzględnić także zero podane na ostatniej pozycji wartości liczbowej. Sytuacja taka nastąpi jeśli będziemy mieli do czynienia z serią pomiarową, w której jeden z wielu z wyników kończy się zerem. Zapis wszystkich wyników powinien się odbywać z dokładnością do tej samej liczby miejsc znaczących. Stosowanie się do tej zasady daje pewność - jaka jest wartość ostatniej cyfry znaczącej i nie ma obaw, że wpisujący zapomni ją na przykład dopisać. Przykład pokazano w tabeli 4.

Tabela 4. Przykład zapisu serii pomiarów

Zły zapis serii pomiarowej	Dobry zapis serii pomiarowej
1234,1	1234,1
1234,4	1234,4
1235,1	1235,1
1234	1234,0
1234,2	1234,2

2. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z przeprowadzonych pomiarów tworzy się na podstawie oryginalnego protokołu pomiarów. W zależności od wymagań stawianych autorowi, może ono przybierać różne formy. Najczęściej jednak obejmuje następujące części składowe:

- 1) tabelę nagłkową zawierającą dane o autorze, dacie wykonania i tytule,
- 2) streszczenie będące zwięzłą prezentacją całej treści,
- 3) krótki opis podstaw teoretycznych przeprowadzanego doświadczenia (lub doświadczeń przypisanych do odpowiednich punktów pomiarowych protokołu) z uwzględnieniem zwięzłej prezentacji zastosowanych metod pomiarowych,
- 4) opracowane wyniki pomiarów – wyniki wykonanych obliczeń, przykładowe obliczenia, wykresy,
- 5) dyskusję otrzymanych wyników.

Opracowanie wyniku pomiaru polega na podaniu pary liczb: najbardziej prawdopodobnej wartości wielkości mierzonej oraz przedziału zwanego błędem, w którym z określonym prawdopodobieństwem zawiera się rzeczywista wartość mierzonej wielkości. Ich poprawne wyznaczenie warunkowane jest znajomością podstawowych pojęć i zasad rachunku błędów występujących w pomiarach.

2.1. Klasyfikacja błędów i podstawowe oznaczenia

Każdy pomiar jest obarczony błędem i każdy eksperymentator ma obowiązek oszacować jego poziom. W innym przypadku pomiar jest niewiarygodny gdyż pojęcia pomiar i błąd są nierozdzielalne.

Przyczyny powstawania błędów mogą być różne i mogą mieć różny charakter. W związku z tym błędy można podzielić na przypadkowe, systematyczne, nieczułości i nadmierne (tzw. grube).

Błędy przypadkowe – spowodowane są oddziaływaniem na układ pomiarowy wielu niezależnych czynników, które zmieniają się w czasie w trudny do przewidzenia sposób, oraz subiektywnych właściwości osób wykonujących pomiar.

Błędy systematyczne – spowodowane są oddziaływaniem na układ pomiarowy czynników, które podczas pomiaru są stałe lub zmieniają się według określonej zależności.

Błędy nadmierne – ich charakter jest w zasadzie podobny do błędów przypadkowych, ale ze względu na znaczną różnicę wartości dokonuje się ich zróżnicowania, a wyniki pomiarów nimi obciążone odrzuca się.

Błędy nieczułości – występują tylko przy pomiarach przeprowadzanych metodami zerowymi, przy których wykorzystuje się wskaźniki równowagi charakteryzujące się pewną właściwością nazywaną czułością przyrządu (zdolność przyrządu do reagowania na zmianę wartości wielkości mierzonej dopiero powyżej pewnej minimalnej wartości tej wielkości).

Błąd jest miarą określającą jak bardzo wynik pomiaru różni się od wartości rzeczywistej mierzonej wielkości.

Różnicę między wartością uzyskaną z pomiaru X_m , a wartością rzeczywistą X_r mierzonej wielkości nazywamy **błędem bezwzględnym** ΔX i zapisujemy w postaci:

$$\Delta X = X_m - X_r \quad (1)$$

Błąd bezwzględny jest wyrażany w jednostkach miary mierzonej wielkości. Jeżeli jest to możliwe, można go wyeliminować przez zastosowanie poprawki p o znaku przeciwnym:

$$p = -\Delta X \quad (2)$$

Błąd względny (rzeczywisty) δX jest stosunkiem błędu bezwzględnego do wartości rzeczywistej mierzonej wielkości:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_r} \quad (3)$$

Błąd względny (procentowy) $\delta^{\%} X$ jest równy błędowi względnemu wyrażonemu w procentach:

$$\delta^{\%} X = \frac{\Delta X}{X_r} \cdot 100\% \quad (4)$$

Dokładność przyrządu pomiarowego jest wyrażana za pomocą klasy dokładności przyrządu lub za pomocą błędu podstawowego (względnego) albo bezwzględnego błędu podstawowego przyrządu (w przypadku przyrządów z odczytem analogowym), a w przypadku przyrządów z odczytem cyfrowym tylko za pomocą bezwzględnego błędu podstawowego.

Klasa dokładności przyrządu pomiarowego jest wyznaczana na podstawie jego błędu podstawowego wyrażanego w procentach, obliczanego jako stosunek maksymalnej wartości bezwzględnego błędu pomiaru i wartości nominalnej zakresu pomiarowego. Klasą analogowego przyrządu pomiarowego jest najmniejsza z liczb należąca do ciągu liczbowego określonego przez Polską Normę i spełniająca zależność:

$$kl.d \geq \delta_g^{\%} X = \frac{|\Delta X|_{\max}}{X_N} \cdot 100\% \quad (5)$$

Zgodnie z PN-92/E-06501/01 ustalono, że do określenia klasy elektrycznych i elektronicznych analogowych przyrządów pomiarowych stosować należy wartości liczbowe z ciągu $(1;2;5) \cdot 10^{-n}$ - gdzie n oznacza liczbę całkowitą. Ponadto dopuszcza się klasy 0,3; 1,5; 2,5; 3.

Jak wspomniano wyżej, dokładność przyrządu pomiarowego może być także określana za pomocą bezwzględnego błędu podstawowego przyrządu pomiarowego $\Delta_g X$. Błąd ten w zależności od producenta może być zdefiniowany na różne sposoby:

$$\Delta_g X = \pm(a^{\%} w.m. + b^{\%} w.z.n.) \quad (6)$$

$$\Delta_g X = \pm c^{\%} w.z.n. \quad (7)$$

$$\Delta_g X = \pm d \% w.m., \quad (8)$$

gdzie:

$w.m. = X_m$ – wartość mierzona;

$w.z.n. = X_N$ – wartość nominalna zakresu;

a, b, c, d – wartości liczbowe (wyrażone w %) charakterystyczne dla danego przyrządu (c – klasa lub błąd podstawowy względny).

Dla **cyfrowych przyrządów pomiarowych** nie wyznacza się klasy, ponieważ w ich przypadku w grę wchodzi jeszcze błąd dyskretyzacji wynoszący ± 1 kwant wielkości mierzonej. Błąd ten wynika z zasady działania cyfrowych przyrządów pomiarowych (zamiana wielkości ciągłej w dyskretną) i nie da się go wyeliminować.

Bezwzględny błąd podstawowy pomiaru przyrządem cyfrowym podawany jest w jednej z dwóch postaci:

$$\Delta_g X = \pm(a + b) \quad (9)$$

$$\Delta_g X = \pm a, \quad (10)$$

gdzie:

a – składowa analogowa błędu (zależna od „klasy” przyrządu cyfrowego),

b – składowa cyfrowa błędu.

Składowa analogowa błędu jest wyrażana w przyrządach cyfrowych za pomocą wyrażenia (6). Natomiast składowa cyfrowa wynosi 1 kwant na ostatniej pozycji wyświetlacza (niektóre publikacje podają 0,5 kwanta). Bardzo często producenci aparatury pomiarowej pomijają ten błąd w danych katalogowych (wyrażenie (10)), ponieważ jest on zwykle 2÷5 razy mniejszy niż błąd analogowy (czasem więcej).

W niektórych przypadkach równość (6) jest przedstawiana dla przyrządów cyfrowych w postaci:

$$\Delta_g X = \pm(a \% w.m. + n), \quad (11)$$

gdzie: n – liczba cyfr (całkowita). n może przyjmować wartości od 1 do kilkuset.

Względny błąd pomiaru (dokładność pomiaru) będzie określony jako stosunek bezwzględnego błędu pomiaru do wartości wielkości mierzonej co można zapisać w następujący sposób:

$$\delta \% X = \frac{\Delta_g X}{X_m} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Jeżeli porównamy wyrażenie (12) z wyrażeniami (6), (7), (11) to widać, że względny błąd pomiaru jest tym większy im większy jest stosunek wartości zakresu nominalnego przyrządu pomiarowego do wartości mierzonej.

W dalszej części ograniczymy się do bliższego zaprezentowania najczęściej występujących rodzajów błędów – przypadkowych i systematycznych.

2.2. Błędy przypadkowe

Błąd przypadkowy nie można uwzględnić jako poprawki w wyniku pomiaru. Można tylko na podstawie serii pomiarów wykonanych w tych samych warunkach (ten sam przyrząd, eksperymentator, warunki klimatyczne itd.) ustalić z określonym prawdopodobieństwem granice tego błędu. Posługując się metodami statystycznymi można oszacować jego wpływ na wynik pomiaru.

2.3. Błędy systematyczne

Błędy systematyczne mają decydujący wpływ na wynik pomiaru. Można je podzielić na następujące grupy:

- błędy przyrządów pomiarowych;
- błędy metody pomiarowej lub układu pomiarowego;
- błędy wywołane czynnikami zakłócającymi o stałej wartości w czasie lub zmieniające się zgodnie ze znaną zależnością.

Jednym z głównych zadań eksperymentatora jest minimalizacja tych właśnie błędów. Błędy pierwszej grupy można jedynie ograniczać przez zastosowanie coraz dokładniejszych przyrządów, ale stosowanie przyrządów dokładnych (dobrych) jest drogie. W związku z tym przystępując do planowania jakiegoś eksperymentu (przygotowując się do pomiaru) należy bardzo wnikliwie zastanowić się nad możliwością eliminacji lub przynajmniej znacznego ograniczenia błędów należących do pozostałych dwóch grup (np. przez wyliczenie odpowiednich poprawek i zastosowanie ich).

Podstawowym parametrem opisującym dokładność przyrządu pomiarowego jest

graniczny systematyczny błąd przyrządu obliczany z zależności:

$$\Delta_{gs} X = \frac{(kl.d)}{100\%} X_N \quad (20)$$

lub za pomocą wzorów (6), (7), (8) oraz (9) i (11). Wyrażenie (20) jest tożsamy wyrażeniu (7). Przy założeniu równomiernego rozkładu błędu systematycznego w przedziale $\pm\Delta_{gs}X$ można też wykazać, że średni kwadratowy błąd systematyczny jest równy:

$$\Delta_{ss} X = \frac{\Delta_{gs} X}{\sqrt{3}} \quad (21)$$

2.5. Zasady obliczania błędów

Ze względu na wymaganą dokładność, pomiary można podzielić na laboratoryjne ($\delta\% X < 0,05\%$), laboratoryjne średniej dokładności ($0,05\% \leq \delta\% X \leq 0,5\%$) i techniczne ($\delta\% X > 0,5\%$). W zależności od tego do rachunku błędów podchodzi się z różną precyzją.

2.5.1. Pomiary techniczne.

Pomiar danej wielkości odbywa się na ogół jednokrotnie a błąd ma na ogół charakter systematyczny ograniczony dokładnością użytych przyrządów

a) Pomiar bezpośredni:

- Obliczamy graniczny błąd pomiaru na podstawie wyrażen (6), (7), (8), (11) lub (20).

- Wynik pomiaru zapisujemy w postaci:

$$X_r = X_m \pm \Delta_g X \quad (37)$$

- Dokładność pomiaru oblicza się na podstawie wyrażenia (12).

b) Pomiar pośredni:

- Funkcja opisująca wielkość mierzoną ma postać: $Y = f(X_1, \dots, X_n)$

$$a) Y_m = f(X_{m1}, \dots, X_{mn}).$$

- Graniczny błąd pomiaru określony jest zależnością (36):

$$\Delta_g Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial Y}{\partial X_i} \Delta_g X_i \right|^2}$$

lub w postaci uproszczonej (błąd najgorszego przypadku – zależność (35)) jako :

$$\Delta_g Y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial Y}{\partial X_i} \Delta_g X_i \right|$$

gdzie: $\Delta_g X_i$ – błąd graniczny i-tej wielkości mierzonej bezpośrednio określony tak jak w przypadku pomiarów bezpośrednich.

- Wynik pomiaru zapisujemy w postaci:

$$Y_r = Y_m \pm \Delta_g Y \quad (38)$$

- Dokładność pomiaru jest równa:

$$\delta\% Y = \frac{\Delta_g Y}{Y_m} \cdot 100\%. \quad (39)$$

2.5.2. Pomiary laboratoryjne.

Przy wyliczaniu błędu granicznego pomiaru należy uwzględnić wszystkie typy błędów, zarówno systematyczne jak i przypadkowe (oraz nieczułości jeżeli wymaga tego użyta metoda). Pomiary bardzo dokładne charakteryzują się dużą liczbą powtórnych pomiarów (długa seria pomiarowa) rzędu 10÷20 a nawet więcej. Długość serii pomiarowej przy pomiarach o średniej dokładności wynosi 3÷10 pomiarów. Poniżej omówiony zostanie sposób obliczania błędów pomiaru dla badań laboratoryjnych o średniej dokładności.

a) Pomiar bezpośredni:

- Oblicza się wartość średnią X_s ze wzoru (14);

- Błąd średni przypadkowy wartości średniej $\Delta_{sp} X_s$ wyznacza się z zależności (16);

- Określa się błąd graniczny przypadkowy wartości średniej $\Delta_{gp} X_s$ z równania (17);

- Wylicza się błąd graniczny systematyczny $\Delta_{gs} X$ na podstawie zależności (20);

- Korzystając ze wzoru (40) oblicza się graniczny błąd pomiaru

$$\Delta_g X = \sqrt{(\Delta_{gp} X_s)^2 + (\Delta_{gs} X)^2} \quad (40)$$

- Wynik pomiaru zapisuje się w postaci:

$$X_r = X_s \pm \Delta_g X \quad (41)$$

- Dokładność pomiaru obliczana jest z równania:

$$\delta\% X = \frac{\Delta_g X}{X_s} \cdot 100\%. \quad (42)$$

b)

c) Pomiar pośredni:

Wartość wielkości mierzonej pośrednio Y jest funkcją k -wielkości mierzonych bezpośrednio

$Y = f(X_1, \dots, X_k)$, a pomiar każdej z wielkości X powtarzamy n -krotnie:

$$\begin{matrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ X_{k1} & \dots & X_{kn} \end{matrix}$$

- Obliczamy wartości średnie $X_{1s} \div X_{ks}$ wielkości mierzonych bezpośrednio z zależności (14);
- Wartość średnia wielkości mierzonej pośrednio jest równa:

$$Y_s = f(X_{1s}, \dots, X_{ks}) \quad (43)$$

Należy obliczyć błędy średnie przypadkowe poszczególnych wielkości $\Delta_{sp} X_{is}$ posługując się zależnością (18);

- Błąd średni przypadkowy wartości średniej wielkości Y wyznacza się z zależności (34), tzn.:

$$\Delta_{sp} Y_s = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \right)^2 (\Delta_{sp} X_{is})^2}$$

- Błąd średni systematyczny wielkości Y oblicza się z zależności:

$$\Delta_{ss} Y = \begin{cases} \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \right)^2 (\Delta_{ss} X_i)^2} & k \geq 3 \\ 0,82 \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1} \right)^2 (\Delta_{ss} X_1)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2} \right)^2 (\Delta_{ss} X_2)^2} & k = 2 \end{cases} \quad (44)$$

gdzie: $\Delta_{ss} X_i = \frac{\Delta_{gs} X_i}{\sqrt{3}}$ (zależność (21));

- Błąd średni wypadkowy pomiaru wyznacza się następująco:

$$\Delta_s Y = \sqrt{(\Delta_{sp} Y_s)^2 + (\Delta_{ss} Y)^2} \quad (45)$$

- Błąd graniczny pomiaru oblicza się ze wzoru

$$\Delta_g Y = 3 \cdot \Delta_s Y \quad (46)$$

- Wynik pomiaru zapisywany jest w postaci (41) a dokładność (42).

2.6. Zasady podawania wyników obliczeń

Każdy pomiar powinien być tak zorganizowany, aby obliczeń niezbędnych do otrzymania wyniku końcowego było jak najmniej. Należy przy tym pamiętać, że

obliczeń nie należy dokonywać nigdy z dokładnością większą niż pozwalają na to posiadane dane wyjściowe.

Przy dodawaniu lub odejmowaniu uwzględniamy tylko te miejsca składników, które występują przy wszystkich liczbach, np.:

Źle	Dobrze
271,2	271,2
14,51	14,5
+ 0,125	+
<hr/>	<hr/>
285,835	285,8

W celu zmniejszenia pracochłonności przy mnożeniu lub dzieleniu wskazane jest, aby czynniki miały te same ilości cyfr znaczących, np.:

Źle	Dobrze
217,63 V x 0,234	217,6 V x 0,2346
A	
lub	
217 V x 0,23456	A
A	

Wyniki przeprowadzanych obliczeń należy ponadto zaokrąglić posługując się następującymi regułami:

- 1) jeżeli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzucanych cyfr jest mniejsza od 5, to ostatniej pozostawianej cyfry nie zmienia się, np.:

$$49,64 \approx 49,6$$

- 2) jeżeli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzucanych cyfr jest większa od 5, to ostatnią pozostawianą cyfrę powiększa się o jeden, np.:

$$49,66 \approx 49,7$$

- 3) jeżeli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzucanych cyfr jest równa 5, ale następuje po niej co najmniej jeszcze jedna cyfra inna niż 0, to ostatnią pozostawioną cyfrę powiększa się o jeden, np.:

$$49,6512 \approx 49,7$$

$$49,6501 \approx 49,7$$

- 4) jeżeli pierwsza (licząc od lewej strony) z odrzucanych cyfr jest równa 5, ale nie następuje po niej żadna inna cyfra niż

zero, to ostatnią pozostawioną cyfrę powiększa się o jeden jedynie w tym przypadku, jeżeli jest to cyfra nieparzysta (zero traktuje się jak cyfrę parzystą), np.:

$$49,65 \approx 49,6$$

$$49,75 \approx 49,8$$

$$49,85 \approx 49,8$$

Przy tworzeniu ostatecznej postaci wyniku pomiaru wygodnie jest posłużyć się dwiema regułami – regułą podawania błędu i regułą podawania odpowiedzi [5].

Reguła podawania błędu

Ponieważ błąd jest miarą niewiarygodności ostatniej cyfry, bądź dwóch ostatnich cyfr znaczących wartości liczbowej, nie określa się go zwykle z większą dokładnością aniżeli jedną cyfrą znaczącą. Błąd podaje się za pomocą co najwyżej dwóch cyfr znaczących:

- jeśli ma być użyty do dalszych obliczeń (zmniejsza to niedokładności wprowadzane podczas zaokrąglania a końcowy wynik powinien być i tak zaokrąglony aby usunąć tę dodatkową i nieznaczącą cyfrę),
- jeśli pierwszą cyfrą znaczącą jest 1 lub 2 (zaokrąglenie błędu np. $\Delta = 0,14$ do wartości 0,1 prowadziłoby do 40% zmniejszenia jego wartości).

Reguła podawania odpowiedzi

Ostatnia cyfra znacząca w każdym wyniku końcowym powinna być tego samego rzędu (stać na tym samym miejscu dziesiętnym) co błąd. Np. wynik 92,81 określony z błędem 0,3 powinien być zaokrąglony do:

$$92,8 \pm 0,3$$

Jeśli błąd jest równy 3, to ten sam wyniki należy podać jako:

$$93 \pm 3$$

Jeśli natomiast błąd wynosi 30, to odpowiedź powinna brzmieć:

$$90 \pm 30$$

Całkowicie niedorzeczne jest podawanie wyniku w postaci np.:

$$9,81 \pm 0,0356789$$

PRZYKŁADOWE PYTANIA KONTROLNE

1. Dokonaj klasyfikacji błędów pomiarów ze względu na sposób ich powstawania.
2. Wyjaśnij pojęcia: błąd bezwzględny pomiaru, dokładność pomiaru, dokładność przyrządu pomiarowego.
3. Scharakteryzuj błędy systematyczne.
4. Omów pojęcie cyfry znaczącej.
5. Przedstaw reguły podawania błędu oraz regułę podawania odpowiedzi.

WYKAZ LITERATURY

- [1] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: "Metrologia elektryczna", WNT Warszawa, 1996,1998, sygn. 53200, 54691.
- [2] Baszun P. i inni: "Miernictwo elektryczne - ćwiczenia laboratoryjne", skrypt WAT, Warszawa, 1988, sygn. S-48721.
- [3] Kwiatkowski W.S.: "Miernictwo elektryczne - analogowa technika pomiarowa", Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1994, sygn. 52120.
- [4] Marcyniuk A. i inni: "Podstawy metrologii elektrycznej", WNT, Warszawa, 1984.
- [5] Taylor J.R. : "Wstęp do analizy błędu pomiarowego", Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1995, 1999, sygn. 52951, 55754.