

## **Podstawy Metrologii**

### **Wstęp: Struktura przedmiotu**

**Przedmiot: Podstawy metrologii:**

**Wykłady: 30,**

**3 kolokwia**

**Laboratorium: 45**

**Zaliczenie przedmiotu: kolokwium zaliczeniowe pisemno-  
ustne.**

**Kontrola bieżąca:**

**1) obecność na wykładach jest obowiązkowa, nieobecność na wykładzie skutkuje opracowaniem referatu na temat wykładu i zaliczenie tego referatu;**

**2) 3 kolokwia pisemne (w przybliżeniu z interwałem 4 tygodni, 1-szy na 5-m tygodniu)**

**Jeśli ocena średnia z 3-ch kolokwium jest 4.5 lub wyżej student może być zwolniony z kolokwium zaliczeniowego.**

## **Podstawy Metrologii**

### **Warunki zaliczenia przedmiotu**

**Ocena z zaliczenia (OZ) zależy od oceny kolokwium z wykładów (OKW) oraz z oceny z ćwiczeń laboratoryjnych (OCL):**

$$**OZ=(2*OKW+OCL)/3**$$

## **Podstawy Metrologii**

### **Główny cel kształcenia**

Głównym celem kształcenia jest zdobycie przez studenta podstawowej wiedzy o podstawach metrologii, głównie o metodach i narzędziach pomiaru wielkości elektrycznych oraz nabycie podstawowych umiejętności w wykorzystaniu przyrządów pomiarowych do wykonania pomiarów i oszacowania niepewności ich wyników.

## **Podstawy Metrologii**

### **Tematyka wykładów**

Wstęp

Podstawowe pojęcia metrologii

Aparatura pomiarowa i narzędzi pomiarowe. Mierniki analogowe i cyfrowe

Obliczenie niepewności metodą typu B wskazań mierników analogowych i cyfrowych

Niepewność typu A. Statystyczne opracowanie serii wyników pomiaru

Pomiar napięcia i prądu stałego

Pomiar rezystancji metodą bezpośrednią i pośrednią. Niepewność wyniku pomiaru pośredniego

Pomiar rezystancji metodą mostkową

Pomiary częstotliwości i interwału czasowego

Pomiary parametrów napięć i prądów przemiennych

Pomiary parametrów mocy w obwodach jednofazowych

Pomiary parametrów RLC obwodów elektrycznych

Przetworniki analogowo-cyfrowe i ich podstawowe parametry

## **Podstawy Metrologii**

### **Literatura do przedmiotu**

1. Chwaleba A., *Metrologia elektryczna*, WNT, 2010,
2. Piotrowski J., *Podstawy miernictwa*, WNT, 2002
3. Ryłski A., *Metrologia II*, OWPRz, 2004
4. Lisowski M., *Podstawy Metrologii*, Gliwice, (wyd. 2 poprawione i uzupełnione), 278 s., 2015
5. Sydenham P.D. , *Podręcznik metrologii.* , WKiL, 1990
6. Doebelin E. , *Measurement systems. Application and design.* , McGraw-Hill Publish., 1990

#### **Do ćwiczeń laboratoryjnych:**

1. Dziuban E., Dorozhovets M, Kowalczyk A., oraz in. , *Metrologia elektryczna i elektroniczna. Laboratorium Cz.I.* , OWPRz, 2005
2. Brydak K., Hanus R., Kowalczyk A., oraz in. , *Metrologia elektryczna i elektroniczna. Laboratorium Cz.II.* , OWPRz, 2006

## **T1 : Podstawowe pojęcia metrologiczne**

### **Metrologia:**

**W najogólniejszym podejściu metrologia jest nauką o pomiarach, które z kolei są najważniejszą częścią składową procesu empirycznego (doświadczalnego) poznania rzeczywistości fizycznej.**

## 1. Pomiar

### Pomiar:

Pomiar można zdefiniować jako **procedurę doświadczalną (eksperymentalną) wykonywaną w celu wyznaczenia wartości wielkości mierzonej za pomocą specjalistycznych narzędzi technicznych – narzędzi pomiarowych, które bezpośrednio lub pośrednio realizują porównywanie wielkości z jednostką jej miary, a także, przy potrzebie, poprzez wykonywanie pewnych procedur obliczeniowych.**

## 1. Pomiar

**Ogólnie mówiąc pomiar ma na celu empiryczne (doświadczalne) odwzorowanie właściwości obiektów i zjawisk zachodzących w nich w odpowiednie liczby, na podstawie których naukowcy wytwarzają modele fizyczne i matematyczne tych obiektów i zjawisk.**

**Cały historyczny postęp nauk ścisłych (fizycznych, technicznych) oraz powstających technik i technologii nierozłącznie związany jest z rozwojem miernictwa i metrologii.**

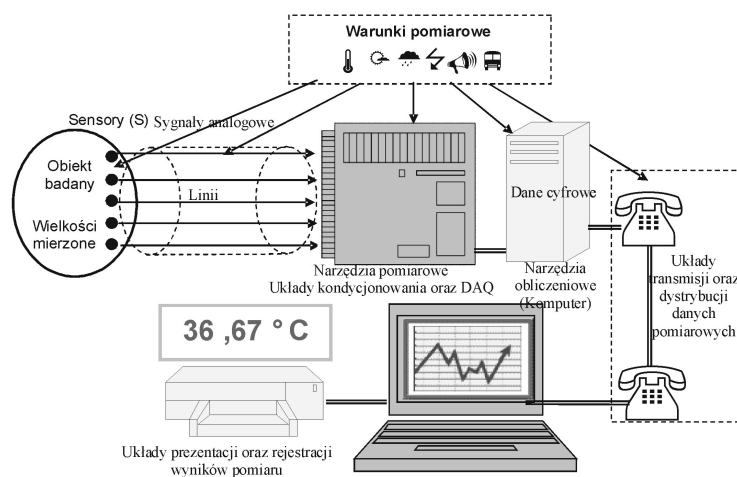
## 2. Podstawowe składowe pomiaru

Z pomiarem są związane :

- **obiekt pomiarowy** (badany) z **wielkością mierzoną (menzurand)**;
- **narzędzi pomiarowe**;
- **warunki pomiarowe**;
- **metody i narzędzia opracowania wyników pomiaru**;
- **wyniki pomiaru**;
- **parametry (charakterystyki) jakości (dokładności) wyniku**;
- **inne składowe** (obserwator, transmisja, wizualizacja, archiwizacja danych pomiarowych itp.).

## 2. Podstawowe składowe pomiaru

Najważniejsze składowe procesu pomiarowego:



### 3. Obiekt pomiarowy

Obiektami pomiaru mogą być:

- ciało fizyczne;
- system ciał fizycznych;
- substancja;
- zjawiska fizyczne powiązane z ciałami i substancjami.

### 3. Obiekt pomiarowy

Na przykład **obiektem pomiarowym** może być **transformator** elektryczny zbudowany z kilku uzwojeń na rdzeniu ferromagnetycznym

- system ciał fizycznych lub pole magnetyczne wytworzone poprzez przepływ prądów w uzwojeniach
- zjawisko powiązane z tymi ciałami oraz inne.

### 3. Obiekt pomiarowy

Transformator elektryczny jako obiekt pomiarowy:  
jest to system ciał fizycznych wraz ze zjawiskami  
zachodzącymi w tych ciałach



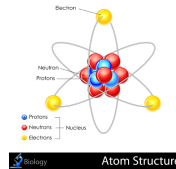
### 4. Wielkość fizyczna

Obiekty pomiarowe charakteryzują się  
różnymi cechami (właściwościami  
jakościowymi).

Przy tym ta sama cecha może być właściwą  
różnym obiektom, substancjom itp.

## 4. Wielkość fizyczna

Masa jest właściwą i dla Ziemi (Kuli Ziemskiej) i piłki do futbolu, i też dla atoma oraz nośnika ładunku elektrycznego – elektronu.



## 4. Wielkość fizyczna

Ta sama cecha może być właściwą różnym obiektom, substancjom itp.

Na przykład, **napięciem elektrycznym** charakteryzują się różne obiekty i zjawiska powiązane z nimi, zwłaszcza:

- i **rozładowanie piorunowe**,
- i **linia elektroenergetyczna**,
- i **bateria telefonu komórkowego**,
- i **elektryczne procesy** zachodzące w **komórce tkanki biologicznej**.



#### 4. Wielkość fizyczna

Jednak **ilościowo** ta sama cecha (właściwość jakościową) w różnych obiektach, substancjach i zjawiskach **przejawia się różnie**, w jednych więcej a w innych mniej.

Każda z takich cech (właściwości jakościowych) obiektu, która może być większą lub mniejszą ilościowo nazywana jest **wielkością fizyczną**, którą można zmierzyć.



#### 4. Wielkość fizyczna

Przykładami wielkości fizycznych są:

masa,  
długość,  
Interwał czasowy,  
natężenie prądu elektrycznego,  
rezystancja,  
pojemność oraz indukcyjność elementów obwodów elektrycznych,  
natężenie pola magnetycznego,  
moc, energia,  
okres i częstotliwość,  
temperatura,  
wilgoć  
oraz wielu i wielu innych, które mogą być mniejszymi lub

## 4. Wielkość fizyczna

W zależności od **gałęzi nauki i techniki** wielkości fizyczne można podzielić na następujące:

**wielkości przestrzeni** (długość, powierzchnia, objętość itp.);

**wielkości czasu i zjawisk okresowych** (interwały czasowe, częstotliwość, kąt przesuwu fazowego itp.);

**wielkości mechaniczne** (siła, moment, ciśnienie itp.);

**wielkości cieplne** (temperatura, pojemność cieplna, ilość ciepła itp.);

**wielkości elektryczne** (potencjał, siła elektromotoryczna, prąd, rezystancja, kondukcyjność, dielektryczna stała, pojemność, itp.);

**wielkości magnetyczna** (indukcja magnetyczna, przenikalność magnetyczna, strumień magnetyczny itp.);

**wielkości promieniowania akustycznego** (natężenie dźwięku, rezystancja akustyczna, szybkość dźwięku oraz inne);

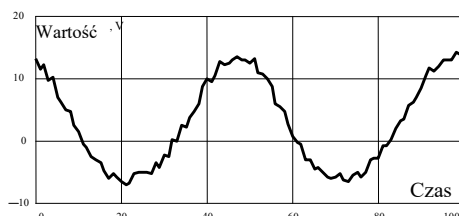
## 5. Wielkość mierzona

Wielkością mierzoną (ang. – the **measurand**) może być:

- 1) konkretna **wielkość fizyczna** konkretnego obiektu (na przykład **SEM (siła elektromotoryczna) akumulatora bez obciążenia**);
- 2) **parametr** (parametry) wielkości fizycznej, procesu, pola (na przykład, **amplituda, częstotliwość oraz faza sygnału harmonicznego, amplitudy i fazy składowych harmoniczných sygnału okresowego, stała czasowa samo rozładowania baterii akumulatora jako interwał czasowy po upływie którego SEM zmniejszy się do pewnego poziomu**);
- 3) **zależności** pomiędzy wielkościami fizycznymi lub ich parametrami (na przykład **zależność napięcia wyjściowego baterii akumulatora od wartości obciążenia oraz temperatury**).

## 5. Wielkość mierzona

Proces: zmiana napięcia w czasie



Jeśli zachodzi mowa o *procesie*  $x(t)$ , wtedy można *mierzyć* jego różne *parametry*:

**wartości chwilowe**  $x_i$  w dowolny moment czasowy  $t_i$

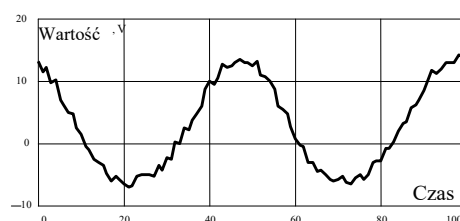
**maksymalną wartość** procesu  $X_{max}$

**wartość średnią**  $X_{sr}$  (składową stałą)

**wartość skuteczną**  $X_{RMS}$

## 5. Wielkość mierzona

Proces zmiany napięcia w czasie



**Zawartość składowych harmoniczných (THD);**

**Okres i podstawową częstotliwość;**

**Oraz inne**

## 6. Miara i wartość wielkości

Ilościową zawartością pewnej właściwości obiektu fizycznego lub zjawiska jest **miarą** (rozmiarem) wielkości mierzonej.

Prądy elektryczne, które przepływają w tkankach biologicznych żywych organizmów, podczas ładowania akumulatora oraz rozładowania piorunowego, odwzorują tą samą właściwość fizyczna jednak ilościowo zdecydowania się różnią. Można powiedzieć, że miara (rozmiar) tych prądów jest różna.

## 6. Miara i wartość wielkości

Ilościową zawartością pewnej właściwości obiektu fizycznego lub zjawiska jest **miarą** (rozmiarem) wielkości mierzonej.

Termin „**miara**” w metrologii wykorzystuje się wieloznaczno:  
**jednostka miar, układ miar, wzorzec miar** inne,

**jednak rozmiar wielkości odwzoruje obiektywną zawartość pewnej właściwości charakteryzującej konkretny obiekt, niezależnie mierzymy czy nie mierzymy tą wielkość.**

## 6. Miara i wartość wielkości

W procesie pomiaru eksperymentalnie jest wyznaczana przybliżona ocena rozmiaru wielkości – to jest **wartość wielkości** mierzonej.

**Wartością wielkości** mierzonej jest eksperymentalna ocena jej rozmiaru w postaci pewnej liczby  $N_{xq}$  rozmiarów  $q$  jednorodnej z nią wielkości, która nazywa się **jednostką miary**:

$$x = N_{xq} \cdot q$$

gdzie  $N_{xq}$  – bezwymiarowa liczba – nazywana **liczbową wartością wielkości** mierzonej

## 6. Miara i wartość wielkości

Na przykład, jeśli mówimy (piszemy) że:  
„**wartość napięcia** elementu baterii **1,5 wolta**”,  
wtedy liczba **1,5** jest **liczbową wartością napięcia** przy jednostce miary napięcia **wolt**.

Rozmiar tego samego napięcia elementu baterii może być przedstawiony inną **wartością liczbową 1500** przy jednostce **miliwolt**:  
**wartość napięcia 1500 miliwoltów**.

## 6. Miara i wartość wielkości

Inny przykład: długość drutu do nawijania cewki **10,16 metra** – wartość liczbowa **10,16** przy jednostce miary długości **metr** lub długość tego samego drutu **400 cali** – wartość liczbowa **400** przy jednostce długości **cal**.

Otóż **ta sama miara** wielkości może mieć **różną wartość**, która wyrażana jest przez **wartość liczbową** razem z **jednostką miary** i jest liczbą mianowaną.

## 7. Wartość rzeczywista wielkości

**Wartość rzeczywista (prawdziwa) wielkości** – jest to **idealne odwzorowanie miary (rozmiaru) wielkości przy idealnej jednostce miary**.

Wartość rzeczywistą (prawdziwą) można byłoby uzyskać przy istnieniu idealnych narzędzi pomiarowych oraz idealnych warunków ich wykorzystania.

## 7. Wartość rzeczywista wielkości

W praktyce wartość rzeczywista nie jest znana z różnych przyczyn:

- niedoskonałości narzędzi pomiarowych,
- niepożądanego ich współdziałania z obiektem badanym,
- wpływu innych obiektów i procesów oraz innych.

Nawet najwyższym poziomie hierarchii etalonów wartość rzeczywista jednostek wielkości nie jest znana dokładnie a tylko w przybliżeniu.

Pojęcie wartości rzeczywistej wykorzystuje się podczas analizy teoretycznej pomiarów, zwłaszcza analizy ich dokładności i błędów.

## 8. Wartość poprawna wielkości

W praktyce, na przykład podczas eksperymentalnego sprawdzania narzędzi pomiarowych (zwłaszcza mierników), oraz w innych zagadnieniach, wykorzystuje się pojęcie „wartość poprawna”.

Wartość poprawna jest to przybliżenie praktyczne wartości wielkości wyznaczone lub wytworzone za pomocą odpowiednich narzędzi pomiarowych, które różni się od wartości rzeczywistej wystarczająco mało, tak że dla konkretnego zagadnienia pomiarowego może być wykorzystane zamiast wartości rzeczywistej.

## 8. Wartość poprawna wielkości

Wartość poprawną można wyznaczyć **wykorzystując narzędzi pomiarowe o większej dokładności**, dokładniej uwzględniając warunki pomiarowe oraz wzajemne wpływy narzędzi pomiarowych, obiektu pomiarowego oraz innych obiektów i procesów.

## 8. Wynik pomiaru

**Wynik pomiaru** – jest **wyznaczona eksperymentalnie** (w razie potrzeby z wykorzystaniem odpowiednich obliczeń) oceną **miary wielkości mierzonej** (wartość liczbowej wraz z jednostką), **która zwiera też pewną miarę dokładności** (lub niedokładności).

Często, żeby podkreślić eksperymentalne pochodzenie wyniku pomiaru, otrzymana wartość wielkości nazywana jest **zmierzoną wartością wielkości**.



## 8. Wynik pomiaru

Z porównania definicji „wynik pomiaru” i „wartość wielkości mierzonej” można zauważyć, że są one bardzo bliskimi.

Jednak pojęcie wyniku pomiaru jest szersze, ponieważ oprócz wyznaczania miary wielkości, ono przewiduje **wyznaczania i podanie pewnej miary jakości (dokładności) pomiaru.**

## 8. Wynik pomiaru

Istnieją 2 bliskie, jedna nieco różne podejścia do zdefiniowania dokładności:

- 1) Dokładność wyniku jest większą wtedy, kiedy wynik pomiaru jest bliższy do wartości rzeczywistej wielkości mierzonej.
- 2) Dokładność pomiaru jest większą wtedy, kiedy możliwa (nieznana) wartość wielkości mierzonej jest bliższa do wyniku pomiaru.

## 9. Parametry jakości pomiaru

W celu oceny jakości pomiaru wykorzystują się negatywne charakterystyki, mianowicie:

1) Według pierwszej definicji dokładności wykorzystuje się błąd pomiaru:

**Błąd pomiaru  $\Delta$  jest** odchyleniem wyniku pomiaru  $x$  od wartości rzeczywistej  $X$

$$\Delta = x - X$$

W praktycznych pomiarach błąd nie może być wyznaczony!  
W tym wzorze nie jest znana wartość rzeczywista  $X$ .

Jeśli jest ona znana, wtedy nie ma potrzeby wykonywać pomiar!

## 9. Parametry jakości pomiaru

2) Ponieważ w praktycznych pomiarach wartość rzeczywista wielkości nie jest znana, dlatego według drugiej definicji wykorzystuje się niepewność pomiaru:

**Niepewność pomiaru  $u(x)$  jest** miarą rozrzutu możliwych wartości wielkości mierzonej wokół wyniku  $x$

$$X = x \pm u(x)$$

W praktycznych pomiarach niepewność wyznaczana jest zawsze!

Do obliczania niepewności nie wymagana znajomość wartości rzeczywistej