



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

Przemysłowe systemy pomiarowe

Workbook

Autor: dr hab. inż. Piotr Wolszczak

Lublin, 2020 rok

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Fundusze
Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

1. Wprowadzenie

O znaczeniu pomiarów, które są konieczne, lecz kosztowne oraz rozwoju technik pomiarowych.

W środowisku przemysłowym prowadzenie pomiarów jest są konieczne w celu nadzorowania przebiegu różnorodnych procesów wytwarzania. Odpowiednio zaprojektowany system pomiarowy jest jedną z podstaw systemu zapewnienia jakości, sterowania wydajnością i ograniczania strat. Należy też zauważyć, że działanie systemu pomiarowego nie tworzy bezpośrednio wartości, więc jego elementy mogą zostać uznane za zbędne źródła kosztów. Dlatego istotne jest optymalne dostosowanie miejsc pomiaru, liczby i dokładności pomiarów oraz technik ich przetwarzania do potrzeb nadzorowania przemysłowego systemu pomiarowego.

W warunkach przemysłowych pomiarami objęte są różnego typu wielkości fizyczne, które można podzielić ze względu na charakter wielkości na:

- **skalarne** (wyrażane przez wartość, jest to tensor 0-go rzędu), których przykładami są: szybkość, masa, ładunek, czas, gęstość, moc, praca,

- **wektorowe** (obejmujący wartość, kierunek i zwrot, czyli tensor 1-go rzędu, wektor), na przykład: położenie, prędkość, przyspieszenie, siła oraz

- **tensorowe** (przestrzeń tensorowa, czyli tensor 2-go rzędu otrzymany z iloczynu dwóch wektorów, który posiada właściwości niezależne od przyjętego układu współrzędnych), czego przykładami są: tensor odkształceń, moment bezwładności.

Wielkości są mierzone, a w rezultacie otrzymuje się **wartości** pomiarów. Przykładem wielkości mierzonej może być temperatura wody, a wynikiem pomiaru wartość 35 stopni Celsjusza. Woda w tym przypadku jest przedmiotem pomiaru.

Wiadomości podstawowe na temat pomiarów przedstawiono w rozdziale 2 „Wiadomości teoretyczne z metrologii”.

Współcześnie większość pomiarów wielkość nieelektrycznych polega na konwersji sygnału na wielkość elektryczną i jej pomiar z użyciem elektronicznych czujników pomiarowych.

W rozdziale 5 "Czujniki pomiarowe" omówiono rodzaje czujników pomiarowych.

Zagadnienie konwersji sygnału omówiono w rozdziale 7 „Przetworniki analogowo-cyfrowe”. Podstawowe etapy konwersji sygnału analogowego na cyfrowy, to próbkowanie i kwantowanie. W tym rozdziale wyjaśniono te etapy oraz związane z nimi parametry czujników pomiarowych.

Pomiary wykonywane są zgodnie z przyjętą procedurą pomiarową (definicja: wystarczająco szczegółowy zbiór operacji wraz z metodą umożliwiającą wykonanie pomiaru), której celem jest eliminacja błędów, które mogłyby zafałszować wyniki pomiarów. Wyniki pomiarów są następnie opracowywane i interpretowane. Zagadnienie opracowania i interpretacji wyników pomiarów omówiono w rozdziale Instrukcja „Samodzielne opracowywanie wyników”.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

2. Wiadomości teoretyczne z metrologii i technik pomiarowych

Objaśnienie pojęcia pomiaru, które obejmuje jego realizację, opracowanie i interpretację wyniku pomiaru.

Wynik pomiaru może mieć charakter ilościowy lub jakościowy.

1. **Ilościowy**, czyli wyrażony za pomocą liczb w przyjętej skali względem określonego układu odniesienia, co zapewnia obiektywny pomiar lub
2. **Jakościowy**, czyli wyrażony subiektywnie przez obserwatora.

Pomiary mogą być **bezpośrednie** (sposób pomiaru **prosty**), kiedy pomiary wykonywane są w jednostkach charakteryzujących badaną wielkość lub **pośrednie** (sposób pomiaru **złożony**), kiedy mierzone są inne wielkości oraz wymagane jest ich przekształcenie w celu scharakteryzowania wybranej wielkości fizycznej.

Pomiar określany jest jako proces poznawczy obejmujący szereg czynności doświadczalnych prowadzących do określenia **wartości** obserwowanej **wielkości fizycznej**. Rozszerzając pojęcie, pomiary służą wyznaczeniu [2]:

1. wartości wielkości mierzonej,
2. rozkładów wielkości w czasie lub innej przestrzeni,
3. przekształceń wielkości (transformat, funkcjonałów),
4. charakterystyk statycznych i dynamicznych, czy
5. parametrów rozkładów, przekształceń i charakterystyk.

Planowanie procesu pomiarowego obejmuje następujące etapy.

1. Wybór właściwości fizycznych obiektu, które będą mierzone, czyli przyjęcie **modelu fizycznego**.
2. Określenie **modelu matematycznego** obiektu, czyli zaplanowanie działań i reguł matematycznych do przekształcenia surowych wyników pomiarów.
3. Korzystając z wyżej wymienionych modeli zbudowanie **modelu metrologicznego**, w którym określone są cechy metrologiczne oraz metodyka pomiaru, w tym środki techniczne konieczne do przeprowadzenia pomiaru.

Korzystając z planu procesu pomiarowego projektowane są tory pomiarowe oraz algorytmy przetwarzania sygnałów pomiarowych. Złożone pomiary, jednoczesne pomiary wielu wielkości lub występowanie zakłóceń mogą wymagać zastosowania rozbudowanych układów pomiarowych wraz z układem sterującym oraz kilkuwarstwowych algorytmów przetwarzania [1].

Proces pomiarowy obejmuje wykonanie czynności pomiarowych korzystając z zaprojektowanego systemu pomiarowego, a następnie **opracowanie i interpretację wyników**. Opracowanie wyników obejmuje takie etapy jak: filtrację, obliczenia matematyczne, wyznaczenie statystyk i charakterystyka oraz wizualizację wyników.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Pojęcia podstawowe

Definicje przygotowano na podstawie [6,7], tłumaczenia pochodzą z [8, 9].

Wielkość określona – właściwość, którą można obserwować przez pomiar (kąąt obrotu, czas przemieszczenia, temperatura skraplania, długość belki).

Wielkość mierzona, mezurand (ang. *measurand*) – cecha zjawiska lub obiektu, którą można obserwować i charakteryzować ilościowo.

Wielkość wpływająca (*influence quantity*) – wielkość inna niż wielkość mierzona, powodująca modyfikację wyniku pomiaru.

Wymiar wielkości (*wymiar wielkości*) – wyrażenie reprezentujące wielkość danego układu wielkości w postaci iloczynu potęg miar tego układu (przykład wymiaru siły LMT^{-2} , gdzie: L - długość, T - czas, M - masa).

Jednostka miary (*base unit*) – wartość umownie przyjęta jako jedność w danym układzie wielkości.

Pomiar (*measurement*) – zbiór operacji w celu wyznaczenia wartości wielkości.

Zasada pomiaru (principle of measurement) – zjawisko fizyczne będące podstawą pomiaru (przykłady: zjawisko termoelektryczne podczas pomiaru temperatury).

Metoda pomiarowa (method of measurement) – logiczny ciąg operacji wykonywanych podczas pomiaru (np. metoda różnicowa, zerowa, podstawienia wychyleniowa).

Procedura pomiarowa (measurement procedure) – wystarczająco szczegółowo opisany zbiór operacji umożliwiający wykonanie pomiaru zgodnie z przyjętą metodą.

Wskazanie przyrządu pomiarowego (*indication of a measuring instrument*) – wartość mierzonej wielkości wyznaczana przez przyrząd pomiarowy.

Wynik pomiaru (*result of measurement*) – wartość wielkości mierzonej uzyskana podczas pomiaru.

Wynik surowy (*uncorrected result*) – wynik pomiaru przed korektą błędu systematycznego, po korekcie – **wynik poprawiony** (*corrected result*), natomiast **wynik ostateczny** (całkowicie określony) – wynik po korekcji błędu systematycznego wraz z podaniem niepewności pomiaru (wpływu błędu przypadkowego).

Dokładność pomiaru (*accuracy of measurement*) – poziom zgodności wyniku pomiaru z wartością rzeczywistą wielkości mierzonej.

Powtarzalność wyników pomiarów (*repeatability of results of measurements*) – poziom zgodności wyników pomiarów wielkości mierzonej, wykonywanych kolejno przy zachowaniu stałych warunków pomiaru.

Niepewność pomiaru (*uncertainty of measurement*) – zakres zmienności wyników pomiarów, które charakteryzują wielkość mierzoną.

Jednostki miary podstawowe (base unit of measurement)

Układ SI (fr. *Système international d'unités*, czyli Międzynarodowy Układ Jednostek Miar) opiera się na

siedmiu podstawowych jednostkach wymienionych w Tabeli 1.

Tabela 1 Jednostki podstawowe układu SI

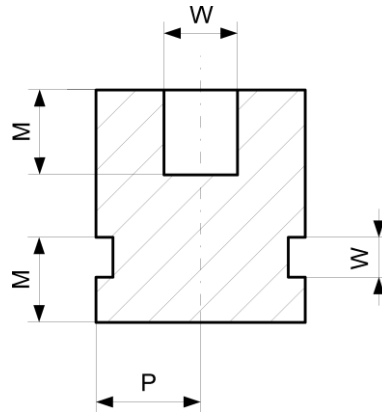
<i>Wielkość</i>	<i>Nazwa</i>	<i>Oznaczenie</i>
długość	metr	M
masa	kilogram	kg
czas	sekunda	S
natężenie prądu elektrycznego	amper	A
temperatura termodynamiczna	kelwin	K
liczność materii	mol	mol
światłość	kandela	cd

Przykładowe **jednostki miary pochodne** (*derived unit of measurement*) przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2 Przykładowe jednostki pochodne układu SI

<i>Wielkość</i>	<i>Nazwa</i>	<i>Oznaczenie</i>	<i>Definicja</i>	<i>Wyrażanie w jednostkach podstawowych SI</i>
Ciśnienie	paskal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / 1 \text{ m}^2$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Częstotliwość	herc	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 / 1 \cdot \text{s}$	s^{-1}
Energia cieplna	dżul	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Kąt płaski	Radian	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m} / 1 \text{ m} = 1$	
Kąt bryłowy	steradian	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2 / 1 \text{ m}^2 = 1$	
Moc	wat	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Natężenie oświetlenia	luks	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / 1 \text{ m}^2$	$\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$
Strumień indukcji magnetycznej	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Strumień świetlny	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
Temperatura Celsjusza	Stopień Celsjusza	°C	$1 \text{ }^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$	K

Rodzaje wymiarów

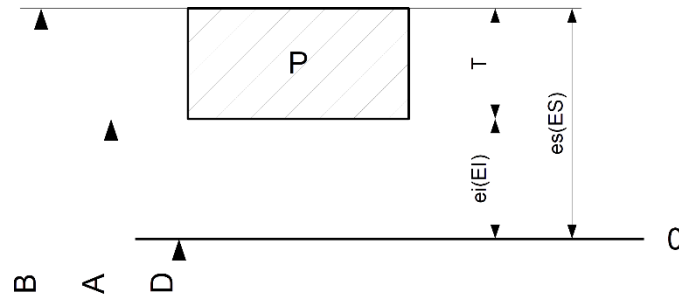


Rys. 1 Rodzaje wymiarów liniowych: wymiar mieszany (M), wymiar pośredni (P), wymiar wewnętrzny (W), wymiar zewnętrzny (Z) (opracowano na podstawie [1]).

Wymiary (pola wykropkowane do samodzielnego uzupełnienia)

- W. zewnętrzny -
- W. wewnętrzny -
- W. mieszany -
- W. pośredni -
- W. nominalny -
- W. rzeczywisty -
- W. zaobserwowany (zmierzony) -
- W. tolerowany -
- W. graniczny -
- W. górny -
- W. dolny -

Określenie pola tolerancji względem linii zerowej



Rys. 2 Położenie pola tolerancji względem linii zerowej (na podstawie [1])
wymiar dolny (A), wymiar górny (B), wymiar nominalny (D), tolerancja (T), pole tolerancji (P)
 ei (EI)-odchyłka dolna, es (ES)- odchyłka górna, linia zerowa (0)

Przykłady:

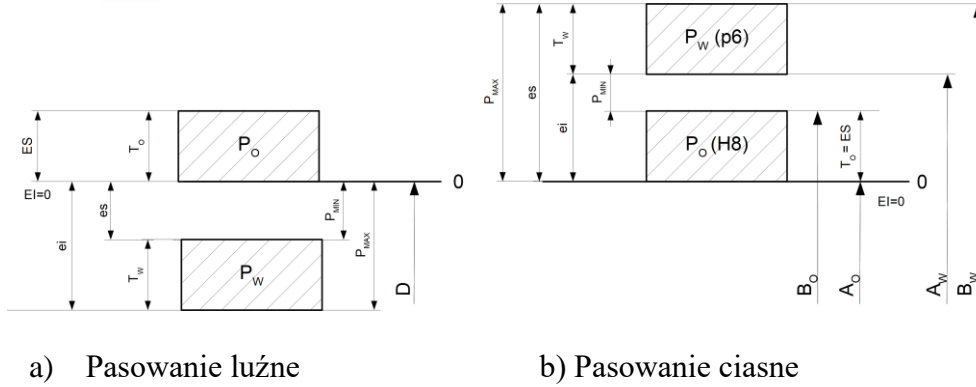
Wymiar rysunkowy otworu $14^{\pm 0,22}$ określa:

- wymiar nominalny otworu $D = 14 \text{ mm}$
- odchyłka górna $ES = +0,22 \text{ mm}$
- odchyłka dolna $EI = -0,22 \text{ mm}$
- górny wymiar graniczny otworu $B_0 = 14,22 \text{ mm}$
- dolny wymiar graniczny otworu $A_0 = 13,78 \text{ mm}$
- tolerancja otworu $T_0 = 0,44 \text{ mm}$

Wymiar rysunkowy średnicy wałka $\phi 15f7$ określa:

- średnica nominalna wałka $D = 15 \text{ mm}$
- odchyłka górna (dla $\phi 15f7$) $es = -0,016 \text{ mm}$
- odchyłka dolna (dla $\phi 15f7$) $ei = -0,034 \text{ mm}$
- górny wymiar graniczny wałka $B_0 = 33,984 \text{ mm}$
- dolny wymiar graniczny wałka $A_0 = 33,966 \text{ mm}$
- Tolerancja wałka $T_0 = 0,025 \text{ mm}$

Tolerancje i pasowania



Rys. 3 Położenie pól tolerancji wałka i otworu (na podstawie [1])

Odchyłki

- Odchyłka -
- O. graniczna -
- O. górna wałka – es , otworu – ES -
- O. dolna wałka – ei , otworu – EI -
- O. podstawowa -
- Linia zerowa -
- Tolerancja T -

3. Błędy i niepewność pomiaru, monitorowanie i wzrost jakości

Każdy pomiar jest obarczony błędem i wymagane jest podanie jego niepewności.

Jak wspomniano w rozdziale 2 wynik pomiaru to wartość przypisana wielkości mierzonej, którą wyznacza się wykonując czynności pomiarowe zgodnie z procedurą pomiarową. Ponieważ wykonanie każdej czynności obarczone jest błędem, dlatego wynik pomiaru przeprowadzonego w warunkach rzeczywistych jest tylko pewnym przybliżeniem lub szacunkiem (estymatą) wartości wielkości mierzonej. Dlatego ostateczne wyrażenie wyniku pomiaru wymaga podania niepewności pomiaru [2, 5].

Przykład wyniku ostatecznego (całkowicie określonego):

10,0 ± 0,1 [kg]

Niepewności pomiarowa 0,1 kg na poziomie 95% oznacza, że prawdziwa wartość mierzonej wielkości mieści się w przedziale od 9,9 do 10,1 kg z prawdopodobieństwem 95%.

Każdy wynik pomiaru jest obarczony błędem.

Błąd jest to rozbieżność wyniku pomiaru x i wartości rzeczywistej wielkości mierzonej x_{rz} .

Błąd bezwzględny, to różnica tych wartości.

$$\Delta x = x_{rz} - x_p$$

Błąd względny definiowany jest jako proporcja wartości błędu bezwzględnego do wyniku pomiaru.

$$\sigma = \frac{\Delta x}{x_p}$$

Błąd procentowy

$$\sigma = \frac{\Delta x}{x_p} \cdot 100\%$$

Sposoby uzyskania **wartości umownie prawdziwej** (poprawnej) x_p : (*conventional true value of a quantity*)

- zastosowanie dokładniejszego przyrządu pomiarowego,
- porównanie z wzorcem wartości nominalnej,
- obliczenie średniej arytmetycznej serii wyników pomiarów.

Przykłady

1. Błąd pomiaru wykonanego suwmiarką
Wynik pojedynczego pomiaru $x = 18,95$ mm.
Wartość poprawna wielkości mierzonej $x_p = 19$ mm
(wyznaczona według powyżej wymienionego sposobu)
Błąd bezwzględny poprawny tego pojedynczego pomiaru wynosi $\Delta x = -0,0$ mm
2. Błąd pomiaru wykonanego kątomierzem
Wynik pomiaru kątomierzem uniwersalnym $x = 105^\circ 15'$.
Wartość poprawna wielkości mierzonej $x_p = 105^\circ 00'$.
Obliczony błąd bezwzględny poprawny pomiaru $\Delta x = +15'$.

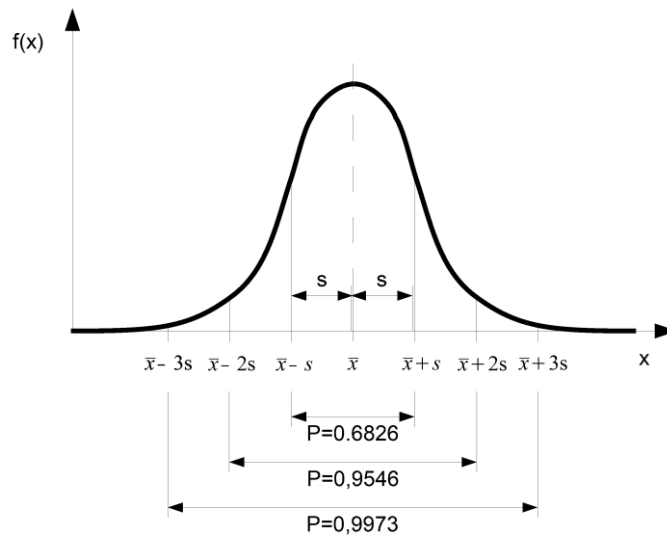
W przypadku wyznaczenia błędu systematycznego wynikającego z działania przyrządu pomiarowego lub zjawiska zewnętrznego możliwa staje się kompensacja obecności tego błędu. Wartość błędu systematycznego staje się wówczas **poprawką wskazań przyrządu pomiarowego i jest** algebraicznie dodawana do surowego wyniku pomiaru, aby pominąć błąd systematyczny i otrzymać **wynik poprawiony**.

Rodzaje i przyczyny błędów

- Błąd wskazania
- Błąd zera
- Błąd obserwacji

- Błąd odczytania
- Błąd paralaktyczny
- Błędy systematyczne stałe i zmienne
- Błąd postępowy
- Błąd okresowy

Przedziały niepewności



Rys. 4 Rozkład normalny z zaznaczonymi przedziałami niepewności.

Odchylenie wyniku

- Odchylenie średnie kwadratowe jednego pomiaru w serii

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- Odchylenie standardowe (np. MS Excel)

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n - 1)}}$$

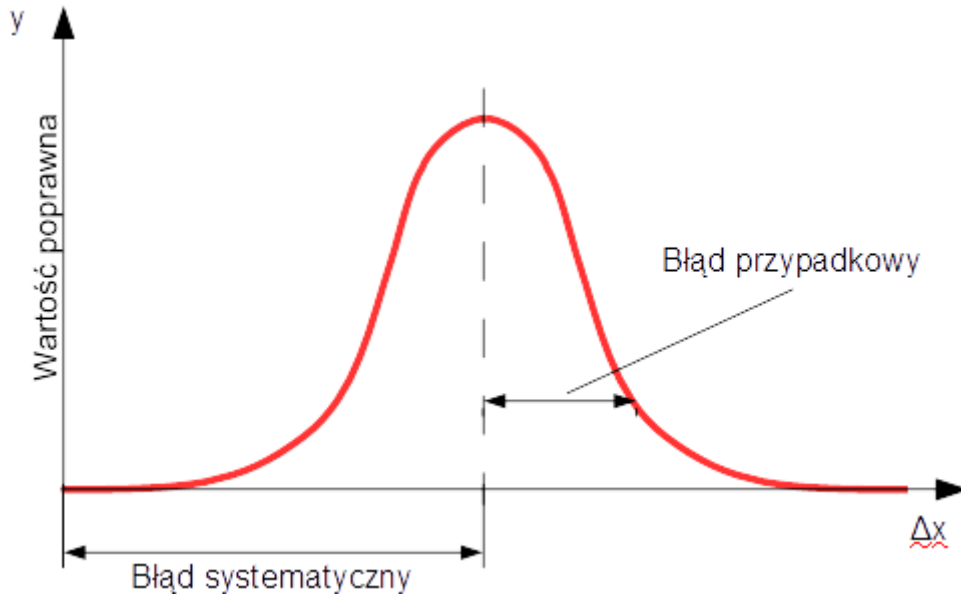
gdzie x_i = wynik i-tego pomiaru ($i=1,2,3, \dots, n$)

Błąd bezwzględny -

Błąd względny -

Błąd przypadkowy -

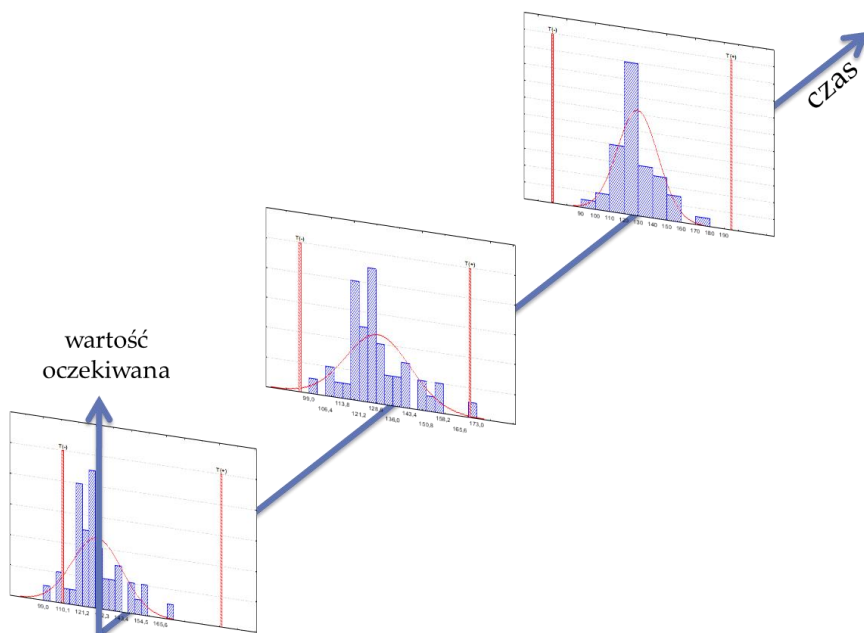
Błąd systematyczny -



Rys. 5

Kończąc rozdział podstawach metrologicznych systemów pomiarowych warto wspomnieć o celu ich stosowania, którym jest zapewnienie jakości przebiegu nadzorowanego procesu. Etapy poprawy jakości procesu przedstawiono na Rys. 6. Przedstawiono na nim wartość oczekiwaną wybranej wielkości procesowej (oś pionowa) oraz zmiany rozkładu tej wielkości w czasie (niebieskie słupki). Wąskie czerwone pionowe linie oznaczają granice, których monitorowana wielkość nie powinna przekraczać. Na pierwszym wzdłuż osi czasu obrazie widoczny jest rozkład (histogram) wielomodalny co sugeruje występowanie kilku błędów systematycznych, których przyczyny należy wykryć i wyeliminować. Ponadto widoczny jest fragment rozkładu wykraczający poza dolną odchyłkę (granica po lewej stronie), co oznacza obecność wad produktu.

Na środkowej planszy przedstawiono rozkład wielkości po dokonaniu regulacji wielkości pomiarowej, co spowodowało przesunięcie rozkładu. Nie uległ natomiast zmianie jego kształt. Natomiast na trzeciej planszy przedstawiono rozkład o charakterze jednomodalnym o węższym zakresie zmienności (szerokość rozkładu) niż poprzednio. Jest to efekt zastosowania metodyki Statystycznego Sterowania Procesem (ang. Statistical Process Control, SPC). Do nadzorowania (kontroli) procesu stosujemy granice kontrolne (elementy kart kontrolnych Shewartha). Dzięki temu wykrywane są przypadki utraty kontroli nad procesem, identyfikowane ich przyczyny, a następnie eliminowane. Wpływa to również na eliminację błędów systematycznych, które nie są już widoczne na trzeciej planszy. Kontrola procesu z wykorzystaniem metod SPC pozwala na przemieszczanie, wyszczuplanie i lokalizację rozkładu w wąskich granicach tolerancji.



Rys. 6 Poprawa jakości na podstawie zmian rozkładu wielkości pomiarowej w czasie.

Zadania

Ćwiczenie nr 1: „Określenie niepewności pomiaru”

Wykonać na podstawie rozwiązań zadań 52-55 str. 95-98 [5].

Zmierzyć partię produktów za pomocą suwmiarki lub innego urządzenia pomiarowego (minimum 100 pomiarów).

- Wykorzystując zebrane wyniki wyznaczyć wartości względne i bezwzględne charakteryzujące niepewność pojedynczego pomiaru:
 - niepewność standardową (błąd średni kwadratowy),
 - niepewność rozszerzoną z prawdopodobieństwem występowania $P = 0,90$,
 - błąd graniczny (maksymalny).
- Określić ostateczne wyniki pojedynczego pomiaru przyjmując poziomy ufności $P = 0,90$ i $P = 0,9973$.
- Wyznaczyć niepewność rozszerzoną na poziomie ufności $P = 0,95$ w postaci bezwzględnej i względnej oraz błąd graniczny wartości średniej.
- Zapisać ostateczne wyniki serii pomiarów na poziomach ufności podanych w pkt. 2.

Ćwiczenie nr 2: „Konieczna liczba pomiarów”

Wykonać na podstawie rozwiązań zadań 73-74 str. 109-110 [5].

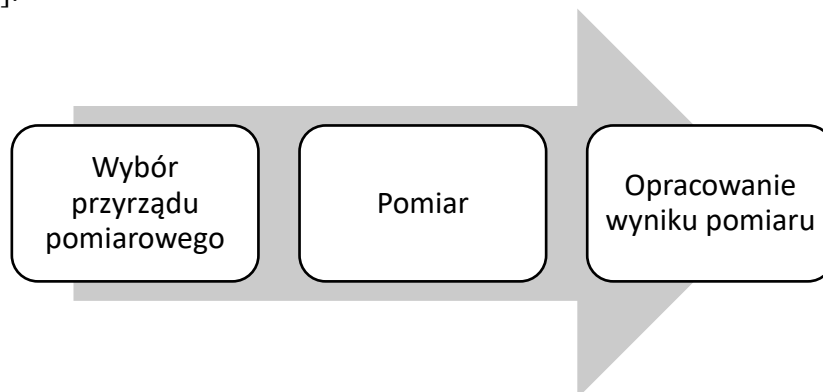
Ćwiczenie nr 3:

Wykonać wykresy i obliczyć statystyki:

- histogram,
- wykres przebiegu pomiaru (wyniki pomiaru uporządkowane chronologicznie),
- wykres wyników pomiarów uporządkowanych rosnąco,
- statystyki przeciętnej: średnia, moda, mediana,
- statystyki zmienności: odchylenie standardowe, wariancja, rozstęp oraz
- karty kontrolne: co najmniej XR.

4. Postępowanie pomiarowe

Postępowanie pomiarowe ma na celu wyznaczenie wartości określonej wielkości i składa się z trzech odrębnych części [10].



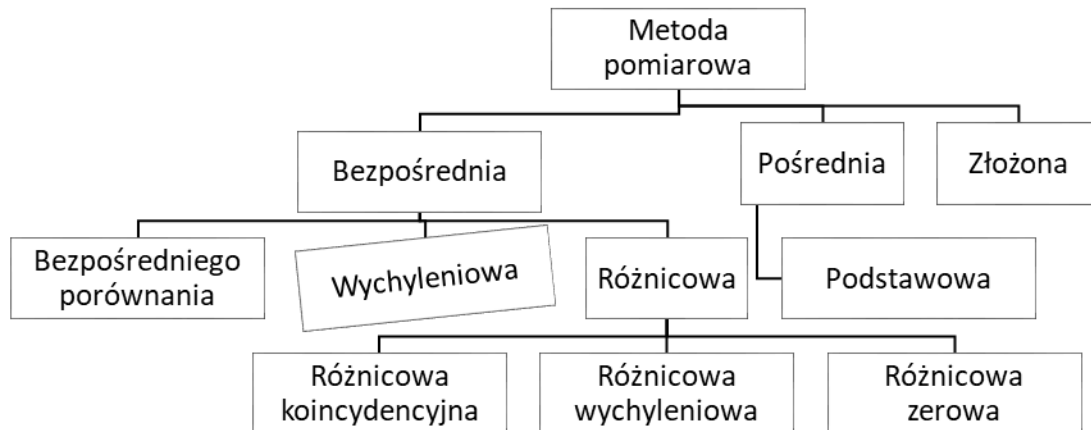
Rys. 7 Przebieg postępowania pomiarowego (na podstawie [10]).

Klasyfikacja przyrządów pomiarowych

- Przyrząd pomiarowy wskazujący (miernik)
- Przyrząd pomiarowy rejestrujący
- Przyrząd pomiarowy całkujący
- Przyrząd pomiarowy sumujący (licznik)
- Przyrząd analogowy
- Przyrząd cyfrowy
- Przetworniki pomiarowe
- Wzorce miary samodzielne i niesamodzielne

- Etalony (wzorce jednostek miar)
- Sprawdziany

Klasyfikacja metody pomiarowych



Rys. 8 Klasyfikacja metod pomiarowych

Pojęcia związane z przyrządami pomiarowymi:

- Zakres pomiarowy -
- Granice górna i dolna zakresu pomiarowego
- Stała przyrządu
- Czułość p.p.
- Pobudliwość i próg pobudliwości
- Rozdzielczość
- Strefa martwa
- Stałość
- Pełzanie (dryft)
- Czas odpowiedzi
- Dokładność i klasa dokładności
- Poprawność p.p.
- Powtarzalność p.p.
- Histereza
- Badanie typu
- Sprawdzenie
- Cechowanie



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

- Adiustacja
- Regulacja
- Skalowanie
- Wzorcowanie (kalibracja)

Pytania kontrolne

- Co zawiera procedura pomiarowa?
- Jak uzyskać wynik pomiaru poprawiony?
- Co to jest błąd pomiaru?
- Scharakteryzuj pasowania ciasne i luźne.
- Jak określić niepewność pomiaru.
- Wyjaśnij pojęcia błędów systematycznego i przypadkowego, podaj przykład, naszkicuj.
- Naszkicuj rozkład normalny, oznacz przedziały niepewności.

5. Czujniki pomiarowe

Wielkości fizyczne obserwowane w warunkach przemysłowych (i poza nimi) noszą nazwę sygnałów. Sygnał to **model fizyczny** mierzalnej wielkości, generowanej przez zjawisko fizyczne lub system. Wartość sygnału (wielkości mierzonej) zmienia się w czasie. Sygnał jest źródłem informacji o przebiegu obserwowanego zjawiska (obiektu), przy czym zjawisko może być charakteryzowane przez jeden lub większą liczbę sygnałów.

Do monitorowania sygnałów stosuje się **czujniki pomiarowe** wielkości elektrycznych lub nieelektrycznych. Z potrzeby monitorowania procesów za pomocą komputerowych systemów pomiarowych praktycznie wszystkie typy sygnałów konwertowane są na sygnał elektryczny, a następnie przetwarzany (filtrowany, wzmacniany) i konwertowany na sygnał cyfrowy (próbkiowany i kwantowany).

Czujniki pomiarowe można podzielić według typu mierzonego sygnału na:

- chemiczne,
 - magnetyczne,
 - mechaniczne,
 - optyczne i
 - termiczne
- } sygnał elektryczny.

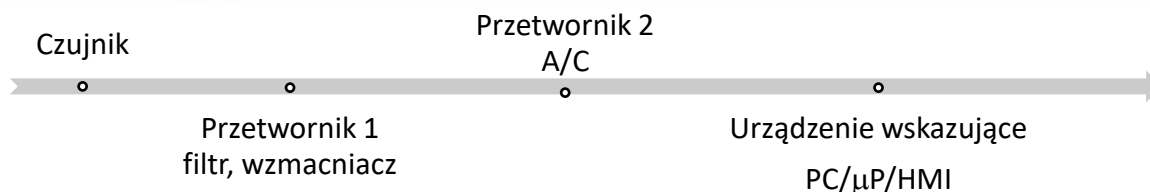
Czujnik i kolejne elementy przyrządu lub układu pomiarowego, przez które przekazywany jest sygnał pomiarowy tworzą tor pomiarowy (łańcuch pomiarowy) przedstawiony schematycznie na Rys. 9.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 9 Tor pomiarowy

Czujniki konwertujące wielkość mierzoną na sygnał elektryczny mogą być zintegrowane z układem elektronicznym zapewniającym przetworzenie sygnału na postać cyfrową. Dlatego czujniki pomiarowe mogą posiadać wyjścia analogowe (sygnał elektryczny) lub cyfrowe (sygnał binarny). Struktura czujnika z wyjściem cyfrowym nosi nazwę zintegrowanego czujnika pomiarowego [1, 11]

Poniżej wymieniono typowe czujniki stosowane w przemysłowych systemach pomiarowych.

Czujniki zbliżeniowe – stosowane są do wykrywania obecności obiektów takich jak części maszyn, elementy transportowe, surowce lub produkty. Poza wykrywanie obecności obiektu możliwe jest również kontrolowanie zmian jego położenia. Do wykrywania obecności obiektów metalowych stosowane są **czujniki zbliżeniowe indukcyjne**. Natomiast wykrywanie obiektów niemetalowych (na przykład tworzywa sztuczne lub drewno) możliwe jest przy użyciu **czujników zbliżeniowych pojemnościowych**, w których mierzona jest pojemność wzajemna między czujnikiem a obiektem. Czujniki zbliżeniowe indukcyjne są bardziej wrażliwe na zakłócenia elektromagnetyczne w porównaniu do czujników pojemnościowych, co ma wpływ na miejsce i sposób ich wykorzystania.

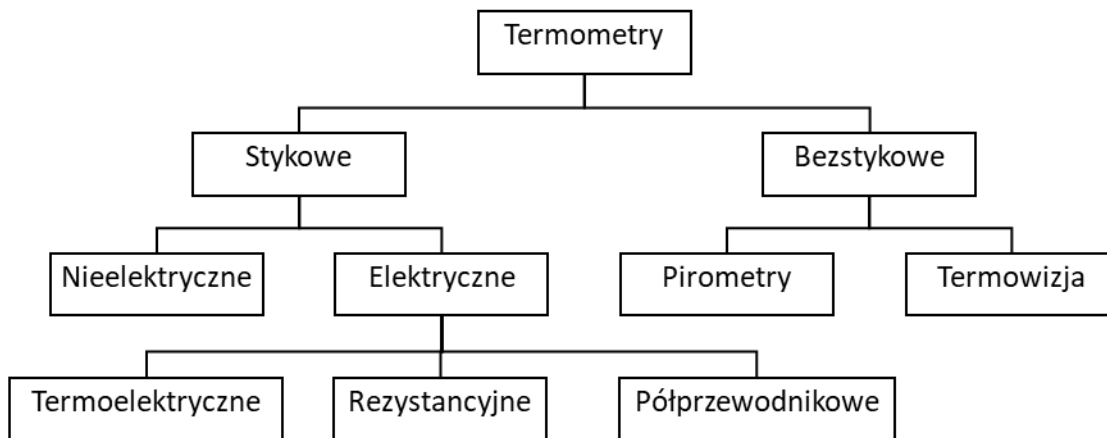
Czujniki temperatury (termometry) - są to elementy toru pomiarowego, które służą konwersji sygnału termicznego na elektryczny. Czujniki temperatury mogą być stosowane do pomiaru temperatury gazów, cieczy i ciał stałych w sposób kontaktowy (dotykowy) lub bezkontaktowy w szerokim zakresie temperatur. Do pomiaru kontaktowego stosowane są dwa rodzaje czujników: czujniki rezystancyjne (oporowe) lub czujniki wykorzystujące termoelementy.

Czujniki temperatury **rezystancyjne** wykorzystują zjawisko zmiany rezystancji (oporności) przewodników lub półprzewodników w zależności od temperatury. Przykładami popularnych czujników rezystancyjne czujniki platynowe typu Pt100, Pt500 lub Pt1000 (rezystancja odpowiednio 100 Ω , 500 Ω lub 1000 Ω w temperaturze 0 $^{\circ}\text{C}$) oraz czujniki termistorowe NTC lub PTC. Termistor (rezystor termiczny) NTC (ang. *negative temperature coefficient*) charakteryzuje się ujemnym współczynnikiem temperaturowym, co oznacza, że wraz ze wzrostem temperatury spada jego rezystancja. Natomiast w czujnikach typu PTC (pozystor, ang. *positive temperature coefficient*) zależność jest odwrotna i wraz ze wzrostem temperatury rośnie jego rezystancja. Stosowane są również termistory CTR (*critical temperature resistor*), w których przekroczenie określonej wartości temperatury powoduje skokową zmianę rezystancji.

Czujniki termoparowe (sondy termoparowe, termopary) zbudowane są przez połączenie końców dwóch elementów wykonanych z różnych materiałów (najczęściej stopów metali) tworzących spoinę pomiarową, którą umieszcza się w miejscu wykonywania pomiaru i w której generowana jest siła

termoelektryczną zależną od temperatury. Niepołączone końce obu materiałów są zaciski pomiarowymi. Ze względu na zastosowany materiał elementów spoiny pomiarowej wyróżnia się między innymi termopary typu: **J** (Fe-CuNi) żelazo – konstantan, **K** (NiCr-NiAl) nikielchrom – nikielaluminium, **N** (NiCrSi-NiSi) nikkrosil-nisil, **S** (PtRh10-Pt) platynarod-platina oraz **T** (Cu-CuNi) miedź-nikielmiedź. Termopary wymienionych typów różnią się właściwościami, w tym zakresem mierzonej temperatury: typ J do 600 °C, typ K do 1000-1100 °C, typ S do 1300°C dla pracy ciągłej i chwilowo do 1600°C, typ T od -200 do 350 °C.

Na Rys. 10 przedstawiono zestawienie typów czujników stosowanych w termometrach cyfrowych.



Rys. 10 Rodzaje przyrządów do pomiaru temperatury.

Czujniki ciśnienia – do pomiaru wykorzystują czujnik tensometryczny (DMS) zamocowany na membranie, która ugina się pod wpływem zmiany ciśnienia. Membrana umieszczona jest w stabilnej obudowie, a jej odkształcenie jest proporcjonalne do różnicy ciśnień po obu stronach membrany. Proporcjonalność odkształcenia od ciśnienia obserwowana jest w określonym zakresie ciśnienia. Rozciąganie lub ściskanie czujnika tensometrycznego powoduje zmianę jego rezystancji elektrycznej, która jest wprost proporcjonalna do zmiany ciśnienia.

Czujniki fotoelektryczne (optyczne) – działają wysyłając zmodulowaną wiązkę światła (w zakresie światła widzialnego, podczerwoni lub wykorzystując wiązkę laserową) i odbierając odbity sygnał. W optycznym torze pomiarowym znajdują się elementy, które przerywają wiązkę odpowiednio modulując i wyzwalając wyjście sterujące. Czujniki fotoelektryczne mogą mieć różne zastosowania i sposoby działania, dlatego wyróżnia się czujniki: odbiciowe, refleksyjne, szczelinowe oraz bariery świetlne.

Czujniki wychylenia (inklinometry) – mierzące zmianę pojemności między mikromasą, a elastyczną strukturą, na której mikromasa jest umieszczona. Wychylenie czujnika powoduje przemieszczenie mikromasy. W innym typie czujników zamiast ciała stałego stosuje się płyn elektrolityczny umieszczony w komorze. Wychylenie czujnika powoduje przemieszczenie płynu i zmianę pojemności między elektrodami

znajdującymi się na ściankach komory. W zależności od typu czujnika wychylenie (przechył) może być mierzony w jednej lub dwóch osiach.

Czujniki siły nacisku, ugięcia – wyposażone są czujniki tensometryczne przyklejone do powierzchni elementy konstrukcyjnego tworząc tzw. belkę tensometryczną. Belki tensometryczne mają różne konstrukcje w zależności od zastosowania (wagi, pomiar odkształcenia zbiornika). Natomiast czujniki ugięcia składać się mogą z czujnika tensometrycznego umieszczonego wewnątrz elastycznej osłony (wykrywanie gestów dłoni).

Czujniki poziomu – wykorzystują różnego rodzaju zjawiska i mechanizmy. Wśród nich najczęściej spotykane to: pomiar radarowy, pomiar ultradźwiękowy, pomiar hydrostatyczny, pomiar wibracyjny, pomiar sondą pojemnościową, pomiar pływakowy, bariera mikrofalowa, pomiar elektromechaniczną sonda poziomu oraz łopatkowy sygnalizator poziomu.

6. Przeznaczenie i struktura systemu pomiarowego

Do zadań przemysłowych systemów pomiarowych zaliczyć można: gromadzenie danych pomiarowych, ich przetwarzanie, archiwizację, wizualizację i wstępną interpretację. Często wymagane są jednoczesne pomiary prowadzone na wielu etapach procesu, a mierzone wielkości wymagają różnego rodzaju algorytmów przetwarzania sygnałów. Dlatego tworzone są złożone systemy pomiarowe składające się z torów pomiarowych, układów sterowania zadaniami pomiarowymi i zarządzania danymi. W Tabeli 3 wymieniono podstawowe klasyfikacje systemów pomiarowych. Systemy pomiarowe odgrywają istotne znaczenie również poza środowiskiem przemysłowym. Wykorzystuje się je w badaniach naukowych weryfikując hipotezy, monitorowaniu środowiska naturalnego (w tym pogody) i jego ochrony, sterowaniu systemami i nadzorowaniu infrastruktury na terenach zurbanizowanych, czy w diagnostyce medycznej i leczeniu.

Tabela 3 Klasyfikacja systemów pomiarowych.

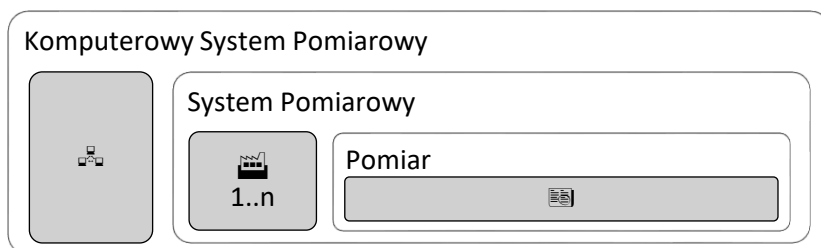
Kryterium	Typ	Zakres i sposób działania
Przeznaczenie	Badawczy	Pomiary w doświadczeniach naukowych
	Pomiarowo-kontrolny	Elementy procesu technologicznego, umożliwiające automatyzację i pomiar wielu wielkości.
	Pomiarowo-diagnostyczny	Wykrywanie i identyfikacja wad oraz przewidywanie wystąpienia awarii
Zasięg terytorialny	Skupiony	Zlokalizowany w jednym pomieszczeniu
	Rozproszony	Elementy systemu rozmieszczone w różnych pomieszczeniach (budynkach)

Kryterium	Typ	Zakres i sposób działania
Oddziaływanie na badany obiekt	Aktywny	System generuje sygnały oddziałując na badany obiekt, aby rejestrować jego reakcje
	Pasywny	System jest pozbawiony możliwości oddziaływania na badany obiekt

Rozwój metrologii postępujący w raz z rozwojem techniki opisać można wyróżniając następujące etapy:

1. Pomiary bezpośrednie prowadzone z wykorzystaniem mierników wskaźnikowych. Pomiary różnych rodzajów wielkości prowadzone były odrębnymi technikami dostosowanymi odpowiednio do wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, w tym mechanicznych. Rejestracja pomiarów odbywała się w formie papierowej.
2. Sygnały nieelektryczne konwertowane są na sygnały elektryczne, a elektroniczne układy pomiarowe zapewniają obiektywność, dokładność i niezawodność (ograniczenie liczby błędów pomiarowych). Rejestracja pomiarów możliwa jest na taśmie magnetycznej.
3. Zastosowanie komputerowych systemów pomiarowych umożliwia automatyzację sterowania procesami oraz przetwarzanie i wielowymiarową analizę danych pomiarowych.
4. Miniaturyzacja układów elektronicznych, wytwarzanie mikroukładów elektromechanicznych (MEMS, ang. microelectromechanical system), rozwój technik programistycznych oraz Internetu umożliwia złożone przetwarzanie i interpretację wyników pomiarów w miejscu pomiaru i generowanie sygnałów sterujących jak również wdrażanie rozproszonych systemów pomiarowych o szerokim zakresie możliwości.

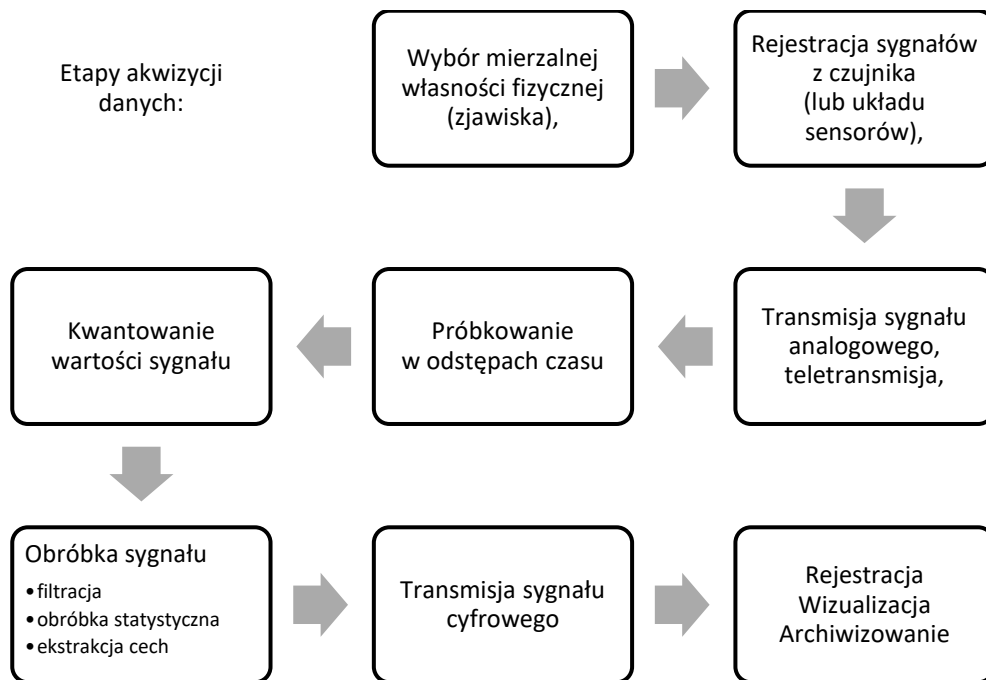
Strukturę komputerowego systemu pomiarowego zobrazowano schematycznie na rys. 11 [12].



Rys. 11 Struktura komputerowego systemu pomiarowego

7. Przetworniki analogowo-cyfrowe (A/C)

Podstawowe etapy konwersji sygnału analogowego na cyfrowy (binarny), to próbkowanie i kwantowanie. Określają one ważne parametry czujników pomiarowych takie jak częstotliwość próbkowania i rozdzielczość, przez co wpływają na dokładność czujników.



Rys. 12 Etapy akwizycji danych (na podstawie [1]).

Sygnałem wejściowym przetwornika pomiarowego jest wielkość fizyczna w postaci sygnału analogowego, czyli funkcji ciągłej, której wartość zmienia się w czasie $x(t)$.

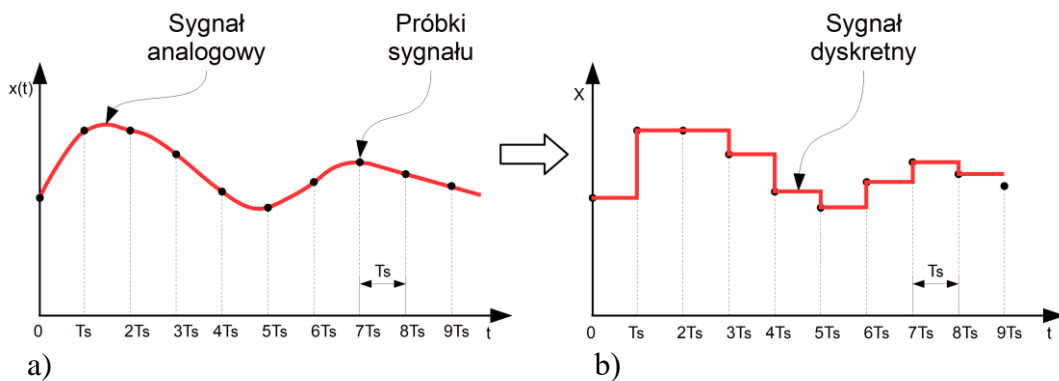
Próbkowanie (ang. *sampling*) to pobieranie próbek sygnału wejściowego w pewnych odstępach czasu (okres próbkowania T_s). Interwały czasowe próbkowania są zwykle równe ($T_s = \text{const}$) i takie próbkowanie nosi nazwę próbkowania równomiernego. Częstotliwość f_s próbkowania to odwrotność okresy próbkowania.

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

Kolejnym etapem przetwarzania jest kwantowanie. **Kwantowanie** to określenie wartości próbki sygnału korzystając ze skończonego zbioru wartości (zakresu przetwarzania podzielonego na N wartości). Zakres przetwarzania determinuje z kolei zakres pomiarowy, liczba N przedziałów określa rozdzielczość przetwornika A/C.

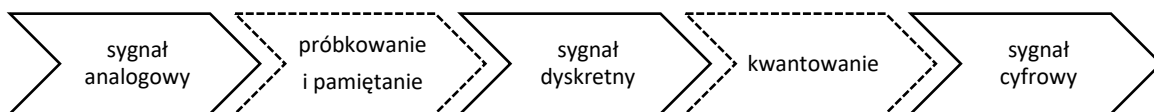
Proces przetwarzania można objaśnić na przykładzie odczytu temperatury powietrza wykorzystując termometr rtęciowy i prowadząc odczyty w godzinnych odstępach. Wskazanie termometru jest sygnałem analogowym (ciągłym w czasie), a dokonując okresowych odczytów (próbki) dokonujemy dyskretyzacji sygnału, bo pomiędzy chwilami odczytów wskazanie termometru pozostaje nieznanne (jak tajemnica, której dochowuje się dzięki dyskrecji). Odczyt wartości temperatury wykonywany jest z pewnym przybliżeniem, ponieważ wartość zaokrąglą się do najbliższej linii podziałki skali Celsjusza (na przykład do do 1 °C lub 0,1 °C). W ten sposób następuje kwantowanie wartości (kwant to najmniejsza porcja wielkości fizycznej, w tym przypadku jednostka pomiarowa).

Etap próbkowania przedstawia rys. 13. Natomiast kwantowanie na rys. 16. przedstawiono etap kwantowania.



Rys. 13 Etap próbkowania a) pobieranie próbek sygnału analogowego, b) sygnał dyskretny.

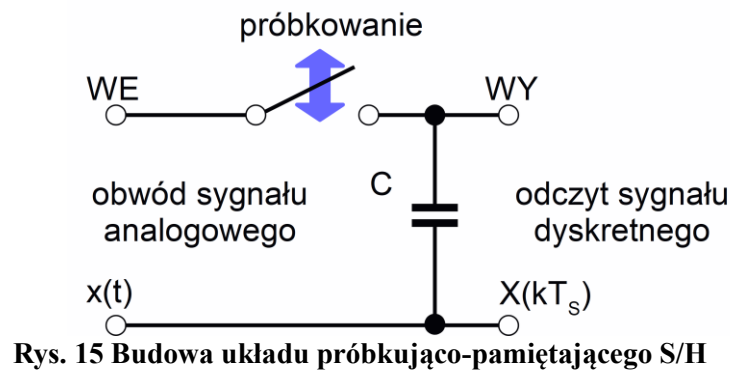
Próbkowany sygnał analogowy staje się sygnałem dyskretnym, a w wyniku kwantowania sygnałem cyfrowym (Rys. 14). Sygnał po próbkowaniu jest przez pewien czas utrzymywany (zapamiętywany) w układzie pomiarowym, aż do pobrania kolejnej próbki. W tym czasie następuje pomiar wartości próbki, co determinuje całkowity okres cyklu próbkowania i kwantowania. Na rys. 13 b obrazują to poziome linie przebiegu sygnału dyskretnego.



Rys. 14 Przekształcenia sygnału w procesie przetwarzania A/C.

Utrzymanie w pamięci próbki sygnału (zapamiętanie) odbywa się w układzie próbkująco-pamiętającym (S/H, ang. Sample-and-Hold). Przykład budowy układu próbkująco-pamiętającego S/H przedstawiono na rys. 15. Układ składa się z obwodu sygnału analogowego, w którym znajduje się zestyk zamykający obwód na czas próbkowania, co powoduje naładowanie kondensatora C proporcjonalnie do

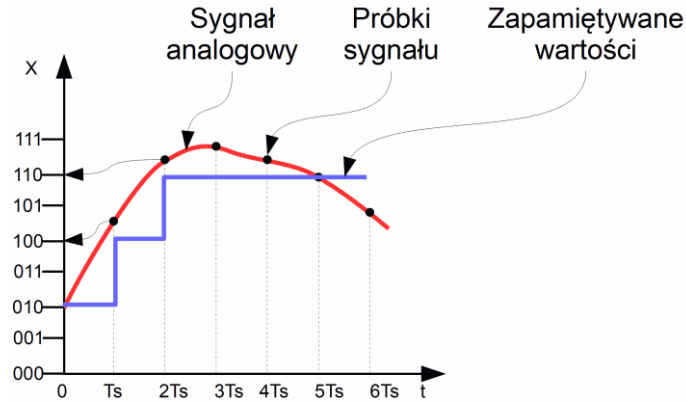
napięcia prądu w obwodzie sygnału analogowego. Po rozwarciu zestyku wykonywany jest pomiar ładunku zgromadzonego w kondensatorze C. W tym celu mierzony może być czasu jego rozładowania.



Etap próbkowania i zapamiętania próbki sygnału charakteryzują takie wielkości jak:

- **Czas akwizycji (przyjęcia) próbki sygnału** (ang. *acquisition time, sample time*) mierzony od momentu pojawienia się impulsu próbkującego pojawiającego się po zamknięciu zestyku do chwili ustabilizowania się sygnału napięcia w obwodzie. Sygnał uznaje się za stabilny od chwili osiągnięcia przez napięcie wyjściowe wartości napięcia wejściowego w granicach dopuszczalnego błędu.
- **Szybkość spadku napięcia** (ang. *droop rate*) – wielkość charakteryzująca proces rozładowywania kondensatora wyrażana w woltach na mikrosekundę.

Zapamiętana próbka sygnału poddawana jest kwantyzacji. Rys. 16 przedstawia rzeczywiste wartości próbek sygnału analogowego (czarna punkty), które rejestrowane są w skali X. W tym przypadku zbiór N wartości obejmuje 8 osiem wartości na skali X. Można stwierdzić, że dokonano podwójnego (w dwóch wymiarach) kwantowania po czasie i wartości. Zauważyć też można, że kształt sygnału po próbkowaniu i kwantowaniu różni się od rzeczywistego sygnału mierzonej wielkości.



Rys. 16 Etap kwantowania: próbkom sygnału analogowego przypisywane są wartości całkowite X (notacja w systemie dwójkowym).

Całkowity czas cyklu przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy obejmuje wymienione etapy i wyznacza **częstotliwość próbkowania** przetwornika A/C [Hz = 1/s].

Čzęstotliwość próbkowania powinna być wystarczająca do odtworzenia pierwotnego kształtu sygnału, aby zawarta w nim informacja została zachowana i możliwa jej interpretacja. Zgodnie z twierdzeniem Kotelnikowa- Shannona częstotliwość próbkowania f_s powinna być minimum dwukrotnie wyższa od najwyższej częstotliwości wchodzącej w skład próbkowanego sygnału (górna częstotliwość widma f_g):

$$f_s \geq 2 f_g$$

W praktyce przyjmując częstotliwość wyższą niż wynika z twierdzenia przyjmuje się:

$$f_s \geq 2,5 f_g$$

Zbyt wysoka częstotliwość próbkowania lepiej odtwarza sygnał analogowy, lecz jest nieuzasadniona ekonomicznie, bo trzeba pamiętać, że pomiary w systemach przemysłowych nie wnoszą wartości dodanej łańcuchu wartości. Natomiast zbyt niska częstotliwość próbkowania powoduje zniekształcenie zarejestrowanego i odtwarzanego sygnału zwane **aliasingiem**. Zjawiska o częstotliwości wyższej niż częstotliwość próbkowania zostaną pominięte lub zniekształcone utrudniając ich interpretację. Przykładem występowania aliasingu są nagrania pojazdów z początków kinematografii. Kiedy pojazd rusza z miejsca jego koła obracają się zgodnie z kierunkiem jazdy. Kiedy ich prędkość pojazdu wzrasta obserwujemy efekt jakby koła zatrzymywały się, a wraz z dalszym wzrostem prędkości zaczynały obracać się wstecz.

Zjawisko aliasingu eliminowane jest za pomocą filtra dolnoprzepustowego, zwany filtrem antyaliasingowym, który ogranicza zakres częstotliwości przetwarzania sygnału analogowe go do $0,4f_s$ [2].

8. Transmisja danych, interfejs szeregowy (RS232, USB)

Transmisja danych w elektronicznych systemach pomiarowych realizowana jest za pośrednictwem **magistrali danych**. Magistrala danych składa się z **szyn**. Szyny danych mają trzy podstawowe rodzaje:

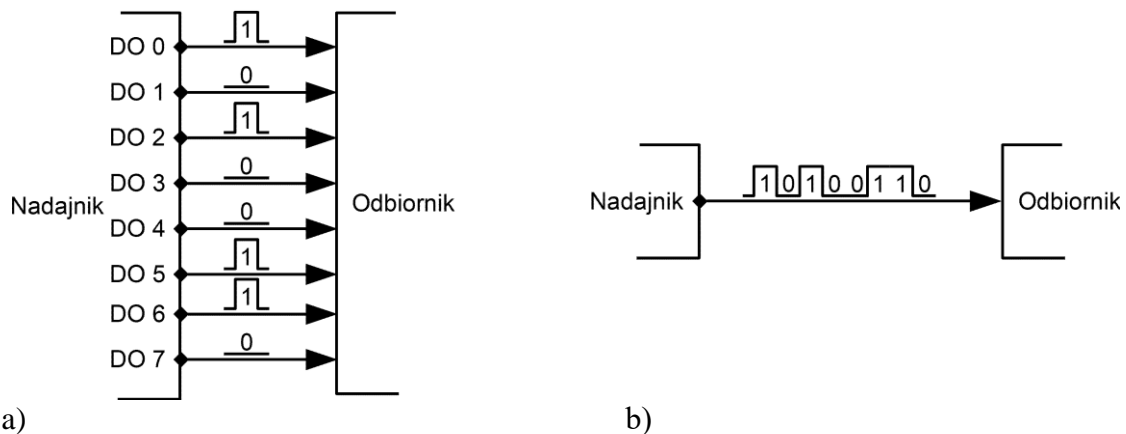
1. szyna **sterująca**, która służy do przesyłania danych sterujących, na przykład rozkaz wykonania pomiaru, rozkaz wyboru zakresu pomiarowego, a także sterowanie odczytem lub zapisem danych,
2. szyna **adresowa**, która wykorzystywana jest do przekazywania adresu urządzenia, z którym realizowana jest komunikacja,
3. szyna **danych**, którą przesyłane są dane, w tym wyniki pomiarów.

Szyny składają się z **linii danych**, zwanych również ścieżkami danych. Szyny mają różne liczby linii danych, a ich suma określa szerokość magistrali.

Transmisja danych (magistrala danych) może być skonstruowana i zorganizowana jako szeregową lub równoległą.

Transmisja równoległa opiera się na przesyłaniu każdego rodzaju danych oddzielnymi liniami danych. Natomiast **transmisja szeregową** wykorzystuje jedną linię danych, przez którą dane przesyłane są kolejno. Przesyłanie danych jest synchronizowane po stronie nadajnika i odbiornika, do czego wykorzystywane są sygnały synchronizujące.

Na Rys. 17 przedstawiono transmisję 8-bitowego słowa szyną do transmisji równoległej (a), w której wszystkie bity tworzące słowo przesyłane są jednocześnie oraz transmisję szeregową, w której z nadajnika do odbiornika pojedyncze bity wysyłane są kolejno (szeregowo). Obydwa rodzaje transmisji odpowiednio różnią się liczbą linii danych (ścieżek) oraz organizacją ich przesyłania.



Rys. 17 Komunikacja równoległa (a) i szeregową (b).
Przesyłana wartość binarna 10100110 w systemie dziesiętnym wynosi 166.

Rodzaj transmisji danych określa też rodzaj magistrali danych i rodzaj interfejsu systemu pomiarowego.

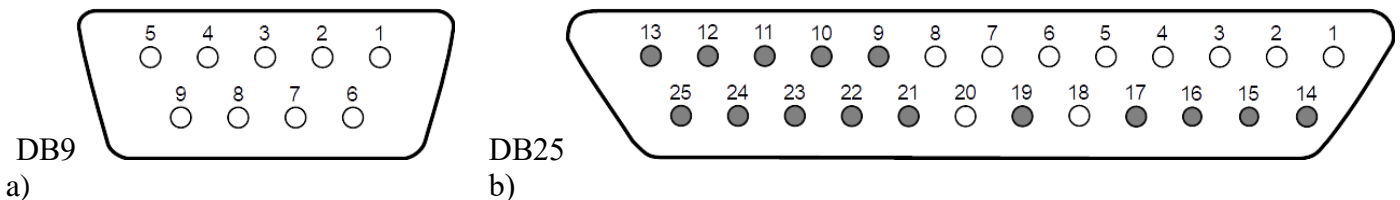
Interfejsem (ang. interface, niem. Schnittstelle) jest połączenie między dwoma systemami, przez które przekazywana jest informacja [PN-T-06508:1984].

Natomiast **system interfejsu** to zbiór elementów sprzętowych i programowych (mechanicznych, elektrycznych i funkcjonalnych), które są niezależne od urządzenia, ale konieczne do wymiany informacji między urządzeniami [PN-T-06508:1984].

Przykładami interfejsów szeregowych są RS-232 (ang. *Recommended Standard*), RS-485, RS-449, RS-530, CAN (ang. *Controlled Area Network*), PROFIBUS (ang. *PROcess FIEld BUS*) oraz USB, a interfejsów równoległych: IEEE-488 (IEC-625).

Standardy RS-530 (RS-449) i RS-485 są dedykowane do budowy systemów pomiarowych, lecz wymagane jest zastosowanie specjalnej karty interfejsowej. Z tego powodu do komunikacji z urządzeniami w prostych systemach pomiarowych stosowany jest standard RS-232.

Standard RS-232 specyfikuje konstrukcję połączenia i sposób wymiany danych między terminalem (DTE - *Data Terminal Equipment*) a modemem (DCE - *Data Communication Equipment*). W przypadku prostych systemów pomiarowych, w których urządzenie pomiarowe komunikuje się z komputerem obydwa urządzenia pełnią funkcje terminala (DTE) z pominięciem modemu (DCE). Magistrala interfejsu RS-232 ma dwie wersje przedstawione jest na rys. 18. W Tabeli 4 podano przeznaczenie poszczególnych linii interfejsu RS-232 w obu wersjach DB9 i DB25. Kierunek transmisji oznaczono względem odbiornika (DTE), którym może być komputer (PC).



Rys. 18 Dwa rodzaje wtyków magistrali RS-232. Kolorem szary zaznaczono nieaktywne piny.

Tabela 4: Opis linii (pinów wtyków) DB25 i DB9.

Nr pinu		Sygnał	Kierunek	Funkcja
DB25	DB9			
1	-	PG	-	<i>Protective Ground</i> – masa ochronna
2	3	TxD	DTE → DCE	<i>Transmitted Data</i> – wyjście danych wysyłanych z DTE
3	2	RxD	DTE ← DCE	<i>Received Data</i> – wejście danych odbieranych przez odbiornik (DTE)
4	7	RTS	DTE → DCE	<i>Request To Send</i> – sygnalizacja sygnalizuje gotowości do odbierania danych przez odbiornik, czyli żądanie nadawania.
5	8	CTS	DTE ← DCE	<i>Clear To Send</i> – sygnalizacja gotowości do wysyłania danych

				przez urządzenie (DCE).
6	6	DSR	DTE ← DCE	<i>Data Set Ready</i> – sygnalizacja gotowości do odbioru danych przez odbiornik (DTE)
7	5	GND	-	<i>Ground</i> – masa linii sygnałowych
8	1	DCD	DTE ← DCE	<i>Data Carrier Detect</i> – odbiór fali nośnej w komunikacji z modemem (DCE)
20	4	DTR	DTE ← DCE	<i>Data Terminal Ready</i> – sygnalizacja gotowości terminala (komputer) do wysyłania i odbierania danych
22	9	RI	DTE → DCE	<i>Ring Indicator</i> -
23	-	DSRD	DTE ← DCE	<i>Data Signal Rate Detektor</i> – sygnalizacja wywołania w komunikacji z modemem (DCE)

Przykładowa sekwencja nawiązywania komunikacji i uruchomienia transmisji danych została przedstawiona w Tabeli 5. Sygnały logiczne „1” na wyjściach odbiornika (DTE) i nadajnika (DCE/DTE) pojawiają się kolejno i warunkują pojawianie się kolejnych sygnałów (ściślej, stanów wysokich na liniach sygnałowych). W celu nawiązania komunikacji obydwa urządzenia, czyli odbiornik (DTE) oraz modem (DCE) lub inne urządzenie DTE ustawiają na wyjściach DTR i DSR stan wysoki (logiczne „1”) sygnalizując gotowość do nawiązania komunikacji. Następnie urządzenie (np. komputer) zaczyna wysyłać sygnał „1” na linii RTS i oczekuje na sygnał gotowości modemu na swojej linii CTS. Te sygnały muszą być utrzymywane przez cały okres transmisji danych. Po uzyskaniu odpowiedzi na linii CTS urządzenie DTE rozpoczyna przesyłanie danych szeregowo przez linie TxD.

Tabela 5: Opis stanów linii podczas nawiązywania komunikacji DTE-DCE według standardu RS-232.

Kolejność	Symbol linii	Przebieg sygnałów w czasie	Opis rozkazu
1	DTR	0 → 1....	Odbiornik gotów do nawiązania komunikacji
2	DSR	0.... 0 → 1....	Nadajnik gotów do nawiązania komunikacji
3	RTS	_____ ↑ _____	Odbiornik żąda nadawania
4	CTS	_____ ↑ _____	Nadajnik gotów do nadawania
5	TxD	_____ ↑ 1 0 1 0 0 1 1 0	Nadajnik przesyła ramkę danych

Transmisja między urządzeniami może być realizowana w jednym kierunku lub dwóch kierunkach, dlatego wyróżnić można następujące typy transmisji (podział ze względu na **kierunek transmisji**):

1. **Simpleks**, kiedy dane przekazywane są jednokierunkowo za DTE do DCE, bądź z DCE do DTE,
2. **Półdupleks**, kiedy dane przekazywane są w dwu kierunkach, lecz niejednocześnie oraz
3. **Dupleks**, w której dane przesyłane mogą być jednocześnie w obu kierunkach.

W tabeli przedstawiono przykładowe sposoby połączeń wtyków do realizacji transmisji różnego typu.

Tabela 6: Sposoby połączeń wtyków magistrali RS-232 realizacji różnych typów transmisji.

Dupleks		Półdupleks		Simpleks	
Wtyk DB-25		Wtyk DB-9		Wtyk DB-9	
1	1	RxD 2	2 RxD	RxD 2	2 RxD
7	7	TxD 3	3 TxD	TxD 3	3 TxD
TxD 2	2 TxD	GND 5	5 GND	GND 5	5 GND
RxD 3	3 RxD	DTR 4	4 DTR	DTE1	DTE2
RTS 4	4 RTS	DSR 6	6 DSR		
CTS 5	5 CTS	RTS 7	7 RTS	RxD 2	2 RxD
DCD 8	8 DCD	CTS 8	8 CTS	TxD 3	3 TxD
DSR 6	6 DSR			GND 5	5 GND
DTR 20	20 DTR			DTE	DCE

9. Własny projekt układu pomiarowego (toru sprzętowego i programu komputerowego) wybranej wielkości nieelektrycznej

Projekt systemu monitorowania WYBRANEGO procesu wytwarzania

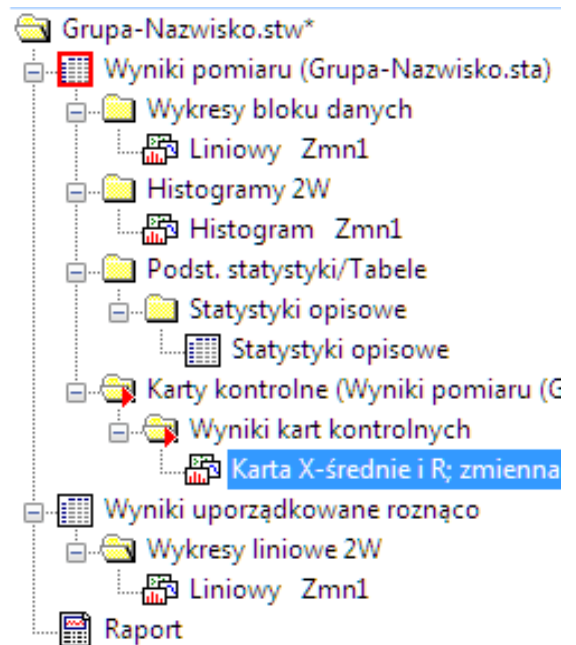
1. Wybrać proces do monitorowania (według branży, która mnie interesuje)
2. Rozpoznać krytyczne lub wybrane zmienne (istotne trzy wielkości procesowe, dobrze aby pochodziły z różnych etapów i były różnego charakteru)
3. Określić zakres zmienności i dokładność wybranych trzech wielkości procesowych
4. Dobrać czujniki pomiarowe (nazwa producenta, typ, karta katalogowa, dostępne charakterystyki)
5. Dobrać elementy toru pomiarowego (np. karty pomiarowe, wzmacniacz, interfejs, przewody, komputer, sterownik)
6. Zaplanować algorytm przetwarzania sygnałów (np. filtracja), wybór cech sygnałów, opracowanie statystyczne wyników (np. wartości średnie, maksymalne w pewnym okresie, różnice)
7. Zastosować SPC (Statistical proces control, statystyczne sterowanie procesem), m.in. karty kontrolne
8. Zaprojektować interfejs SCADA

10. Instrukcja „Samodzielne opracowywanie wyników”

Kolejność czynności

1. Wprowadzić zgromadzone wyniki do arkusza w programie Statistica. Plik nazwać Grupa-Nazwisko.sta (rozszerzenie *.STA) i zapisać w katalogu Moje Dokumenty.
2. W programie utworzyć wykres przebiegu pomiarów (Prawym klawiszem myszy [PM] na nagłówku zmiennej, z menu kontekstowego: Wykres bloku

- danych -> wykres liniowy, całe kolumny)
- Do skoroszytu dodać arkusz wyników
([PM] na Skoroszycie: Wstaw->OK.->Pobierz z okna, wskazać odpowiedni arkusz, OK)
 - Utworzyć kopię wyników
([PM] na arkuszu wyników: Kopiuj obiekt skoroszytu,
Następnie [PM] na Skoroszycie: Wklej obiekt skoroszytu)
 - Zmienić nazwę skopiowanego arkusza na inną np. „kopia wyników” lub „posortowane”
 - W skoroszycie wstawić dokument raportu
([PM] na Skoroszycie: Wstaw->Nowy Dokument->Raport->OK)
 - Przygotować minimum:
 - Tabele statystyk opisowych (średnia, mediana, moda, skośność, kurtoza i inne)
 - Wykres przebiegu
 - Histogram
 - Kartę kontrolną XR (dostosować położenie linii centralnej i granic kontrolnych)
 - Wykres posortowanych wyników pomiarów (sortowanie tylko w arkuszu „kopia”)
 - Inne wykresy, statystyki według zainteresowania lub posiadanej wiedzy i umiejętności interpretowania.
 - Jeżeli posiadamy wyniki dwu zmiennych, które są ze sobą w procesie związane należy przygotować wykres rozrzutu.
 - Skopiować i wkleić w raporcie obrazy wykresów i tabel z poprzedniego punktu
 - Pod każdym z rysunków umieścić kilkuzdaniowy opis.
W tym momencie zaczyna się właściwa praca – analiza wyników.



Wszystko co potrafimy odczytać z formy graficznej przelewamy na formę słowną.

Jeżeli chcemy możemy pokazać wybrany wykres dwukrotnie – jak przygotował program automatycznie, a jak wygląda po wprowadzeniu naszych poprawek, które lepiej prezentują np. rozkład wyników.

11. Instrukcja interpretacji i opisy wyników analizy

- Omówić, co było przedmiotem pomiaru (może być fotografia), jaka była mierzona cecha, jakie ma znaczenie i jaka jest wartość oczekiwana, warunki przeprowadzenia pomiaru.

2. Tabela statystyk opisowych/podstawowych
 - a. Porównać wartości przeciętnych (moda, mediana, średnia)
 - Jakiego rozkładu możemy się spodziewać po tych porównaniach?
 - Czy wartość średnia będzie reprezentatywna dla zbioru? Czy możemy jej zaufać?
 - b. Obliczyć rozstęp, porównać z tolerancją, (odchylenie standardowe i wariancja)
 - c. Jeżeli znamy tolerancję obliczyć wskaźniki jakości C_p , C_{pk}
 - d. Zaokrąglić wartości odpowiednio do dokładności urządzenia pomiarowego; może być o rząd dokładniej;
 - e. Skośność i kurtozę zamieścić na planszy z histogramem
3. Histogram
 - a. Opisujemy rozkład, porównujemy do rozkładu normalnego (czerwona krzywa)
 - i. Czy rozkład ma jedną dominującą kategorię (liczba mód, błędy systematyczne i przypadkowe)?
 - ii. Czy jest symetryczny (podać skośność)?
 - iii. Czy jest szerszy lub bardziej spłaszczony w porównaniu do normalnego (kurtoza)?
 - b. Jeśli zachodzi taka potrzeba przygotować oddzielne histogramy dla grup wyników (według mód). Nie porównywać dromadera do wielbłąda.
4. Wykres przebiegu pomiaru
 - a. Opowiedzieć historię przeciętnej i zmienności
 - b. Zauważyć błędy systematyczne
 - c. Zauważyć (lub nie) składowe sygnały.
 - d. Ile razy wystąpiły odstające.
5. Wyniki uporządkowane rosnąco
 - a. Czy dokładność urządzenia pomiarowego jest odpowiednia? Czy liczba schodów nie jest zbyt niska?
 - b. Czy występują dodatkowe mody (błędy systematyczne, inna przyczyna zróżnicowania wyników), których nie było widać na histogramie (może przygotować dodatkowy histogram)
6. Karta/y kontrolna/e XR, (XS, EWMA, CUSUM)
 - a. Opisywać według przeznaczenia karty:
 - i. Filtracja surowych wyników, eksponowanie trendów, wykrywanie błędów systematycznych
 - ii. Sterowanie jakością
 - b. Na dodatkowym wykresie określić położenie linii centralnej (jeśli znana jest wartość oczekiwana) oraz granic kontrolnych (jeśli znana tolerancja, uzasadnić położenie granic względem odchyłek)



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

Zasady prezentacji:

Ponieważ wszyscy prelegenci wykonali podobne opracowania, dlatego nie należy informować o podstawach matematycznych wykonanych analiz, tzn.:

- w raporcie pod wykresami powinny znajdować się wyczerpujące opisy, do prezentacji wybieramy tylko istotne treści,
- czas wystąpienia 3 minuty (maksymalnie 5 minut),
- nie tłumaczyć co to jest histogram, moda, mediana,
- nie tracić czasu na wprowadzenie „To jest histogram ...” tylko przejść od razu do omawiania wyników: Rozkład (cecha) jest
- nie czytać liczb z ekranu („średnia wynosi 15”) lecz popisać się wykonaną pracą, wartość porównywać („średnia jest zbliżona do wartości mody”), wymieniać i opisywać, (porównać średnią do oczekiwanej)
- na kolejnych wykresach dodawać nowe informacje, nie powtarzać poprzednich (np. minimum i maksimum wymieniono w tabeli statystyk podstawowych, więc na wykresie przebiegu nie powtarzamy tego samego, lecz sprawdzamy jak liczne były wystąpienia wartości odstających,
- nie mówić o formach graficznych wykresów lecz o przedmiocie pomiaru i odpowiednio nazywać wykresy (zamiast „wykres liniowy”, co nie jest zgodne z prawdą nazwać: „przebieg pomiaru ciśnienia krwi”, „średnica tulei Fi15”, „porowatość stu próbek gazobetonu”, „temperatura chłodni w okresie 12 miesięcy”).
- nie prezentować wyników liczbowych ze zbyt dużą precyzją (chodzi o liczbę zer po przecinku, która dla inżyniera oznacza tolerancję)

Uwaga: Przedstawiono minimalny zestaw statystyk. Mile widziane będą dodatkowe wykresy i tabela zaproponowane przez prelegenta.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

12. Literatura

1. Durczak K. *Pomiary wielkości geometrycznych w technice*. Wyd. Akademii Rolniczej, Poznań 2006.
2. Nawrocki W. *Komputerowe systemy rozproszone*. WKŁ 2006.
3. Nawrocki W. *Rozproszone systemy pomiarowe*. WKŁ Warszawa 2006.
4. Tumański S. *Technika pomiarowa*. WNT Warszawa 2007.
5. Adamczak S., Makiela W. *Metrologia w budowie maszyn. Zadania z rozwiązaniami*. WNT, Warszawa 2007.
6. JCGM 100:2008 *Ewaluacja danych pomiarowych Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru*.
7. *Międzynarodowy Słownik Terminów Metrologii Prawnej*. Główny Urząd Miar 2015.
8. Fita S. *Słownik metrologiczny*. Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji, Wrocław [http://www.metrologia.pwr.edu.pl/pliki/sownik_metrologiczny.pdf], dostęp 2020.12.
9. *Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii*. Główny Urząd Miar 1996
10. Jakubiec W. *Metrologia wielkości geometrycznych*. WNT, Warszawa 1999.
11. Gryboś P. *Zintegrowane Czujniki Pomiarowe. Wybrane zagadnienia i przykłady*. AGH, Kraków [http://www.kmet.agh.edu.pl/wp-content/uploads/ZintegrCzujPom_PG2011.pdf], dostęp 2020.12.
12. Chwaleba A., Poniski M., Siedlecki A. *Metrologia elektryczna*, WNT, Warszawa 2000.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

Spis treści

1. Wprowadzenie	2
2. Wiadomości teoretyczne z metrologii i technik pomiarowych	3
Pojęcia podstawowe	4
Rodzaje wymiarów	6
3. Błędy i niepewność pomiaru, monitorowanie i wzrost jakości	8
Zadania	12
4. Postępowanie pomiarowe	13
5. Czujniki pomiarowe	15
6. Przeznaczenie i struktura systemu pomiarowego	18
7. Przetworniki analogowo-cyfrowe (A/C)	20
8. Transmisja danych, interfejs szeregowy (RS232, USB)	24
9. Własny projekt układu pomiarowego (toru sprzętowego i programu komputerowego) wybranej wielkości nieelektrycznej	27
10. Instrukcja „Samodzielne opracowywanie wyników”	27
11. Instrukcja interpretacji i opisy wyników analizy	28
Zasady prezentacji:	30
12. Literatura	31

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny

