

Laboratorium metrologii

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

Temat ćwiczenia: Wzorce i przyrządy pomiarowe

Opracowała mgr Monika Woźniak
Szczecin 2016

Spis Treści

| | |
|--|----|
| Wprowadzenie | 2 |
| 1. Historia rozwoju jednostek miar | 3 |
| 2. Wzorce pomiarowe i ich klasyfikacja | 4 |
| 3. Przyrządy pomiarowe i ich klasyfikacja | 6 |
| 4. Metody pomiarowe charakterystyka i podział | 11 |
| 5. Obowiązujące normy i ich znaczenie dla metrologii | 14 |
| 6. Cel ćwiczenia | 16 |
| 7. Wymagany zakres wiedzy | 16 |
| 8. Pytania kontrolne | 17 |
| Literatura | 17 |

Wprowadzenie [8]

Niniejsze opracowanie powstało jako pomoc do ćwiczeń laboratoryjnych z miernictwa warsztatowego, metrologii i systemów pomiarowych, metrologii oraz podstaw metrologii odrabianych przez studentów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie. Dotyczy ono wiadomości wstępnych związanych z pomiarem. W szerszym ujęciu z zagadnieniem tym łączą się nierozdzielnie dwa pojęcia: *modelowanie matematyczne* i *mierzenie*. Modelowanie matematyczne polega na odwzorowywaniu cech przedmiotów lub zdarzeń – symbolami abstrakcyjnymi (najczęściej liczbami), a związków między tymi cechami – związkami między tymi symbolami. Mierzenie zaś jest eksperymentem prowadzącym do wyznaczenia liczb modelujących konkretne cechy przedmiotów i zdarzeń. Modelowanie matematyczne prowadzi do utworzenia skali pomiarowej, cechą zaś, dla której można utworzyć skalę, nazywa się **wielkością**. Opierając się na takim rozumieniu pomiaru, można mierzyć różne cechy, np.: masę, ciężar, temperaturę ciała przyrządami pomiarowymi, a także np. inteligencję i efektywność dydaktyczną procesu nauczania za pomocą standardowych testów, czy też twardość materiału według skali twardości Mohsa. W ostatnich trzech przypadkach nie można utworzyć jednostki miary, bowiem skale tych wielkości (inteligencji, efektywności dydaktycznej, twardości) mają jedynie charakter porządkowy.

W węższym, klasycznym ujęciu – przy podziale wielkości na podstawowe i pochodne – *wielkość (mierzalna)* to *właściwość (cecha) zjawiska, ciała lub substancji, którą można wyrazić ilościowo* [7] Wielkość musi się dać wyrazić ilościowo, co sprowadza się do wyznaczenia **wartości wielkości**, tj. iloczynu liczby i **jednostki miary**. Zgodnie z takim pojmowaniem wielkości mierzalnej, pomiar polega na wykonaniu czynności doświadczalnych, mających na celu wyznaczenie wartości określonej wielkości. Klasyczną definicję *pomiaru* określa się często inaczej: *zmierzyć wielkość — to znaczy ustalić jej stosunek do innej wielkości tego samego rodzaju przyjętej za jednostkę miary*.

Właściwie wyprodukowany wyrób musi mieć odpowiednie cechy, przewidziane w warunkach technicznych, jak twardość, wytrzymałość, struktura, skład chemiczny itp. Jednym z najważniejszych warunków decydujących o wartości użytkowej produktu jest nadanie mu właściwej postaci geometrycznej w procesie produkcyjnym, w którym funkcję kontrolną spełniają pomiary długości i kąta. Zatem doskonalenie sposobów pomiaru i przyrządów pomiarowych ma duży wpływ na poprawę jakości produkcji, warunkuje postęp techniczny, zwłaszcza w tych dziedzinach, w których są stawiane coraz większe wymagania dokładnościowe, a także przyczynia się do podniesienia niezawodności wyrobów i wydajności pracy.

1. Historia rozwoju jednostek miar

Aktualnie używany system miar powstał dnia 8 lutego 1919 roku za sprawą podpisanego przez Piłsudskiego Dekretu o miarach. Do tego czasu na ziemiach polskich w powszechnym użyciu były miary o staropolskim rodowodzie, odwołujące się do człowieka jako pierwotnego instrumentu mierniczego. Można było wyróżnić:

- *wiorsta (werszt)* - zasięg donośności głosu ludzkiego
- *sążeń (siąg)* - największa szerokość rozkrzyżowanych poziomo rąk
- *łokiec mały (kupiecki)* - odległość od końca średniego palca do pachy
- *piędź* - największa rozwartość między końcami palców wielkiego i małego
- *palec (cal)* - miara zwana całem równa szerokości ośmiu ziaren jęczmienia
- *stopa* - szerokość skiby ziemi, odległość między rzędami kartofli
- *pręt (pertyka, laska do mierzenia)* - 15 stóp, 7/ 1 łokcia
- *morga móg (jutrzyna)* - wielkość polu zaoranego lub skoszonego przez jednego człowieka od rana do południa, do zniesienia pańszczyzny wymiar jednodziennej pracy zadawanej parobkowi liczył 200 lub 300 prętów kwadratowych
- *garniec* - miara nasypna (większa) i nalewana, nazwa pochodzi od garści zagarniającej do gatrnka sypane zboża lub zlewane płyny
- *korzec* - duża miara nasypna, nazwa pochodzi od kory, gdyż pierwotny korzec był miarą dłubaną, wykonaną z nieokorowanej kłody świerkowej: korzec dzielono na ćwiertnie (półkorcówki), ćwierci, garnce, kwarty, kwaterki

Przez wieki całe w handlu stosowano zróżnicowane, uznawane lokalnie, umowne miary i wagi, będące przyczyną konfliktów kupieckich. Niejednokrotnie podejmowano próby ujednoczenia miar. W 1764 roku sejm koronacyjny Stanisława Augusta zatwierdził ustawę przyjmującą za wzorce miary warszawskie:

- łokiec (59,553 cm),
- funt (0,4057 kg),
- kwartę (0,707 litra),
- garniec (2,827 litra)
- korzec (120,6 litra)

Po upadku politycznym Polski ponownie nastąpiło pomieszanie miar polskich z narzuconymi przez państwa zaborcze. W 1818 roku w granicach Królestwa Polskiego, z inicjatywy Stanisława Staszica, opracowano nowy system miar, zwany "nowopolskim". Był on ściśle związany z systemem metrycznym, choć zrezygnowano z podziału dziesiętnego i zachowano dawne nazwy miar. Podstawową jednostką długości była 1 linia równa 2 mm, kwarta odpowiadała objętości 1 litra, 1 granik równał się 8 miligramom. Ustawa nałożyła na magistraty obowiązek sprawdzania i cechowania miar godłem państwowym.

W 1849 roku wprowadzono jako obowiązujące rosyjskie pieniądze i miary. Podstawową jednostką długości był sążeń (2,1336 m), ale różny od polskiego, jednostką wagi – pud (16,38 kg), jednostką pojemności - wiede (wiadro – 12,289 litra). Miary rosyjskie były miarami urzędowymi, lecz na co dzień w handlu stosowano także miary nowopolskie obok warszawskich i umownych lokalnych (np. kubeł drozdowski). Po wprowadzeniu systemu metrycznego w zaborze pruskim w 1872 roku i austriackim w 1886 roku pojawiły się w użytku również miary metryczne.

Dziś o tym, by system miar w Polsce był jednolity dba Główny Urząd Miar i podległe mu instytucje, które zostały omówione w poniższym paragrafie.

2. Wzorce pomiarowe i ich klasyfikacja

Podstawowa definicja wzorca jest następująca [7]:

Wzorzec pomiarowy (etalon) – realizacja definicji danej wielkości o zadeklarowanej wartości wielkości, której towarzyszy związana z nią niepewność pomiaru. Realizacja ta służy jako odniesienie.

Tak rozumiany wzorzec pomiarowy często bywa stosowany jako odniesienie przy ustalaniu wartości wielkości zmierzonej i związanej z nią niepewności pomiaru innych wielkości tego samego rodzaju, dzięki czemu możliwe staje się ustanowienie spójności pomiarowej realizowane drogą wzorcowania innych wzorców pomiarowych, przyrządów pomiarowych lub układów pomiarowych.

W zależności od potrzeb stosuje się różne klasyfikacje wzorców, np.:

- międzynarodowy – państwowy,
- pierwotny – wtórny,
- odniesienia – roboczy.

Międzynarodowy wzorzec pomiarowy – wzorzec pomiarowy uznany przez sygnatariuszy umowy międzynarodowej i przeznaczony do stosowania w skali światowej. Przykładem jest międzynarodowy prototyp jednego kilograma – jedyny zresztą wzorzec o postaci materialnej.

Państwowy wzorzec pomiarowy (wzorzec państwowy) – wzorzec pomiarowy uznany przez organ państwowy do stosowania w państwie lub gospodarce jako podstawa do przyporządkowania wartości wielkości innym wzorcom pomiarowym danego rodzaju wielkości.

Wzorzec pomiarowy pierwotny – wzorzec pomiarowy ustanowiony przy użyciu procedury pomiarowej odniesienia podstawowej, albo wykonany jako artefakt i wybrany na mocy konwencji.

Wzorzec pomiarowy wtórny – wzorzec pomiarowy utworzony przez wzorcowanie za pomocą pierwotnego wzorca pomiarowego dla wielkości tego samego rodzaju.

Wzorzec pomiarowy odniesienia – wzorzec pomiarowy przeznaczony do wzorcowania innych wzorców pomiarowych wielkości danego rodzaju w danej organizacji lub w danym miejscu.

Wzorzec pomiarowy roboczy – wzorzec pomiarowy, który używany jest stale do wzorcowania lub weryfikacji (sprawdzania) przyrządów pomiarowych lub układów pomiarowych.

Hierarchiczny układ sprawdzeń to schemat pokazujący, w jaki sposób przekazywana jest jednostka miary od jej międzynarodowego wzorca do danego przyrządu - rys. 1

Układ ten zawiera w szczególności informacje o:

- wzorcach jednostki miary na poszczególnych poziomach łańcucha porównań,
- przyrządach pomiarowych użytkowych,
- metodach porównań wzorców jednostek miar i przyrządów pomiarowych użytkowych,
- niepewności wartości wielkości odtwarzanych przez wzorce jednostki miary na poszczególnych poziomach łańcucha porównań.



Rys.1. Hierarchiczny układ sprawdzeń

W Polsce organem odpowiedzialnym za wzorce państwowe jest Główny Urząd Miar. Jest to instytucja powołana 1 kwietnia 1919 roku przez Józefa Piłsudskiego. Zadaniem powołanego wtedy urzędu było ujednoczenie systemu miar. Równocześnie powstawały okręgowe i obwodowe urzędy miar, które obecnie tworzą rządową administrację miar.

Podstawowe zadania GUM to:

- budowa i utrzymanie oraz modernizacja państwowych wzorców jednostek miar,
- zapewnienie w drodze porównań powiązania (polskich) państwowych jednostek miar z międzynarodowymi wzorcami jednostek miar lub takimi wzorcami w innych krajach,
- zapewnienie przekazywania wartości legalnych jednostek miar od państwowych wzorców jednostek miar do przyrządów pomiarowych,
- wykonywanie prawnej kontroli metrologicznej i nadzoru metrologicznego.

W Polsce jest aktualnie 20 państwowych wzorców jednostek miar, z czego w Głównym Urzędzie Miar utrzymywanych jest 18 wzorców (uznanych za państwowe na podstawie rozporządzenia w sprawie wzorców państwowych). W poniższej tabeli wskazano miejsca utrzymania państwowych wzorców jednostek miary.

| <u>Miejsce utrzymywania</u> | <u>Państwowy wzorec jednostki miary</u> |
|------------------------------------|---|
| Zakład Długości i Kąta GUM | <ul style="list-style-type: none"> • Długości • Kąta płaskiego • Kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji płaskopolaryzowanej fali świetlnej w widzialnym zakresie widma • Współczynnika załamania światła |
| Zakład Promieniowania i Drgań GUM | <ul style="list-style-type: none"> • Strumienia świetlnego • Światłości |
| Zakład Mechaniki GUM | <ul style="list-style-type: none"> • Masy |
| Zakład Elektryczny GUM | <ul style="list-style-type: none"> • Napięcia elektrycznego stałego • Indukcyjności • Pojemności elektrycznej • Stosunku napięć elektrycznych przemiennych o częstotliwości 50 Hz • Napięcia elektrycznego przemiennego • Stosunku prądów elektrycznych przemiennych o częstotliwości 50 Hz |

| | |
|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Rezystancji • Czasu i częstotliwości |
| Zakład Fizykochemii GUM | <ul style="list-style-type: none"> • Gęstości • Temperatury w zakresie od -189,3442 °C do 961,78 °C • PH |
| Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Izotopów POLATOM w Otwocku-Świerku (wzorzec nadzorowany przez GUM) | <ul style="list-style-type: none"> • Aktywności promieniotwórczej radionuklidów |
| Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu (wzorzec nadzorowany przez GUM) | <ul style="list-style-type: none"> • Temperatury w zakresie niskich wartości (od -259,3467 °C do 0,01 °C) |

3. Przyrządy pomiarowe i ich klasyfikacja [8]

Przyrząd pomiarowy to urządzenie służące do wykonywania pomiarów, użyte indywidualnie lub w połączeniu z jednym lub więcej urządzeniami dodatkowymi.

Układ pomiarowy to zbiór obejmujący jeden lub więcej przyrządów pomiarowych, a często inne urządzenia, w tym, jakiegokolwiek odczynniki i zasilanie, połączone i przystosowane do generowania wartości wielkości mierzonej w określonych przedziałach wielkości określonych rodzajów.

W skład przyrządu lub układu pomiarowego w ogólnym przypadku wchodzi następujące elementy (rys. 3.1):

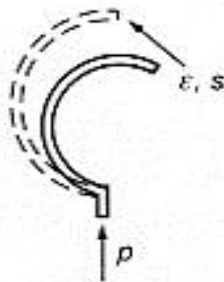
- czujnik (sensor) – element układu pomiarowego, na który bezpośrednio oddziałuje zjawisko, ciało lub substancja przenosząca wielkość, która ma być zmierzona,
- przetwornik pomiarowy – urządzenie, używane w pomiarach, które daje wielkość wyjściową pozostającą w określonej zależności do wielkości wejściowej,
- wzmacniacz – element układu pomiarowego wzmacniający przetworzony lub nieprzetworzony sygnał pomiarowy tak, aby był możliwy do zauważenia,
- filtr – element układu pomiarowego oddzielający od sygnału pomiarowego niepożądane (zakłócające) jego składowe,
- urządzenie wskazujące i/lub rejestrator – w przypadku rozwiązania analogowego podziałka i wskazówka, w przypadku rozwiązania cyfrowego – wyświetlacz cyfrowy .

W konkretnym przyrządzie nie muszą występować wszystkie elementy, a niektóre elementy przyrządu mogą pełnić więcej niż jedną funkcję.

Przykłady czujników:

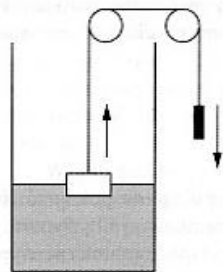
Przykład 1. Uzwojenie platynowego termometru rezystancyjnego. Następuje wyrównanie się temperatury mierzonego elementu lub otaczającego medium i temperatury uzwojenia termometru.

Przykład 2. Rurka Bourdona. Ciśnienie medium w rurce jest równe mierzonemu ciśnieniu element odbiera informację pomiarową – rys. 2.



Rys. 1. Rurka Bourdona

Przykład 3. Pływak poziomomierza. Wraz ze zmianą poziomu cieczy zmienia swoje położenie pływak – rys.3 – położenie pływaka zawiera informację o ilości (poziomie) cieczy w zbiorniku.



Rys. 3 Schemat poziomomierza pływakowego

Przykład 4. Powierzchnie wrzeciona i kowadełka mikrometru oraz sprzęgło. W czasie pomiaru mikrometrem, mierzonego przedmiotu dotykają powierzchnie wrzeciona i kowadełka, a zadziałanie sprzęgła stanowi informację, że przedmiot jest ściskany właściwą siłą (nacisk pomiarowy). O tym czy odbiór informacji pomiarowej będzie prawidłowy, w dużej mierze decyduje osoba wykonująca pomiar

Przykłady przetworników pomiarowych:

Przykład 1. Termoelement. Pod wpływem różnicy temperatury między miejscami złączy (pomiarowego i „odniesienia”) powstaje różnica potencjałów, proporcjonalna do różnicy tych temperatur – następuje przetworzenie wartości temperatury na wartość siły elektromotorycznej.

Przykład 2. Przekładnik prądu elektrycznego. Przekładnik to transformator, dzięki któremu na podstawie pomiaru małego prądu płynącego przez uzwojenie wtórne można wyznaczyć wartość prądu o dużym natężeniu płynącego przez uzwojenie pierwotne.

Przykład 3. Rurka Bourdona (wcześniej wskazana jako przykład czujnika). Wartość odkształcenia sprężyny rurkowej Bourdona jest zależna od wartości ciśnienia- rys.2. Następuje przetworzenie wartości ciśnienia na wartość odkształcenia (długość).

Przykład 4. Przekładnia zębata w czujniku mechanicznym tarczowym. Przekładnia ta powoduje, że przemieszczenie trzpienia pomiarowego (długość) jest zamieniane na obrót wskazówki (kąt).

Przykład 5. Układ śruba-nakrętka w mikrometrze. Układ ten powoduje, że odległość między powierzchniami wrzeciona i kowadełka jest zamieniana na kąt obrotu śruby mikrometrycznej.

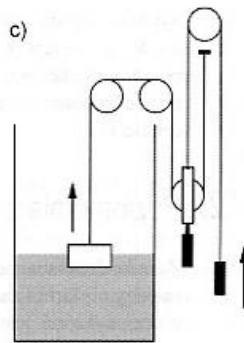
Przykład 6. Bloki, ciężno i wskazówka poziomomierza pływakowego. Wraz ze zmianą położenia pływaka - rys.3 zmienia położenie element znajdujący się na zewnątrz zbiornika. Bloki, przez które jest przerzucone ciężno powodują zmianę kierunku (zwrotu) ruchu – wyższemu poziomowi cieczy odpowiada niższe położenie elementu zewnętrznego (wskazówki).

Przykłady wzmacniaczy:

Przykład 1. Wzmacniacz sygnału elektrycznego.

Przykład 2. Czy w mikrometrze występuje wzmacniacz? W związku z zastosowaniem układu śruba-nakrętka ma miejsce (bez dodatkowych elementów) istotne wzmocnienie sygnału pomiarowego. Jest ono zależne od skoku śruby mikrometrycznej (większy skok – mniejsze wzmocnienie) i od średnicy bębna (większa średnica – większe wzmocnienie). W mikrometrach stosuje się zwykle gwint o skoku 0,5 mm, a średnica bębna wynosi zwykle ok. 20 mm, co powoduje, że zmiana wymiaru o 0,01 mm jest widoczna jako obrót bębna o jedną działkę elementarną o długości ok. 1 mm.

Przykład 3. Wielokrążek w poziomomierzu. W poziomomierzu pokazanym na rys. 3 nie ma wzmacniacza, ale można sobie wyobrazić proste rozwiązanie wzmacniacza. Zastosowanie wielokrążka (rys.4) daje dwukrotne wzmocnienie sygnału pomiarowego. Przy okazji nastąpiła ponowna zmiana kierunku (zwrotu) ruchu elementu zewnętrznego (wskazówki) i teraz wyższemu poziomowi cieczy odpowiada wyższe położenie wskazówki.

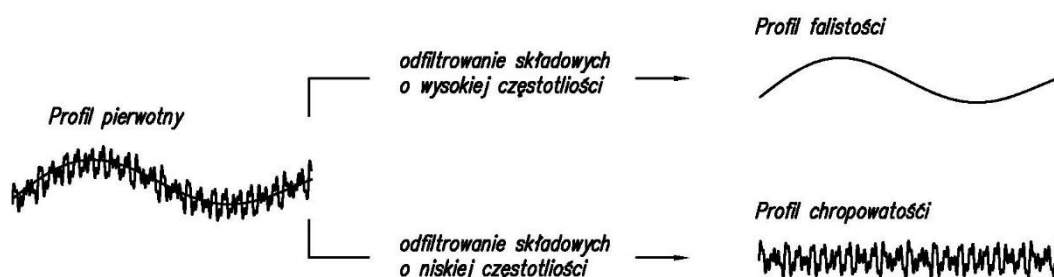


Rys. 4. Zastosowanie w poziomomierzu pływakowym bloczka ruchomego daje dwukrotne wzmocnienie sygnału pomiarowego.

W wielu przypadkach sygnał pomiarowy zawiera oprócz informacji będącej celem pomiaru inne informacje lub wręcz zakłócenia. Zbędne informacje powinny być oddzielone.

Przykłady filtrów:

Przykład 1. Filtr cyfrowy oddzielający składowe o wysokich częstotliwościach i/lub niskich częstotliwościach z profilu pierwotnego w celu otrzymania profilu chropowatości lub falistości powierzchni – rys. 5.



Rys. 5. Przykład działania filtru cyfrowego profilometru; z lewej profil pierwotny, z prawej u góry profil falistości (po odfiltrowaniu składowych o wysokiej częstotliwości, czyli chropowatości) i u dołu profil chropowatości (po odfiltrowaniu składowych o niskiej częstotliwości, czyli falistości)

Przykład 2. Ślizgacz w prostych rozwiązaniach profilometrów. Tutaj mamy do czynienia z filtrem mechanicznym – dzięki temu, że płoza ślizgacza przemieszcza się po obwiedni nierówności, zmiany położenia ostrza odwzorowującego praktycznie zawierają wyłącznie informację o chropowatości powierzchni (nie zawierają informacji o falistości powierzchni).

Wskazanie (przyrządu pomiarowego) to wartość wielkości otrzymana z przyrządu pomiarowego lub układu pomiarowego

Wskazanie może mieć postać wizualną lub akustyczną lub może być przesłane do innego urządzenia. Wskazaniem może być [7]:

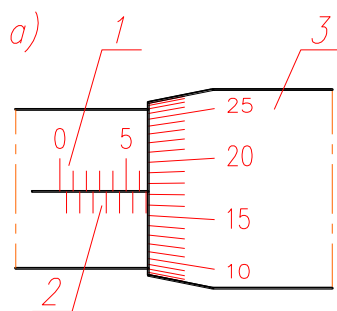
- położenie wskazówki na podzielni (przy wskazaniu analogowym),
- pokazywane lub drukowane liczby (przy wskazaniu cyfrowym),
- wzór kodu (przy wyjściu kodowym),
- przyporządkowana wartość wielkości miary materialnej.

Warto pamiętać, że wskazanie i odpowiadająca wartość wielkości mierzonej niekoniecznie są wielkościami tego samego rodzaju.

Podziałka przyrządu pomiarowego ze wzrokowym odczytem wskazania to część przyrządu pomiarowego, składająca się z uporządkowanego zbioru wskazów wraz z przypisanymi im wartościami wielkości

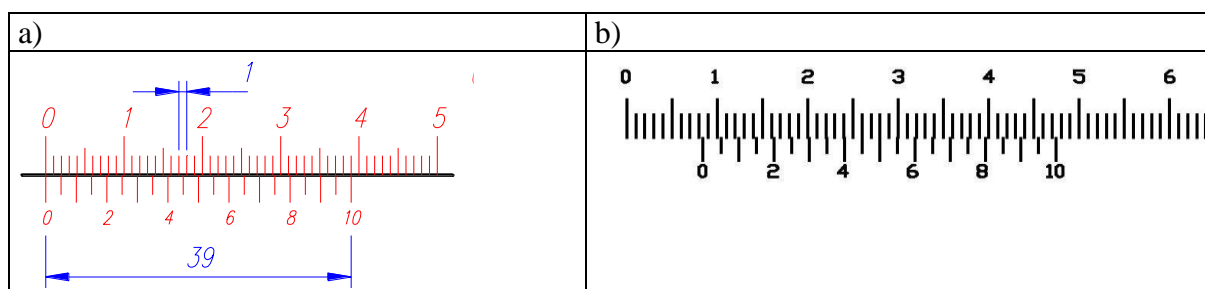
Przykłady urządzenia wskazującego

Przykład 1. Urządzenie wskazujące mikrometru składa się z dwóch elementów (dwie podziałki i dwie wskazówki). Pełne milimetry i ewentualnie połówki milimetra odczytuje się z dwuczęściowej podziałki na tulei (wartość działki elementarnej 0,5 mm, ale kreski naniesione są na przemian co 1 mm, z przesunięciem o 0,5 mm), dla której wskazówkę stanowi krawędź bębna. Dziesiąte, setne i tysięczne (przez interpolację) części milimetra odczytuje się z podziałki na bębnie mikrometru, dla której wskazówką jest długa linia na tulei - rys. 6.



Rys. 6. Odczytywanie wskazań mikrometru: 1 – podziałka dla pełnych milimetrów, 2 – podziałka dla połówek milimetrów, 3 – podziałka o wartości działki elementarnej 0,01 mm; wskazanie wynosi 6,672 mm (odczytano 6 mm z podziałki 1, 0,5 mm z podziałki 2 i 0,172 mm z podziałki 3)

Przykład 3. Noniusz suwmiarki. Do odczytywania wskazania suwmiarki wykorzystuje się noniusz. Najczęściej spotyka się noniusze o zdolności odczytania 0,05 mm - rys. 7a.



Rys. 7. Noniusz suwmiarki: a) budowa, b) odczytywanie wskazania; wskazanie 8,45 mm Ź r ó d ł o: opracowanie własne

Noniusz stanowi podziałka o długości działki elementarnej 1,95 mm, jako że powstała z podzielenia długości 39 mm na 20 równych części. Przesunięcie noniusza względem podziałki prowadnicy o 0,05 mm powoduje, że pierwsza kreska noniusza (nie licząc kreski oznaczonej jako 0) wejdzie w koincydencję z kreską podziałki głównej, przesunięcie o 0,1 mm spowoduje, że w koincydencję wejdzie druga kreska noniusza itd. Całkowitą liczbę milimetrów odczytuje się z podziałki prowadnicy – wskazówką jest kreska 0 noniusza - rys. 7b. Ułamkową część wskazania odczytuje się po znalezieniu kreski noniusza będącej w koincydencji z kreską podziałki prowadnicy – widoczny opis kreski noniusza oznacza dziesiąte części milimetra.

Współczesne przyrządy pomiarowe wyposażane są elektroniczne urządzenia służące do opracowania wyników pomiaru lub wręcz komputery z odpowiednim oprogramowaniem. Przykłady opracowania wyniku pomiaru:

Przykład 1. Opracowanie graficzne wyników pomiaru odchyłki okrągłości

Przykład 2. Opracowanie wyników pomiaru współrzędnościowego części silnika spalinowego w postaci protokołu zawierającego (oprócz wyników) wartości nominalne, odchyłki graniczne i informację o wykorzystaniu pola tolerancji.

Najważniejsze charakterystyki metrologiczne przyrządu pomiarowego to:

- zakres pomiarowy – zakres wartości wielkości, których pomiar może być dokonany z błędem zawartym w określonych granicach

Przykład: zakresy pomiarowe mikrometrów do wymiarów zewnętrznych mogą być następujące: 0-25 mm, 25-50 mm, 50-75 mm itd.,

- wartość działki elementarnej – wartość wielkości mierzonej odpowiadająca działce elementarnej; w przypadku przyrządów cyfrowych często zamiast pojęcia „wartość działki elementarnej” stosuje się pojęcie „krok cyfrowy” – wartość wielkości mierzonej odpowiadająca najmniejszej zmianie wskazań cyfrowych,

Przykłady: wartość działki elementarnej mikrometrów analogowych wynosi zwykle 0,01 mm, a wartość działki elementarnej (kroku cyfrowego) mikrometrów cyfrowych wynosi zwykle 0,001 mm.

4. Metody pomiarowe charakterystyka i podział [8]

Metoda pomiarowa to ogólny opis logicznego uporządkowania działań wykonywanych przy pomiarze. Metody pomiarowe mogą być klasyfikowane w różny sposób, na przykład [7]:

- metoda pomiarowa bezpośrednia,
- metoda pomiarowa pośrednia,

albo

- metoda pomiarowa podstawieniowa,
- metoda pomiarowa różnicowa,
- metoda pomiarowa zerowa.

W [PN-IEC 60050-301] obok metod bezpośredniej i pośredniej występuje metoda pomiarowa porównawcza. Dokument wyróżnia 4 rodzaje metody porównawczej:

- metoda pomiarowa podstawienia,
- metoda pomiarowa dopełnieniowa,
- metoda pomiarowa różnicowa,
- metoda pomiarowa rezonansowa,

a w metodzie różnicowej wyróżnia 2 przypadki:

- metoda pomiarowa zerowa,
- metoda pomiarowa dudnieniowa.

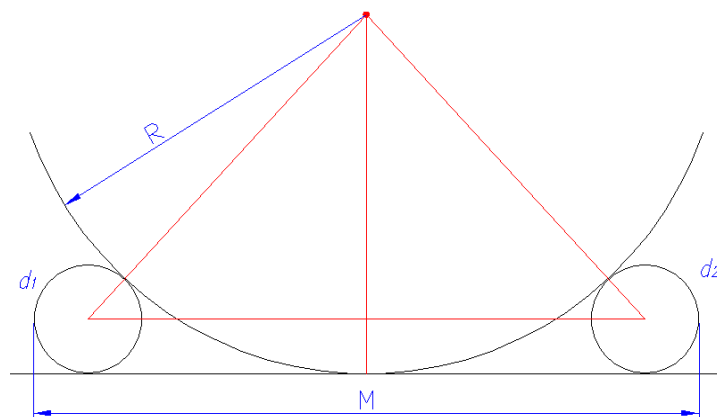
Poniżej podano definicje wymienionych metod. Dla niektórych metod podano przykłady.

*Metoda pomiarowa **bezpośrednia** – metoda pomiaru, w której wartość wielkości mierzonej jest uzyskiwana bezpośrednio, bez konieczności wykonywania dodatkowych obliczeń opartych na funkcjonalnej zależności między wielkością mierzoną a innymi aktualnie mierzonymi wielkościami.*

Przyjmuje się, że wartość wielkości mierzonej jest uzyskiwana bezpośrednio nawet wtedy, gdy przyrząd pomiarowy ma podziałkę umowną, a do określenia wartości wielkości mierzonej konieczne jest korzystanie z tablicy lub wykresu. Metoda pomiaru pozostaje bezpośrednią nawet wówczas, gdy zachodzi potrzeba wykonania pomiarów uzupełniających do określenia wartości wielkości wpływających w celu wprowadzenia odpowiednich poprawek.

*Metoda pomiarowa **pośrednia** – metoda pomiaru, w której wartość wielkości jest uzyskiwana w wyniku pomiarów metodami pomiarowymi bezpośrednimi innych wielkości, związanych znaną zależnością z wielkością mierzoną*

Przykład 1. Pomiar promienia łuku zewnętrznego na płycie pomiarowej, za pomocą wałeczków pomiarowych i mikrometru – rys. 8

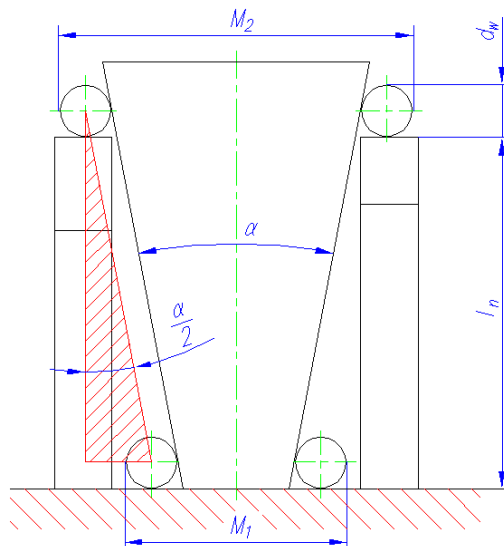


Rys. 8. Pomiar promienia łuku zewnętrznego za pomocą wałeczków pomiarowych i mikrometru

Wielkościami mierzonymi bezpośrednio są średnice wałeczków (zwykle zakłada się symetrię i przyjmuje się $d = d_1 = d_2$) i odległość M . Wartość promienia oblicza się według wzoru wynikającego z zależności w trójkącie prostokątnym:

$$R = \frac{(M-d)^2}{8d} \quad (3.1)$$

Przykład 2. Pomiar kąta stożka zewnętrznego za pomocą wałeczków pomiarowych i mikrometru – rys. 9.



Rys. 9 Pomiar kąta stożka zewnętrznego za pomocą wałeczków pomiarowych i mikrometru

Wielkościami mierzonymi bezpośrednio są średnice wałeczków d_w (zwykle zakłada się symetrię), długość stosów płytek wzorcowych l_n i odległości M_1 i M_2 . Wartość kąta oblicza się według wzoru wynikającego z zależności w trójkącie prostokątnym:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{(M_2 - M_1)}{2l_n} \quad (3.2)$$

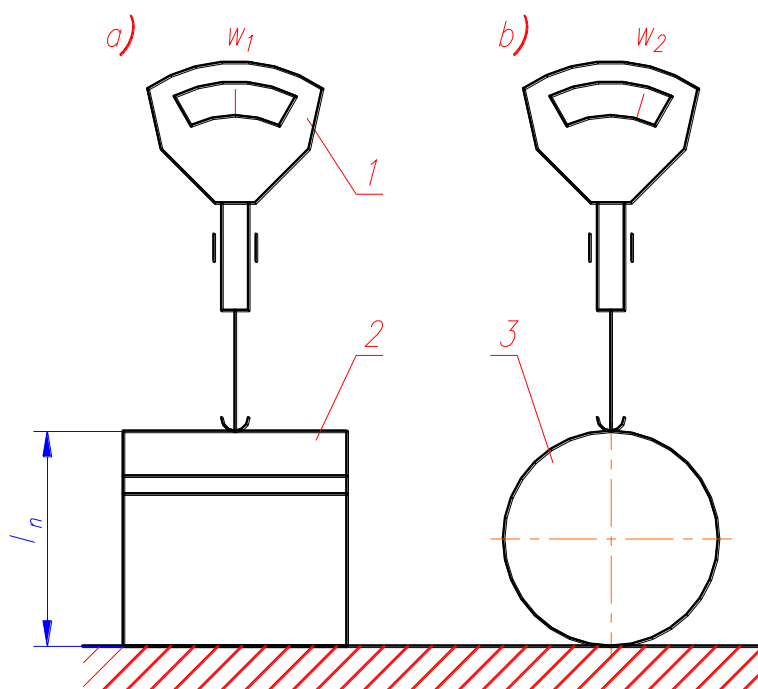
Metoda porównawcza – metoda pomiaru polegająca na porównaniu wartości wielkości mierzonej ze znaną wartością wielkości tego samego rodzaju.

Metoda podstawienia – metoda pomiarowa porównawcza, w której wartość wielkości mierzonej jest zastępowana znaną wartością wielkości tego samego rodzaju tak dobraną, aby skutki oddziaływania obu tych wartości na narzędzie pomiarowe były takie same.

Metoda dopełnieniowa – metoda pomiarowa porównawcza, w której wartość wielkości mierzonej jest uzupełniana znaną wartością tej samej wielkości tak dobraną, aby suma obu tych wartości była równa ustalonej wcześniej wartości porównawczej.

Metoda różnicowa – metoda porównawcza polegająca na porównaniu wielkości mierzonej z wielkością tego samego rodzaju, której znana wartość różni się nieznacznie od wartości wielkości mierzonej, i pomiarze różnicy algebraicznej wartości obu tych wielkości

Przykład: pomiar średnicy wałka za pomocą przyrządu czujnikowego i płytek wzorcowych - rys. 10

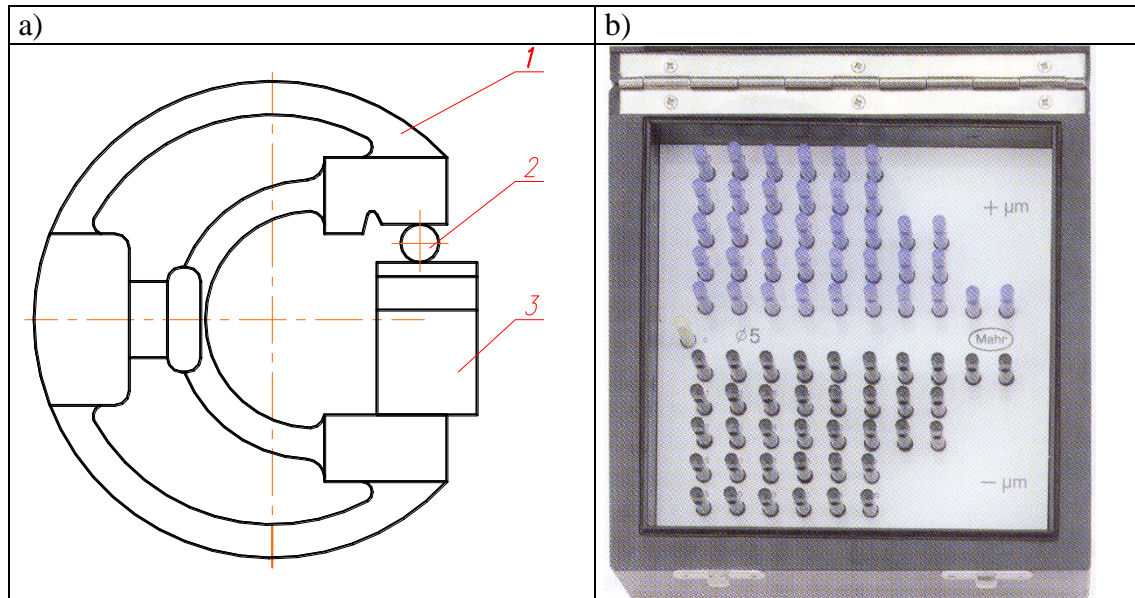


Rys. 10 Przykład pomiaru metodą różnicową: a) odczytanie wskazania w_1 (lub „wyzerowanie” – $w_1=0$) czujnika (1) na stosie płytek wzorcowych (2) o długości bliskiej średnicy mierzonego wałka, b) odczytanie wskazania w_2 po zastąpieniu stosu płytek mierzonym wałkiem (3)

Metoda rezonansowa – metoda pomiarowa porównawcza, w której zależność między porównywanymi wartościami wielkości jest uzyskiwana dzięki osiągnięciu rezonansu lub w warunkach bliskich rezonansowi.

Metoda zerowa – metoda pomiarowa różnicowa polegająca na sprowadzeniu do zera różnicy między wartością wielkości mierzonej a znaną wartością wielkości tego samego rodzaju, z którą jest porównywana

Przykład 1. Pomiar odległości między szczękami sprawdzianu szczękowego do wałków (1) można wykonać za pomocą płytek wzorcowych (3) i wałeczków pomiarowych (2) - rys. 11. Jeżeli dysponuje się kompletem wałeczków o średnicach zbliżonych do 5 mm – rys. 11b, to po złożeniu odpowiedniego stosu płytek wzorcowych należy dobrać wałeczek, który bez luzu i bez zbytejnej siły da się umieścić między stosem płytek a szczęką sprawdzianu.



Rys. 11. Pomiar odległości między szczękami sprawdzianu jako przykład pomiaru metodą zerową: a) schemat pomiaru, b) komplet wałeczków pomiarowych o średnicach nieznacznie różniących się (zarówno na + jak i na -) od wartości 5 mm (w tym 1 wałeczek o średnicy 5 mm)

Przykład 2. Pomiar masy na wadze szalkowej polega na tym, że na jednej szalce leży ważony przedmiot, a na drugiej należy umieścić taki zestaw odważników który zrównoważy masę przedmiotu.

Metoda dudnieniowa – metoda pomiarowa różnicowa, w której wykorzystywane jest zjawisko dudnienia między częstotliwościami dwóch porównywanych wielkości, z których jedna jest wielkością mierzoną, druga zaś wielkością odniesienia

5. Obowiązujące normy i ich znaczenie dla metrologii [8]

Normalizacją i o zasięgu globalnym zajmują się dwie instytucje:

- ISO – International Organization for Standardization (Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna),
- IEC – International Electrotechnical Commission (Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna).

Normy międzynarodowe mają numerację zaczynającą się od symbolu ISO, IEC lub ISO/IEC, normy europejskie od symbolu EN, polskie normy od symbolu PN. Oprócz norm

wydawane są raporty techniczne i specyfikacje techniczne – w numeracji wyróżniane odpowiednio symbolami /TR i /TS a w polskiej wersji językowej zamiast PN jest PKN.

Normy mają ogromne znaczenie techniczne i ekonomiczne. Te dotyczące zagadnień metrologicznych stanowią zwykle pewien podzbiór norm technicznych. Normy z tego zakresu podzielono na 4 grupy:

- podstawowe (ustalające fundamentalne reguły wymiarowania i tolerowania),
- globalne (np. norma dotycząca temperatury odniesienia i normy terminologiczne),
- ogólne,
- uzupełniające (np. określające reguły techniczne dotyczące oznaczeń rysunkowych).

Norma PN-EN ISO 1 ustala, że temperatura odniesienia wynosi 20 °C. Wobec istnienia zjawiska rozszerzalności cieplnej oznacza to, że pomiary powinny być wykonywane w tej właśnie temperaturze; ściślej: zarówno przyrząd pomiarowy jak i przedmiot powinny mieć w czasie pomiaru temperaturę 20 °C. Dosłowne spełnienie tak rozumianego wymagania nie jest możliwe. Powstałe błędy (które tylko częściowo można korygować matematycznie) muszą być uwzględnione przy szacowaniu niepewności pomiaru.

Normy ISO 286-1 i -2 systematyzują problematykę tolerowania wymiarów. Wprowadzają pojęcie klasy dokładności ułatwiające ustalanie wymagań dokładnościowych na etapie konstruowania. Mają istotne znaczenie ekonomiczne – ograniczają różnorodność wymiarową narzędzi skrawających do obróbki otworów i sprawdzianów do wałków i otworów.

Podobne znaczenie, ale w odniesieniu do gwintów, mają normy PN-ISO 965-1, -2 i -3, w odniesieniu do kół zębatych normy PN-ISO 1328-1 i -2, a do stożków – ISO 3040.

Norma ISO 14978 wprowadza m.in. ważne pojęcie metrologiczne jakim jest „charakterystyka metrologiczna przyrządu pomiarowego”, a związane z nią inne normy określają jakie charakterystyki metrologiczne są ważne dla poszczególnych przyrządów lub rodzajów przyrządów. I tak np.:

- PN-ISO 10360 (wiele części dotyczących różnych konstrukcji) – dla współrzędnościowych maszyn pomiarowych,
- ISO 463 – dla czujników tarczowych mechanicznych,
- ISO 13102 – dla elektronicznych czujników cyfrowych,
- ISO 3650 – dla płytek wzorcowych,
- ISO 3611 – dla mikrometrów zewnętrznych,
- ISO 13225 – dla wysokościomierzy,
- ISO 13385-2 – dla głębokościomierzy.

Norma ISO 1101 dotycząca tolerancji geometrycznych ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia jednoznacznego definiowania wymagań (a następnie wyboru odpowiedniej strategii pomiaru) w zakresie dokładności geometrycznej. Pewne uzupełnienie tej normy stanowią normy ISO 14405-1, -2, m.in. wprowadzają klasyfikację wymiarów z punktu widzenia technik pomiarowych. ISO 5458 dotyczy tolerancji pozycji oraz ISO 5459 dotyczy baz.

Norma ISO 8015 wprowadza tzw. podstawową zasadę tolerowania, zgodnie z którą poszczególne wymagania określone na rysunku konstrukcyjnym należy traktować niezależnie od siebie. Wyjątki od tej zasady wymagają wyraźnego wskazania, o czym mówi np. norma ISO 2692 dotycząca m.in. wymagań maksimum materiału, minimum materiału i wzajemności.

Duża grupa norm dotyczy struktury geometrycznej powierzchni. Są to m.in.: ISO 4287 i ISO 4288 dotyczące definicji i pomiaru podstawowych parametrów, ISO 13565-1, -2 i -3 dotyczące parametrów powierzchni o warstwowych właściwościach funkcjonalnych (takich jak np. gładź cylindra silnika wysokoprężnego).

Niepewności pomiaru – jednego z najważniejszych pojęć metrologicznych dotyczą normy ISO 14253-2 i -3 – w zakresie klasycznych pomiarów i wzorcowań oraz ISO 15530-3 i ISO/TS 15530-4 – w zakresie pomiarów współrzędnościowych. Niepewności pomiaru dotyczą także dokumenty o zasięgu globalnym wydane jako wspólne dokumenty wielu organizacji: JCGM 100, JCGM 101 – dotyczący metody Monte Carlo, JCGM 102 – dotyczący przypadków kiedy wynikiem pomiaru jest kilka wielkości, JCGM 104 – wstęp do serii dokumentów. Z problematyką niepewności pomiaru jest związana bardzo ważna norma ISO 14253-1, w której określono zasady orzekania o zgodności wyrobu ze specyfikacją. Normy dotyczące jednostek miar to ISO 31-0, ISO 80000-3, -4, -5 i -8.

6. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest

Oto wzorowy zakres punktów które powinna zawierać każda instrukcja

- zapoznanie się z wzorcami i ich klasyfikacją
- zapoznanie się z przyrządami pomiarowymi ich klasyfikacją
- zapoznanie się z wybranymi metodami pomiarowymi
- nabycie umiejętności odczytu z wybranych przyrządów pomiarowych
- zapoznanie się z obowiązującymi normami dotyczącymi metrologii

7. Wymagany zakres wiedzy

Klasyfikacja wzorców, przyrządów pomiarowych oraz metod pomiarowych; wyznaczanie wartości wielkości pomiaru za pomocą metod pomiarowych opisanych w niniejszej instrukcji.

8. Pytania kontrolne

- Wymień kilka wzorców państwowych utrzymywanych w GUM.
- Co rozumie się pod pojęciem państwowego wzorca długości?
- Na przykładzie mikrometru wyjaśnij pojęcia: czujnik, przetwornik, wzmacniacz występujące w ogólnym schemacie budowy przyrządu pomiarowego.
- Narysuj noniusz umożliwiający odczytywanie wskazań suwmiarki z rozdzielczością 0,05 mm.
- Podaj przykład pomiaru metodą różnicową.

Literatura

- [1] Humienny Z., Osanna P.H., Tamre M., Weckenmann A., Jakubiec W.: *Specyfikacje geometrii wyrobów. Podręcznik europejski*, Warszawa, WNT 2004.
- [2] Jakubiec W., Malinowski J.: *Metrologia wielkości geometrycznych*, WNT, Warszawa 2004.
- [3] Majda P.: *Laboratorium metrologii ITM ZUT, Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych, Temat: Ogólna instrukcja sporządzania sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych*, Szczecin 2010.
- [4] Majda P.: *Laboratorium metrologii ITM ZUT, Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych, Temat: Pomiary interferometrem laserowym*, Szczecin 2010.
- [5] P. Majda, *Laboratorium metrologii ITM ZUT, Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych,, Temat ćwiczenia – Wyznaczenie niepewności pomiaru*, Szczecin 2010.
- [6] PN-EN ISO 1101, 2006; *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS), Tolerancje geometryczne, Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia*.
- [7] PKN-ISO/IEC Guide 99:2010
- [8] Jakubiec W., Zator S., Majda P.: *Metrologia*, Warszawa 2014.