



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Kierunek studiów:
Transport

Paweł Zmarzły

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

METROLOGIA W TRANSPORCIE

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*



Spis treści

1. Wprowadzenie	2
2. Kryteria doboru przyrządów pomiarowych	3
3. Charakterystyka podstawowych przyrządów pomiarowych	4
3.1 Podstawowe pojęcia.....	4
3.2 Klasyfikacja przyrządów pomiarowych.....	7
3.3 Przyrządy suwmiarkowe	8
3.4 Przyrządy mikrometryczne	21
LITERATURA	35



Utwór objęty licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Wprowadzenie

Metrologia jest nauką bardzo szeroką, gdyż obejmuje zarówno zagadnienia teoretyczne, jak i praktyczne związane z pomiarami, niezależnie od ich niepewności oraz obszaru zastosowań (GUM 2015; PKN-ISO/IEC Guide 99 2010). Jest to zatem nauka o pomiarach, sposobach ich realizacji oraz interpretacji wyników pomiarowych. Metrologię możemy podzielić na 4 podstawowe grupy (Jakubiec W. 2008):

- Metrologia ogólna, która zajmuje się wszystkimi zagadnieniami związanymi z metrologią oraz techniką pomiarową.
- Metrologia stosowana, skupiającą się na badaniu określonych rodzajów wielkości mierzonej np. metrologia długości i kąta, metrologia elektryczna, metrologia masy, metrologia czasu.
- Metrologia teoretyczna, która zajmuje się teorią pomiarów, czyli opracowaniem wyników pomiarów, analizą niepewności pomiarowej oraz realizacją pomiarów.
- Metrologia prawna zajmuje się ustaleniem urzędowych oraz prawnych wymagań w celu zapewnienia spójności jednostek miar w obrębie danego kraju.

Współczesna produkcja części maszyn charakteryzuje się coraz bardziej zawężonymi tolerancjami wymiarowymi oraz geometrycznymi (Adamczak 2023). W porównaniu z poprzednimi dekadami obecne wymagania jakościowe są znacznie bardziej rygorystyczne, co sprawia, że dokładność pomiarów nabiera kluczowego znaczenia (Adamczak 2008). Bez precyzyjnych danych pomiarowych niemożliwe jest skuteczne utrzymanie jakości produkcji, identyfikacji błędów produkcyjnych czy wdrażanie działań korygujących (Zmarzły 2020). Aby osiągnąć wysoką jakość, konieczne jest ograniczenie niepewności pomiarowej. W tym kontekście dobór odpowiednich przyrządów pomiarowych oraz stosowanie właściwych metod pomiarowych staje się nie tylko wyzwaniem technicznym, ale również strategicznym elementem procesu produkcyjnego.

W ostatnich latach notuje się rozwój tzw. „metrologii 4.0”, w szczególności w obszarze metrologii wielkości geometrycznych (Wieczorowski and Trojanowska 2023). Oznacza to nowoczesne podejście do pomiarów, które wpisuje się w szersze założenia przemysłu 4.0. W przypadku metrologii 4.0 wykorzystuje się cyfrowe systemy pomiarowe, umożliwiające zapis danych pomiarowych w chmurze. Systemy te pozwalają na automatyzację, integrację oraz analizę danych pomiarowych w czasie rzeczywistym (Cunha and Santos 2020). Pozwala to na zwiększenie

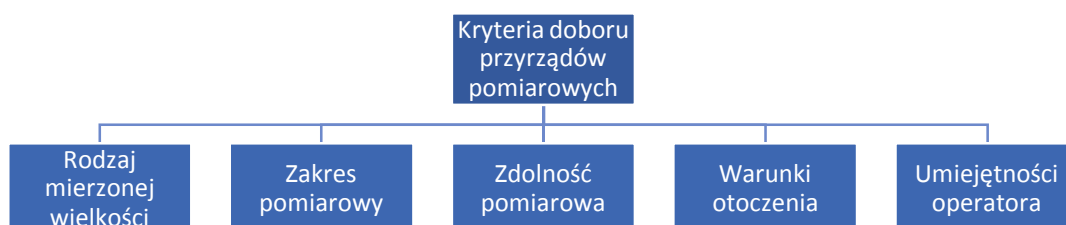


dokładności, szybkości oraz niezawodności pomiarów w środowisku produkcyjnym i transportowym. Cechami charakterystycznymi dla metrologii 4.0 jest Internet Rzeczy, czyli wiele czujników lub systemów pomiarowych połączonych w sieci, które przesyłają dane w czasie rzeczywistym – oraz zastosowanie narzędzi sztucznej inteligencji, umożliwiających automatyczną i wszechstronną analizę danych pomiarowych. Dzięki temu możliwe jest wykrywanie zakłóceń w procesie produkcyjnym oraz wdrażanie działań zapobiegawczych. Zastosowanie cyfrowych baz danych, zawierających dane pomiarowe z wielu źródeł, pozwala na ich wszechstronną analizę oraz zdalny dostęp z dowolnego miejsca na świecie.

2. Kryteria doboru przyrządów pomiarowych

W praktyce producenci przyrządów pomiarowych dążą do opracowania systemów, które pozwalają na wszechstronną ocenę wielu cech geometrycznych produkowanych elementów (Gąska et al. 2016). Jednakże nie istnieją w pełni uniwersalne systemy umożliwiające ocenę wszystkich cech geometrycznych. Dobór odpowiedniego przyrządu pomiarowego do założonych zakresów zastosowań zależy od wielu czynników, które bezpośrednio wpływają na dokładność pomiaru oraz koszty związane z wdrożeniem odpowiedniej procedury pomiarowej (Ratajczyk and Woźniak). Na rysunku 1 przedstawiono główne kryteria, którymi operator powinien kierować się podczas doboru przyrządu pomiarowego.

[Tekst alternatywny. Schemat blokowy przedstawiający 6 błękitnych bloków z tekstem w środku. Bloki ułożone są w dwóch wierszach. W pierwszym wierszu znajduje się jeden blok z napisem w środku: „Kryteria doboru przyrządów pomiarowych”. Poniżej w drugim wierszu znajduje się obok siebie pięć bloków. W pierwszym bloku zawarto tekst: „rodzaj mierzonej wielkości”. W drugim bloku zawarto tekst: „zakres pomiarowy”. W trzecim bloku zawarto tekst: „zdolność pomiarowa”. W czwartym bloku zawarto tekst: „warunki otoczenia”. W ostatnim piątym opisano: „umiejętności operatora”.]



Rys. 1. Główne kryteria doboru przyrządów pomiarowych.



Pierwszym krokiem przy doborze przyrządu pomiarowego do określonych zadań metrologicznych powinno być określenie rodzaju wielkości, która ma zostać zmierzona, np. długość, masa, temperatura, ciśnienie. Kolejnym etapem jest wybór optymalnego zakresu pomiarowego. Przykładowo, standardowy zakres pomiarowy suwmiarek wynosi 150 mm. W przypadku pomiaru dłuższych elementów należy zastosować przyrząd o większym zakresie pomiarowym. Należy mieć na uwadze, że w większości przypadków ręcznych przyrządów pomiarowych ich dokładność maleje wraz ze wzrostem zakresu pomiarowego. Następnie należy dokonać doboru przyrządu pomiarowego pod kątem zdolności pomiarowej, będącej relacją błędu wskazania przyrządu MPE (Maximum Permissible Error) do pola tolerancji T mierzonej cechy. Kolejnym czynnikiem, który należy uwzględnić przy doborze przyrządów są warunki środowiskowe w jakich system będzie funkcjonował. W przypadku pomiarów realizowanych bezpośrednio w warunkach przemysłowych, gdzie występuje wysokie zapylenie, drgania, duża wilgotność oraz zanieczyszczenia, zaleca się stosowanie przyrządów pomiarowych o stopniu ochrony IP67 (Schellhorn et al. 2014). Przyrządy pomiarowe o takim stopniu ochronności cechują się całkowitą pyłoszczelnością oraz są odporne na działanie wody (krótkotrwałe zanurzenie na głębokość do 1 metra przez maksymalnie 30 minut). Kolejnym istotnym czynnikiem determinującym wybór odpowiedniego przyrządu pomiarowego są umiejętności operatora. Przed użytkowaniem przyrządu pomiarowego operator powinien zostać odpowiednio przeszkolony z jego obsługi oraz powinien stale poszerzać swoje kwalifikacje.

3. Charakterystyka podstawowych przyrządów pomiarowych

3.1 Podstawowe pojęcia

- **Przyrząd pomiarowy** – jest to urządzenie służące do wykonywania pomiarów. Może być użyte samodzielnie lub w połączeniu z wieloma urządzeniami dodatkowymi. Pomiar przy użyciu przyrządu pomiarowego realizowany jest poprzez porównanie wielkości mierzonej z ustaloną jednostką



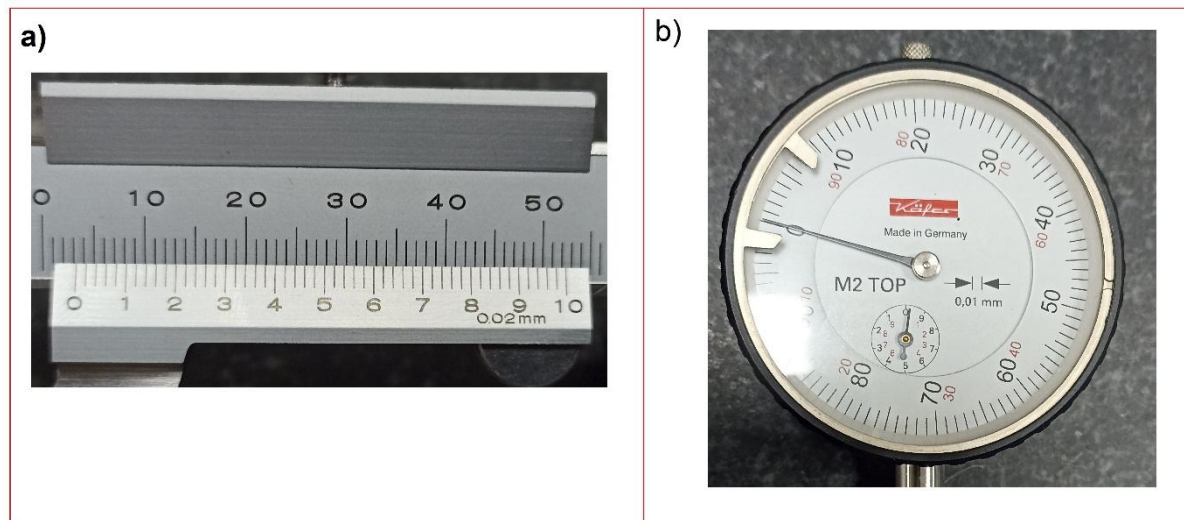


miary. W przyrządzie pomiarowym występują trzy składowe: czujnik, przetwornik oraz urządzenie wskazujące (Jakubiec W. 2008).

- **Czujnik** - element przyrządu pomiarowego służący do odbierania informacji o wielkości mierzonej.
- **Przetwornik** – element przyrządu pomiarowego służący do przetwarzania wartości wielkości mierzonej na wartość innej wielkości lub inną wartość tej samej wielkości. Przetwornik może zmieniać wielkość fizyczną taką jak temperatura, ciśnienie, długość na sygnał elektryczny lub cyfrowy, który po dalszym przekształceniu przekazywany jest do urządzenia wskazującego.
- **Urządzenie wskazujące** - część przyrządu pomiarowego wskazującego wynik pomiarowy. Może to być wskazanie analogowe np. wskazówka na podziałce kreskowej lub cyfrowe np. wyświetlacz LCD.
- **Podziałka** – uporządkowany zbiór wskazów – kresek lub innych znaków naniesionych na podzielnik urządzenia wskazującego. Podziałka służy do odczytu wartości mierzonej wielkości (Jakubiec W. 2008). Występują następujące rodzaje podziałek: podziałka prosta (liniowa), podziałka łukowa (kołowa), podziałka logarytmiczna, podziałka cyfrowa, podziałka mikrometryczna, podziałka pomocnicza. Na rysunku 2 przedstawiono przykłady podziałek zastosowanych w przyrządach pomiarowych .

[Tekst alternatywny. Na rysunku 2 przedstawiono fotografię dwóch rodzajów podziałek oznaczonych jako a i b. W lewej części rysunku 2a przedstawiono podziałkę liniową w suwmiarce noniuszowej. Natomiast w prawej części rysunku 2b przedstawiono podziałkę kołową znajdującą się w analogowym czujniku zegarowym.]





Rys. 2. Przykładowe podziałki: a) podziałka liniowa w suwmiarce noniuszowej, b) podziałka kołowa w analogowym czujniku zegarowym.

- **Zakres podziałki** – przedział zawarty między skrajnymi wskazami podziałki. Określa minimalną i maksymalną wartość, jaką przyrząd może wskazać przy użyciu swojej podziałki (Jakubiec W. 2008).
- **Działka elementarna** - przedział między dwoma dowolnymi sąsiednimi wskazami podziałki. Jest to najmniejsza wartość, jaką można odczytać z podziałki przyrządu pomiarowego bez interpolacji (Jakubiec W. 2008).
- **Długość działki elementarnej** - długość odcinka lub łuku linii podstawowej podziałki między osiami dwóch sąsiednich wskazów (Jakubiec W. 2008).
- **Rozdzielczość urządzenia wskazującego** – największa różnica wskazań urządzenia wskazującego, która może być zauważona w sposób wyraźny (Jakubiec W. 2008).
- **Charakterystyka przetwarzania** - opisuje sposób, w jaki przyrząd pomiarowy reaguje na zmiany mierzonej wielkości i jak przekształca ją w sygnał wyjściowy w warunkach określonych (Jakubiec W. 2008).
- **Czułość przyrządu pomiarowego** – zdolność przyrządu pomiarowego do reagowania na małe zmiany mierzonej wielkości. Określa ona stosunek



przyrostu sygnału wyjściowego do przyrostu odpowiedniego sygnału wejściowego (Jakubiec W. 2008).

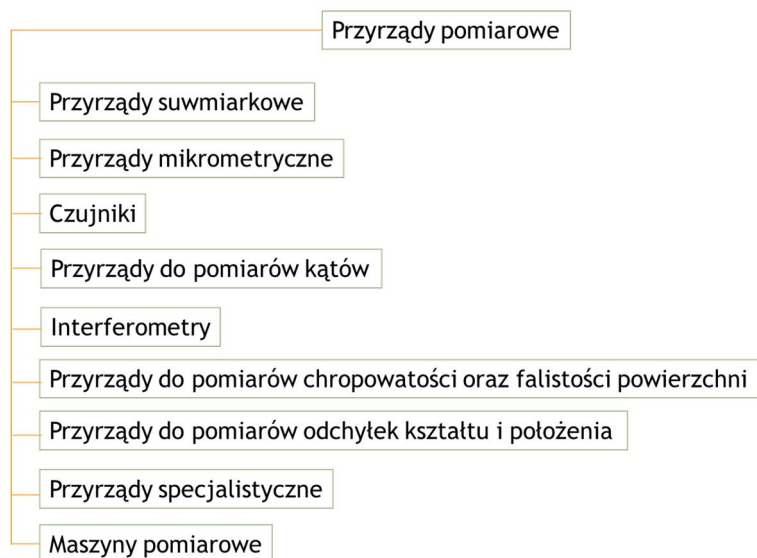
- **Próg pobudliwości** – definiuje się największą zmianę wartości wielkości mierzonej, nie wywołującej dostrzegalnej zmiany wskazań przyrządu pomiarowego. Próg pobudliwości określa minimalną czułość przyrządu (Jakubiec W. 2008).

3.2 Klasyfikacja przyrządów pomiarowych

W metrologii wielkości geometrycznych warsztatowe przyrządy pomiarowe możemy podzielić ze względu na zasadę działania, sposób odczytywania wyników pomiarowych oraz zakres zastosowań. Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy obrazujący główny podział przyrządów pomiarowych wykorzystywanych w warunkach produkcyjnych. Ze względu na to, że w praktyce pomiarowej do wstępnej weryfikacji dokładności wykonania elementów mechanicznych najczęściej wykorzystuje się przyrządy suwmiarkowe lub mikrometryczne, te grupy przyrządów pomiarowych zostaną szczegółowo omówione w niniejszym opracowaniu.

[Tekst alternatywny. Schemat blokowy przedstawiający 10 bloków z tekstem w środku. Na środku rysunku występuje blok główny z napisem „Przyrządy pomiarowe”. Poniżej bloku głównego znajduje się 9 bloków połączonych linią. W pierwszym bloku zawarto tekst: „Przyrządy suwmiarkowe”. W drugim bloku zawarto tekst: „Przyrządy mikrometryczne”. W trzecim bloku zawarto tekst: „Czujniki”. W czwartym bloku zawarto tekst „Przyrządy do pomiarów kątów”. W piątym bloku zawarto tekst: „Interferometry”. W szóstym bloku zawarto tekst: „Przyrządy do pomiaru chropowatości i faliści powierzchni”. W siódmym bloku zawarto tekst: „Przyrządy do pomiarów odchyłek kształtu i położenia”. W ósmym bloku zawarto opis: „Przyrządy specjalistyczne”. W ostatnim dziewiątym bloku zawarto tekst: „Maszyny pomiarowe”.



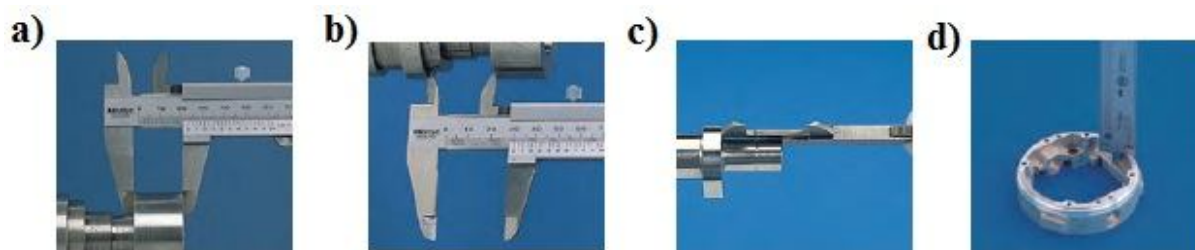


Rys. 3. Podział warsztatowych przyrządów pomiarowych (Jakubiec W. 2008).

3.3 Przyrządy suwmiarkowe

Ze względu na dużą popularność, uniwersalność i niski koszt produkcji, przyrządy suwmiarkowe stanowią najliczniejszą grupę przyrządów pomiarowych, stosowanych w pomiarach warsztatowych. Mogą być wykorzystywane do realizacji pomiarów wymiarów zewnętrznych, wewnętrznych oraz mieszanych. Przykłady pomiarów realizowanych za pomocą suwmiarek przedstawiono na rysunku 4.

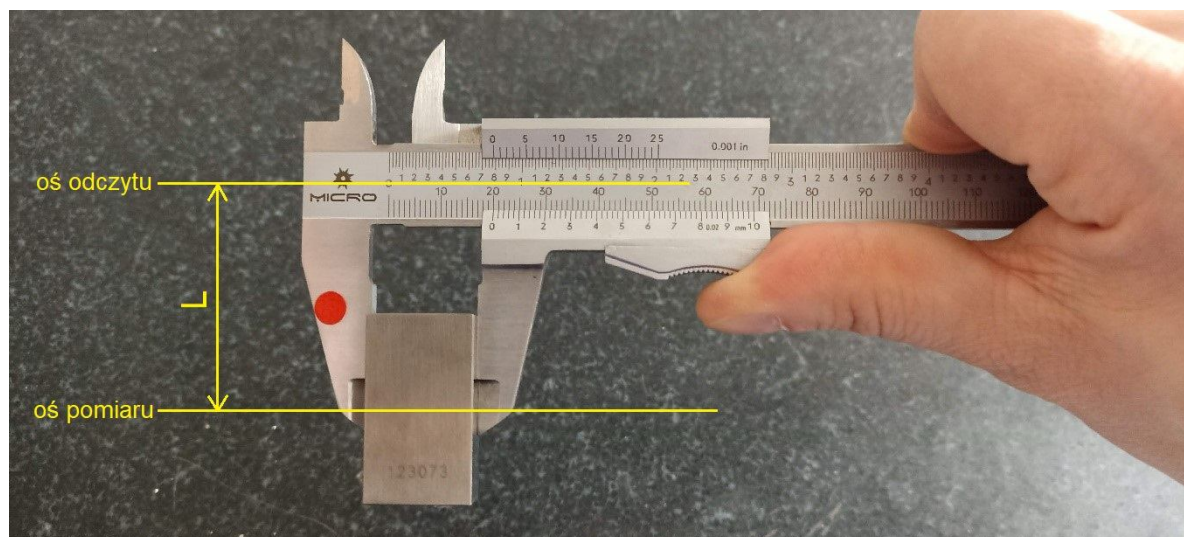
[Tekst alternatywny. Na rysunku 4 przedstawiono cztery fotografie umieszczone obok siebie i oznaczone podpunktami a, b, c, d. Wszystkie fotografie przedstawiają pomiary realizowane za pomocą suwmiarki noniuszowej. Przy czym pierwsza fotografia (a) przedstawia pomiar wymiarów zewnętrznych. Druga fotografia (b) przedstawia pomiar wymiarów wewnętrznych. Trzecia fotografia (c) przedstawia pomiar różnicy długości. Czwarta fotografia (d) przedstawia pomiar głębokości.]



Rys. 4 Przykład pomiarów: a) pomiar zewnętrzny, b) pomiar wewnętrzny, c) pomiar różnicy długości, d) pomiar głębokości (Mitutoyo n.d.).

Cechą charakterystyczną przyrządów suwmiarkowych jest posiadanie w budowie prowadnicy oraz ruchomej szczęki pomiarowej, która porusza się swobodnie wzdłuż prowadnicy. Analogowe przyrządy suwmiarkowe zazwyczaj wyposażone są w główną podziałkę liniową, znajdującą się na prowadnicy oraz noniusz, który pozwala na dokładniejszy odczyt wyników pomiarowych. Ze względu na swoją konstrukcję przyrządy suwmiarkowe nie spełniają wymogów postulatu Abbego, który mówi, że aby pomiar długości był dokładny, mierzona część i wzorzec muszą leżeć na tej samej linii prostej, czyli być ustawione w linii pomiaru. W praktyce pomiarowej im większa jest odległość pomiędzy osią pomiaru, a osią odczytu (patrz L na rysunku 5) tym większe ryzyko powstania błędu pomiarowego.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 5 przedstawiono fotografię pomiaru wymiarów liniowych płytki wzorcowej o wymiarze nominalnym 20 mm przy użyciu suwmiarki noniuszowej. Na fotografii zaznaczono kolorem żółtym oś odczytu przyrządu pomiarowego oraz oś pomiaru. Pomiedzy osiami zaznaczono odległość „L”]



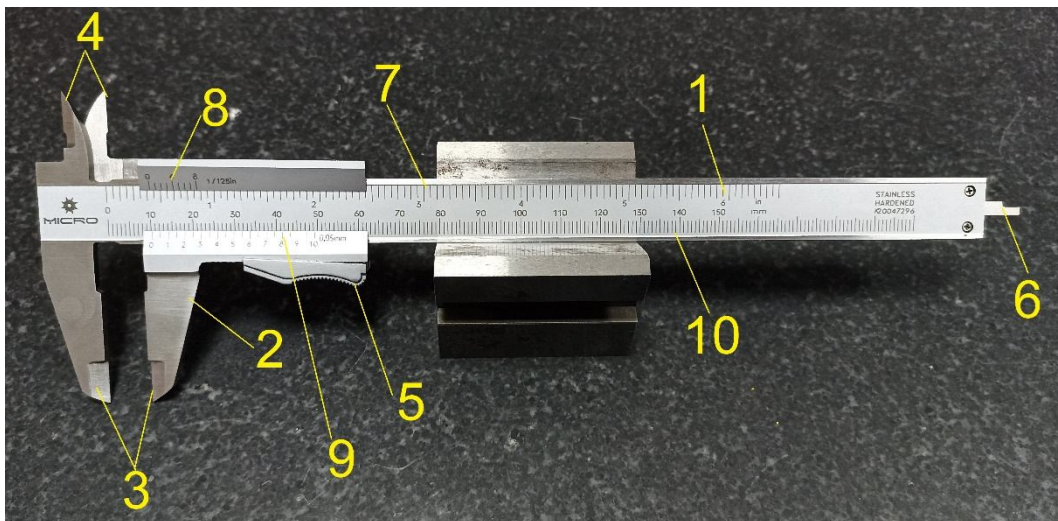
Rys. 5. Pomiar płytki wzorcowej suwmiarką noniuszową - niespełniony postulat Abbego.

Oprócz suwmiarek do przyrządów suwmiarkowych możemy zaliczyć wysokościomierze suwmiarkowe, głębokościomierze suwmiarkowe oraz suwmiarki specjalnego przeznaczenia. Ze względu na rodzaj urządzenia wskazującego suwmiarki możemy podzielić na suwmiarki noniuszowe (analogowe), suwmiarki cyfrowe oraz suwmiarki czujnikowe. Pomimo tego, że na rynku występują suwmiarki cyfrowe wyposażone w wyświetlacz LCD pozwalający na odczyt wyników pomiarowych z rozdzielczością wynoszącą 0,001 mm, rzeczywista dokładność dla standardowej suwmiarki cyfrowej o zakresie pomiarowym 150 mm wynosi: $\pm 0,02$ mm.

Suwmiarki noniuszowe

Suwmiarki noniuszowe stanowią podstawową grupę suwmiarek. Wyposażone są w noniusz, który w zależności od rodzaju suwmiarki pozwala na odczyt z rozdzielczościami: 0,1 mm, 0,05 mm lub 0,02 mm. Suwmiarki tego typu nie posiadają źródła zasilania i w porównaniu do suwmiarek cyfrowych są bardziej odporne na wilgoć, zanieczyszczenia oraz pole magnetyczne. Budowę suwmiarki noniuszowej przedstawiono na rysunku 6.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 6 przedstawiono fotografię suwmiarki noniuszowej. Na zdjęciu zaznaczono żółtymi numerami od 1 do 10 poszczególne części suwmiarki noniuszowej.]



Rys. 6. Suwmiarka noniuszowa, gdzie: 1 – prowadnica, 2 – suwak, 3 – szczęki zewnętrzne, 4 – szczęki wewnętrzne, 5 – zacisk kciukowy, 6 – głębokościomierz, 7 – podziałka calowa, 8 – noniusz calowy, 9 – noniusz milimetrowy, 10 – podziałka milimetrowa.

Przed przystąpieniem do realizacji pomiaru przy użyciu suwmiarek, należy upewnić się, że powierzchnie pomiarowe przyrządu pomiarowego oraz przedmiotu mierzonego są czyste. W przypadku pomiaru wymiarów zewnętrznych należy umieścić przedmiot mierzony pomiędzy powierzchnie pomiarowe szczęk zewnętrznych (3 na rys. 6). Następnie należy delikatnie docisnąć szczęki do przedmiotu mierzonego naciskając zacisk kciukowy do momentu pocucia oporu. Wówczas należy odczytać wyniki pomiarowe. Poniżej przedstawiono przykłady odczytu wyników pomiarowych ze skali suwmiarki noniuszowej.

Przykład 1.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 7 przedstawiono widok podziałki głównej z czerwoną strzałką i numerem 1 oraz widok podziałki noniuszowej czerwoną strzałką i numerem 2.]



Rys. 7. Odczyt wyników pomiarowych z suwmiarki z noniuszem 0,05mm

(1) Odczyt z podziałki głównej (w miejscu położenia kreski podziałki „0”): 6,00 mm

(2) Odczyt z podziałki noniuszowej: 0,60 mm

(kreska podziałki głównej tworzy
linię prostą z kreską podziałki noniuszowej)

Odczyt wyników pomiarowych z suwmiarki: $6,00 \text{ mm} + 0,60 \text{ mm} = \mathbf{6,60 \text{ mm}}$

Przykład 2.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 8 przedstawiono widok podziałki głównej z czerwoną strzałką i numerem 1 oraz widok podziałki noniuszowej czerwoną strzałką i numerem 2.]



Rys. 8. Odczyt wyników pomiarowych z suwmiarki z noniuszem 0,05mm

(1) Odczyt z podziałki głównej (w miejscu położenia kreski podziałki „0”): 5,00 mm

(2) Odczyt z podziałki noniuszowej: 0,65 mm

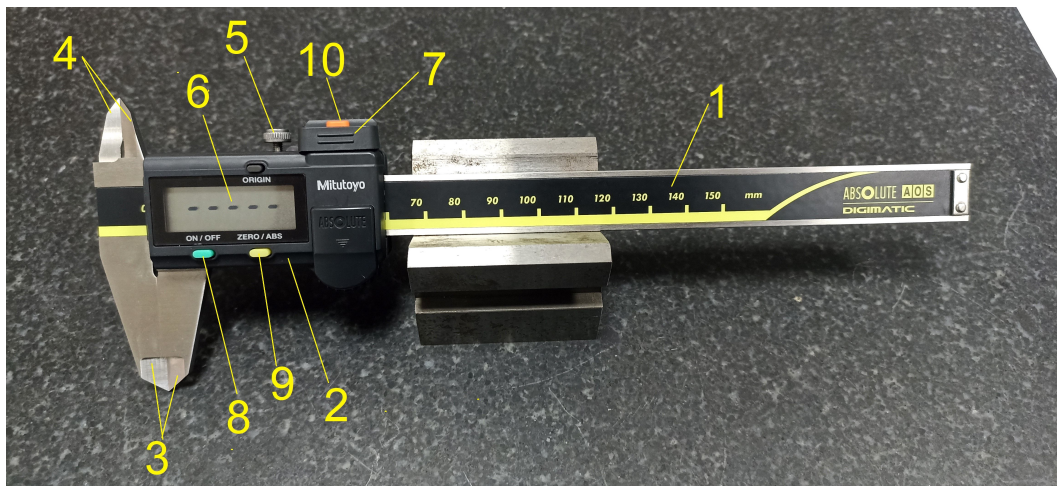
(kreska podziałki głównej tworzy
linię prostą z kreską podziałki noniuszowej)

Odczyt wyników pomiarowych z suwmiarki: $5,00 \text{ mm} + 0,65 \text{ mm} = 5,65 \text{ mm}$

Suwmiarki cyfrowe

Obecnie coraz częściej suwmiarki noniuszowe wypierane są przez suwmiarki cyfrowe zwane również suwmiarkami elektronicznymi. Suwmiarki posiadają wzorce pojemnościowe, wykonane w postaci cienkiego paska naklejonego na prowadnice suwmiarki. Wzorce te składają się z na przemian położonych stref o różnej pojemności elektrycznej. Przesunięcie suwaka (szczęki ruchomej) suwmiarki względem wzorca określa licznik zliczający impulsy oraz interpolator amplitudowy. Następnie wynik pomiarowy przedstawiany jest na wyświetlaczu cyfrowym. Dużą zaletą suwmiarek cyfrowych jest możliwość zerowania wskazań w dowolnym położeniu szczęki ruchomej, co znacznie ułatwia pomiar metodą różnicową. Ponadto niektóre modele suwmiarek cyfrowych wyposażone są w złącza wyjścia danych, pozwalające na transmisję wyników pomiarowych bezpośrednio do komputera, gdzie następnie mogą być odpowiednio interpretowane np. za pomocą programów statystycznych. Budowę suwmiarki cyfrowej przedstawiono na rysunku 9.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 9 przedstawiono fotografię suwmiarki cyfrowej. Na fotografii zaznaczono żółtymi numerami od 1 do 10 poszczególne części suwmiarki cyfrowej.]

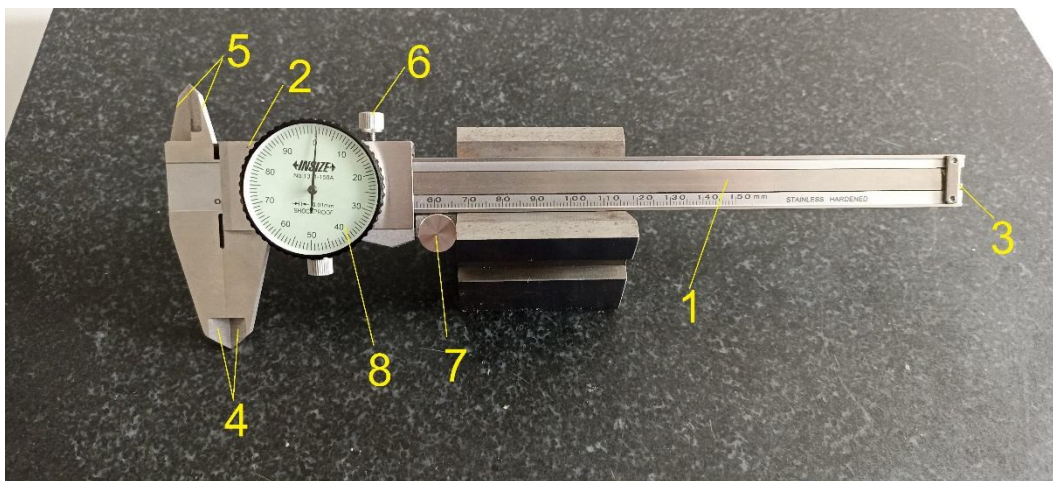


Rys. 9. Suwmiarka cyfrowa, gdzie: 1 – prowadnica, 2 – suwak, 3 – szczęki zewnętrzne, 4 – szczęki wewnętrzne, 5 – śruba blokująca, 6 – wyświetlacz LCD, 7 – transceiver bezprzewodowego transferu danych, 8 – przycisk ON/OFF, 9 – przycisk zerowania, 10 – przycisk wysyłania danych do odbiornika.

Suwmiarki zegarowe

Kolejną grupą suwmiarek są suwmiarki zegarowe (czujnikowe), które charakteryzują się tym, że zamiast noniusza stosuje się tutaj zębaty czujnik zegarowy. Zazwyczaj wartości działki elementarnej czujnika wynoszą 0,02mm lub 0,01mm. Główną zaletą tego typu suwmiarek z czujnikiem zegarowym jest możliwość łatwego odczytu wyników pomiarowych z podziałki zegarowej. Należy nadmienić, że pomiar realizowany za pomocą suwmiarek noniuszowych, cyfrowych oraz czujnikowych jest taki sam. Natomiast różni się sposób odczytywania wyników pomiarowych. Na rysunku 10 przedstawiono budowę suwmiarki zegarowej.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 10 przedstawiono fotografię suwmiarki zegarowej. Na fotografii żółtymi numerami od 1 do 8. zaznaczono poszczególne części suwmiarki cyfrowej.]



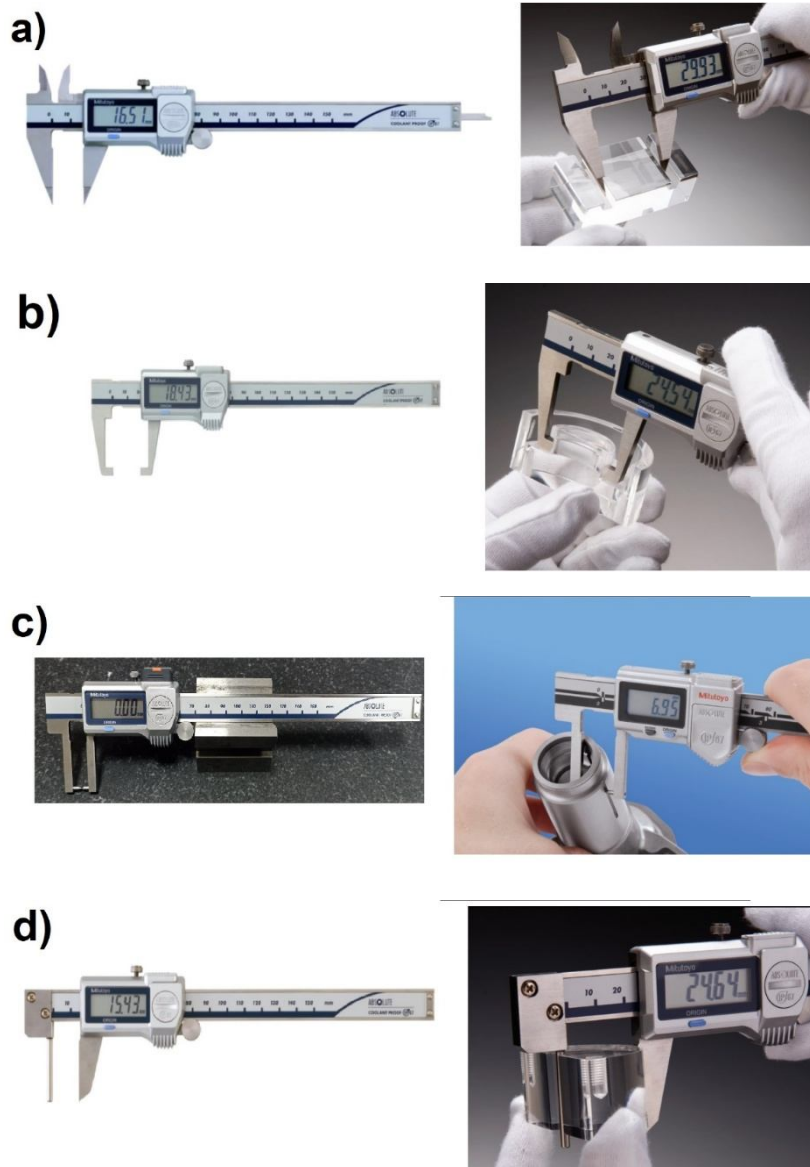
Rys. 10. Suwmiarka zegarowa, gdzie: 1 – prowadnica, 2 – suwak, 3 – głębokościomierz, 4 – szczęki zewnętrzne, 5 – szczęki wewnętrzne, 6 – śruba blokująca, 7 – rolka prowadząca, 8 – czujnik zegarowy.

Suwmiarki specjalnego przeznaczenia

Ze względu na to, że niektóre cechy geometryczne ciężko zmierzyć przy użyciu standardowych suwmiarek, na rynku występują suwmiarki specjalnego przeznaczenia, które służą tylko do określonych zadań pomiarowych. Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe suwmiarki specjalnego przeznaczenia.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 11 przedstawiono osiem fotografii suwmiarek specjalnego przeznaczenia. Przy czym pierwsza fotografia (a) przedstawia suwmiarkę punktową oraz pomiar nią realizowany. Druga fotografia (b) przedstawia suwmiarkę do podcięć zewnętrznych oraz pomiar nią realizowany. Trzecia fotografia (c) przedstawia suwmiarkę do pomiaru głębokich rowków wewnętrznych oraz pomiar

nią realizowany. Czwarta fotografia (d) przedstawia suwmiarkę do pomiaru grubości rur oraz pomiar nią realizowany.]



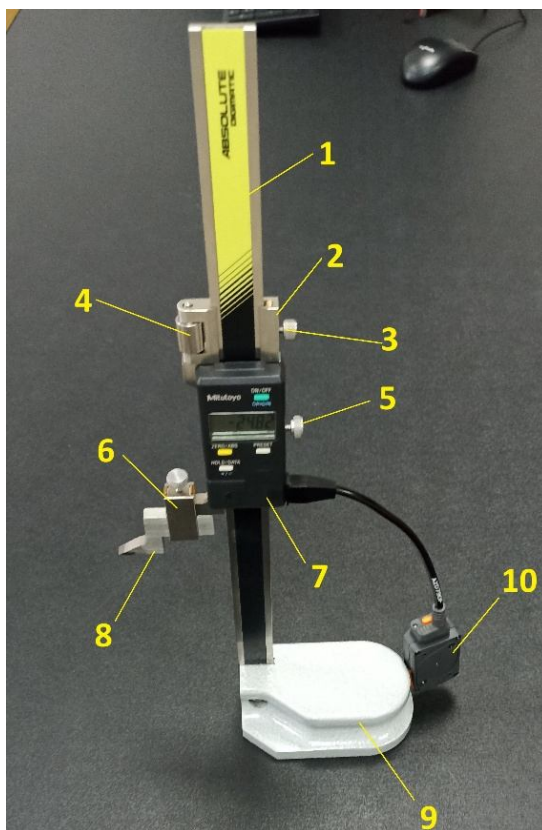
Rys. 11. Suwmiarka specjalnego przeznaczenia, gdzie: a) suwmiarka punktowa, b) suwmiarka do podcięć zewnętrznych, c) suwmiarka do pomiaru głębokich rowków wewnętrznych, d) suwmiarka do pomiaru grubości rur (Katalog przyrządów pomiarowych Mitutoyo - PL-20007 2024).

Wysokościomierze suwmiarkowe

Wysokościomierze suwmiarkowe są to przyrządy stosowane zazwyczaj do pomiarów detali o zróżnicowanych kształtach. Podczas pomiaru takie elementy

usytuowane są na płycie pomiarowej. Przyrządy pomiarowe tego typu umożliwiają wyznaczenie wymiarów przedmiotu przez pomiary pionowych odległości elementów przedmiotu od podstawy lub dowolnej płaszczyzny przyjętej za bazową. Zasada działania jest taka sama jak suwmiarki. Wysokościomierze suwmiarkowe mogą być wyposażone w cyfrowe urządzenie odczytowe, pozwalające na zerowanie położenia suwaka w dowolnym położeniu jak również inne opcje takie jak zmiana jednostek z mm na cale, ustawienie granic tolerancji itp. Wysokościomierze suwmiarkowe mogą być wyposażone w różnego rodzaju końcówki pomiarowe co pozwala na rozszerzenie ich zakresu pomiarowego. Budowę wysokościomierza suwmiarkowego z odczytem cyfrowym przedstawiono na rys. 12.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 12 przedstawiono fotografię wysokościomierza suwmiarkowego cyfrowego. Na zdjęciu zaznaczono żółtymi numerami od 1 do 10 poszczególne części wysokościomierza cyfrowego.]

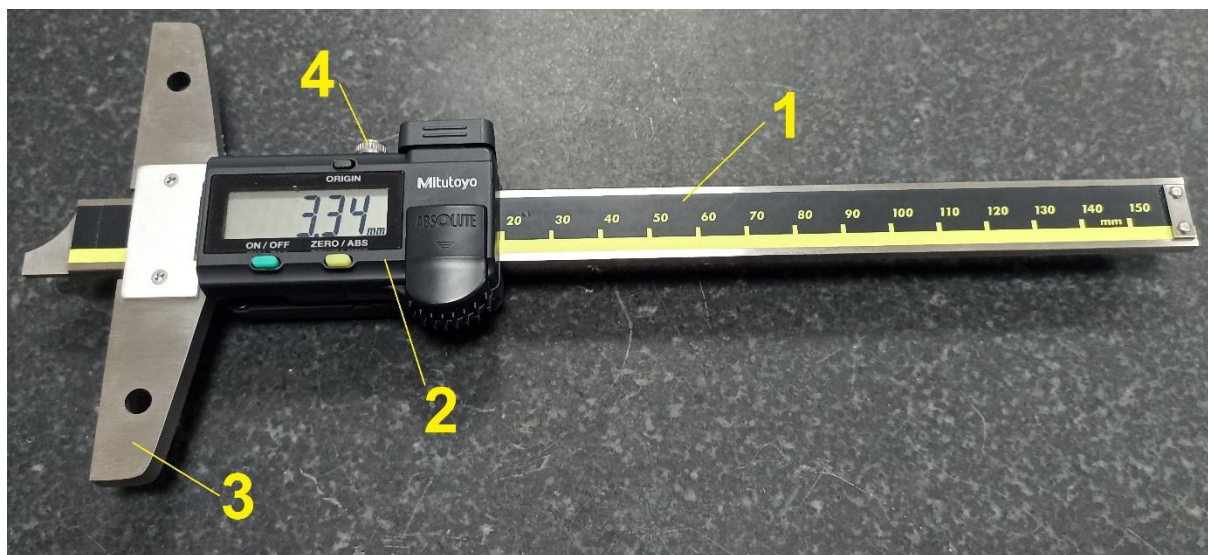


Rys. 12. Wysokościomierz suwmiarkowy cyfrowy, gdzie: 1 – prowadnica, 2 – suwak, 3, 5 – śruby zaciskowe, 4 – nakrętka śruby nastawczej, 6 – ramie przesuwne, 7 – wyświetlacz LCD (urządzenie wskazujące), 8 – końcówka pomiarowa, 9 – podstawa.

Głębokościomierze suwmiarkowe

Głębokościomierze suwmiarkowe stanowią oddzielne narzędzia pomiarowe służące do pomiaru głębokości otworów, rowków lub wgłębień. Wyróżniamy głębokościomierze suwmiarkowe noniuszowe (o dokładności odczytu 0,02 mm, 0,05 mm, 0,1 mm), cyfrowe wyposażone w wyświetlacz, jak również głębokościomierze czujnikowe. Cechą charakterystyczną głębokościomierzy suwmiarkowych jest możliwość wymiany poprzeczek co w znaczny sposób ułatwia pomiar głębokości. Wyniki pomiarowe uzyskane za pomocą głębokościomierzy odczytuje się tak samo jak przy pomocy suwmiarek noniuszowych lub cyfrowych. Na rysunku 13 przedstawiono budowę głębokościomierza suwmiarkowego z wyświetlaczem cyfrowym.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 13 przedstawiono fotografię głębokościomierza suwmiarkowego cyfrowego. Na fotografii zaznaczono żółtymi numerami od 1 do 10 poszczególne części głębokościomierza cyfrowego.]



Rys. 13. Głębokościomierz suwmiarkowy cyfrowy, gdzie: 1 – prowadnica, 2 – wyświetlacz LCD, 3 – poprzeczka, 4 – śruba zaciskowa.

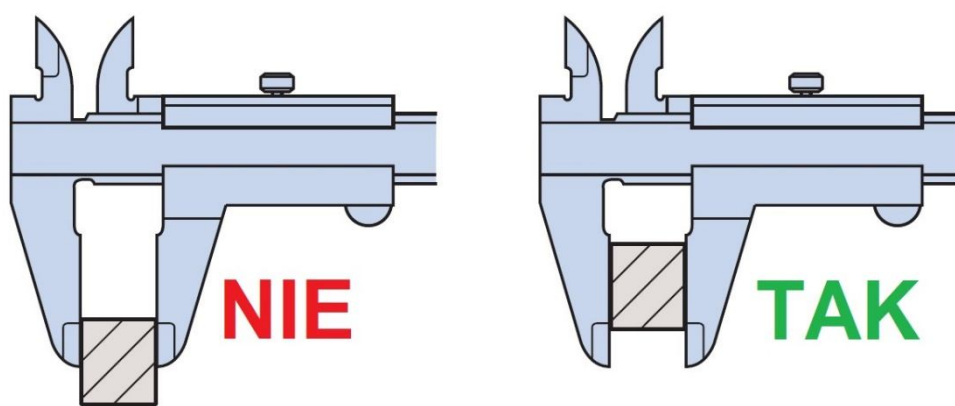
Wybrane źródła błędów występujące podczas pomiarów przyrządami suwmiarkowymi

1. Nieprawidłowe umieszczenie przedmiotu mierzonego pomiędzy szczękami pomiarowymi.

Podczas pomiaru wymiarów zewnętrznych, należy dążyć do uzyskania największej powierzchni styku pomiędzy powierzchniami szczęk pomiarowych

suwmiarki, a powierzchnią mierzonego detalu. W przypadku pomiaru wymiarów wewnętrznych np. średnicy otworu, szczęki do pomiaru wymiarów wewnętrznych należy umieścić w otworze tak głęboko jak to jest możliwe i odczytywać maksymalne wartości. Na rysunku 14 przedstawiono przykładowo błędne oraz prawidłowe umieszczenie elementu mierzonego pomiędzy szczękami pomiarowymi.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 14 przedstawiono dwa schematy przedstawiające pomiar elementu przy użyciu suwmiarki. Lewy schemat przedstawia błędne usytuowanie mierzonego elementu pomiędzy szczękami pomiarowymi, natomiast prawy schemat przedstawia prawidłowy pomiar.]

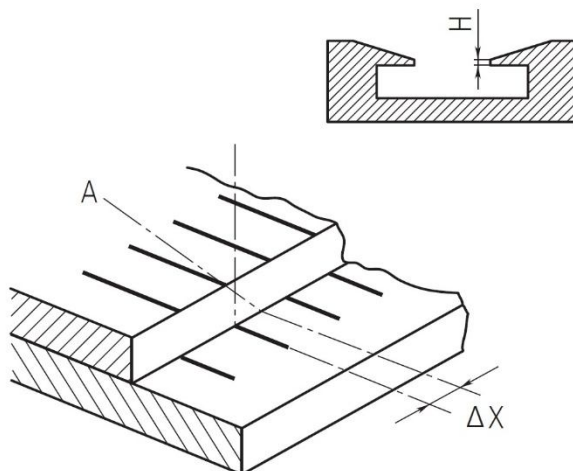


Rys. 14. Nieprawidłowe oraz prawidłowe umieszczenie detalu pomiędzy szczękami pomiarowymi (Mitutoyo n.d.).

2. Błąd paralaksy podczas odczytu wyników z podziałki noniuszowej.

Błąd paralaksy jest to błąd odczytu wyników pomiarowych z podziałki noniuszowej. Występuje, gdy obserwator patrzy na skalę pomiarową pod kątem innym niż prostopadły. W efekcie wskazanie może wydawać się przesunięte względem rzeczywistej wartości. Jeśli patrzy się na kreski (wskazy) podziałki noniusza pod kątem (A), zaobserwowana pozycja pokrycia się kresek jest, jak pokazano na rysunku 15, zafałszowana o wartość ΔX , ze względu na efekt paralaksy spowodowany różnicą wysokości (H) pomiędzy płaszczyznami podziałki noniusza i skali głównej, powodujący błąd odczytu wartości mierzonej.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 15 przedstawiono schemat obrazujący podziałkę oraz jej przekrój wraz z zaznaczonymi liniami wyjaśniającymi zjawisko paralaksy występujące w suwmiarkach noniuszowych.]

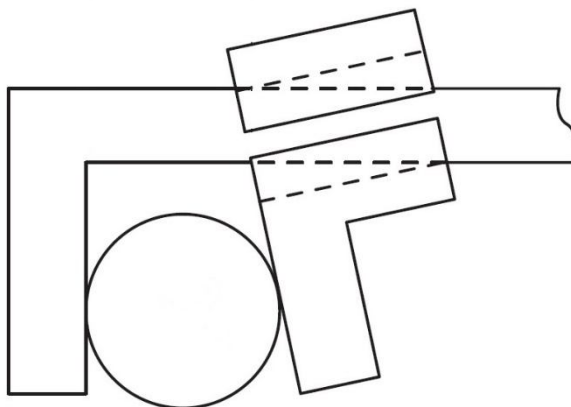


Rys. 15. Błąd paralaksy (Mitutoyo n.d.).

3. Błędy powstałe podczas przechyłu szczęki ruchomej na skutek nadmiernego nacisku.

Jeżeli podczas pomiaru realizowanego przy użyciu suwmiarki operator wywrze zbyt dużą siłę na suwak, wówczas szczęki ruchoma może ulec przechyleniu od położenia równoległego w stosunku do szczęki stałej. Ze względu na powyższe, zasada działania suwmiarki nie spełnia postulatu Abbego. Wówczas takie zjawisko może powodować nadmierne błędy pomiarowe (patrz rys. 16).

[Tekst alternatywny. Rysunek 16 przedstawia schemat przechylenia się szczęki ruchomej w suwmiarce.]



Rys. 16. Nieprawidłowy pomiar suwmiarką na skutek nadmiernej siły wywieranej na suwak. (Mitutoyo n.d.).

Należy nadmienić, że wywieranie zbyt dużej siły nacisku na suwak może powodować odkształcenie mierzonego elementu. Jest to szczególnie niebezpieczne w przypadku pomiaru elementów elastycznych i może stanowić istotne źródło błędów pomiarowych. Niektórzy producenci wprowadzają suwmiarki pozwalające na kontrolę siły nacisku. Na rysunku 17 przedstawiono przykład suwmiarki z analogową kontrolą siły nacisku, natomiast na rysunku 18 przedstawiono przykład suwmiarki z cyfrową kontrolą nacisku.

[Tekst alternatywny. Rysunek 17 przedstawia fotografię suwmiarki firmy Mitutoyo z analogowo kontrolowaną siłą nacisku podczas pomiaru płytki wzorcowej o wymiarze 9,5 mm].



Rys. 17. Suwmiarka firmy Mitutoyo z analogową regulacją siły nacisku.

[Tekst alternatywny. Rysunek 18 przedstawia fotografię suwmiarki firmy Microtech z cyfrowo kontrolowaną siłą nacisku].



Rys. 18. Suwmiarka firmy Microtech z cyfrową regulacją siły nacisku (Microtech 2024).

4. Temperatura suwmiarki oraz przedmiotu mierzonego.

Należy mieć na uwadze, że podczas realizacji pomiaru przyrządami suwmiarkowymi temperatura przyrządu pomiarowego oraz mierzonego elementu powinna być zbliżona. Dlatego pomiary powinny być realizowane w kontrolowanych warunkach pomiarowych (pomieszczenie klimatyzowane). Natomiast operator powinien używać bawełnianych rękawic ochronnych w celu ograniczenia wpływu temperatury ludzkiego ciała na przedmiot mierzony oraz przyrząd pomiarowy.

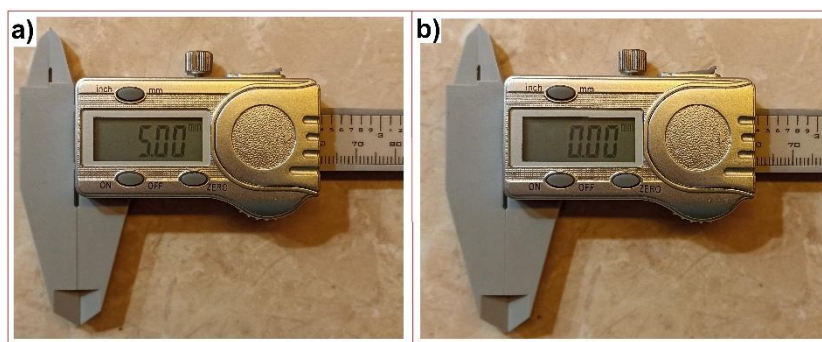
5. Stan powierzchni pomiarowych.

Przed przystąpieniem do realizacji pomiaru przy użyciu suwmiarek należy dokonać oceny stanu powierzchni pomiarowych oraz powierzchni ślizgowych. Powierzchnie te powinny być wolne od zanieczyszczeń. Nawet drobne zanieczyszczenia, kurz, opiłki metalu lub resztki chłodziwa mogą powodować powstawanie nadmiernych błędów pomiarowych. W przypadku występowania zanieczyszczeń należy oczyścić powierzchnie pomiarowe poprzez powolne wyciąganie z zaciśniętych szczęk czystego arkusza papieru. Ponadto szczęki suwmiarki powinny przylegać do siebie na całej długości bez widocznych prześwitów. Należy to sprawdzać zsuwając do siebie szczęki pomiarowe i ocenić występowanie ewentualnych prześwitów.

6. Zerowanie suwmiarki cyfrowej przed pomiarem.

Przed użyciem suwmiarki należy zsunąć szczęki suwmiarki i upewnić się, że odczyt z wyświetlacza wynosi zero. W przypadku suwmiarki cyfrowej po wymianie baterii należy ją wyzerować poprzez naciśnięcie przycisku „zero” lub „origin” (patrz rys. 19)

[Tekst alternatywny. Rysunek 19 przedstawia fotografię dwóch suwmiarek cyfrowych ze zsuniętymi szczękami pomiarowymi. Na rysunku 19a przedstawiono nieprawidłowe wskazanie wyświetlacza (5.00 mm), natomiast na rysunku 19b prawidłowe wskazanie wyświetlacza (0 mm)].



Rys. 19. Błąd wyzerowania suwmiarki cyfrowej: a) nieprawidłowe wyzerowanie, b) prawidłowe wyzerowanie.

3.4 Przyrządy mikrometryczne

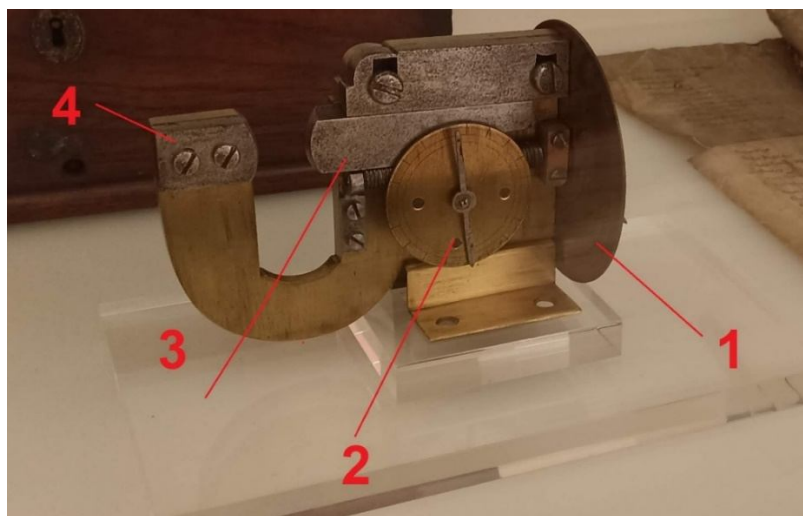
Przyrządy mikrometryczne to precyzyjne przyrządy pomiarowe, których głównym elementem jest precyzyjnie wykonana śruba mikrometryczna, zazwyczaj o skoku gwintu wynoszącego 0,5 mm. Wyróżnia się pięć zasadniczych typów przyrządów mikrometrycznych. Są to mikrometry zewnętrzne, mikrometry wewnętrzne, średnicówki (dwu i trójpunktowe), głębokościomierze mikrometryczne oraz głowice mikrometryczne

Mikrometry zewnętrzne

Mikrometry zewnętrzne stanowią najliczniejszą grupę wszystkich przyrządów mikrometrycznych. Urządzenia tego typu wykorzystywane są do realizacji pomiarów wymiarów zewnętrznych np. długości lub średnicy wałka. Ze względu na sposób odczytu wyników pomiarowych, mikrometry możemy podzielić na analogowe oraz cyfrowe. Ze względu na swoją budowę, mikrometry do pomiarów wymiarów zewnętrznych spełniają postulat Abbego, czyli oś pomiarowa pokrywa się z osią przedmiotu mierzonego.

Pierwszym przyrządem pomiarowym wykorzystujących śrubę mikrometryczną do realizacji pomiarów długości był mikrometr Jamsa Watta skonstruowany w roku 1776, którego fotografię przedstawiono na rysunku 20.

[Tekst alternatywny. Rysunek 20 przedstawia fotografię mikrometru Jamesa Watta znajdującego się w Science Museum Group w Londynie. Na fotografii zaznaczono czerwonymi numerami od 1 do 4 poszczególne części mikrometru.]



Rys. 20. Mikrometr Jamesa Watta znajdujący się w Science Museum Group w Londynie.

Główną skale w mikrometrze Jamesa Watta wykonano na dużej tarczy (1). Tracza ta podzielona była na 100 równych części, które skalowane była na 0,0005 cala. Jeden obrót tarczy powodował przesunięcie wrzeciona (3) o 0,05 cala i obrót mniejszej skali (2) o jeden stopień. Ustawienie punktu zerowego wykonywano poprzez regulację kowadełka (4). Jak można zauważyć na rysunku 20, kowadełko oraz wrzeciono są zaokrąglone, co ułatwiło pomiar detali wklęsłych.

Natomiast mikrometr o współczesnym kształcie został wykonany przez Jeana Laurenta Palmera w 1848 roku, którego fotografię przedstawiono na rysunku 21.

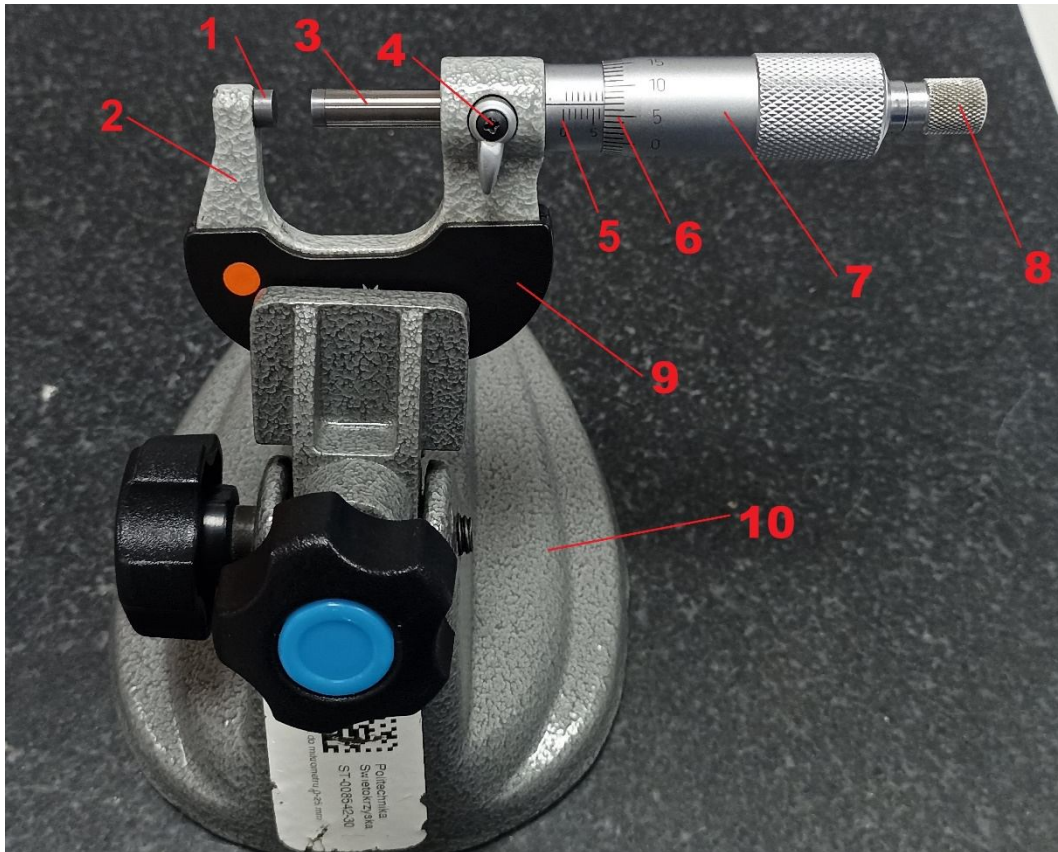
[Tekst alternatywny. Rysunek 21 przedstawia fotografię mikrometra Jeana Laurenta Palmera]



Rys. 21. Mikrometr Jeana Laurenta Palmera
(<https://www.robertsonminiatures.com/palmer-micrometer> n.d.).

We współczesnych mikrometrach analogowych wyniki pomiarowe odczytuje się z podziałki milimetrowej znajdującej się na tulejce oraz z dodatkowej podziałki znajdującej się na bębnie. Dodatkowa podziałka pozwala na odczytanie wyników pomiarowych z rozdzielczością 0,01 mm. W sprzedaży występują również mikrometry wyposażone w dodatkową skalę noniuszową pozwalającą na odczyt wyników pomiarowych z rozdzielczością 0,001 mm. Jednakże dla standardowych mikrometrów o zakresie pomiarowym 0 – 25 mm błąd graniczny (MPE), wynosi $\pm 0,002$ mm. Zakres pomiarowy mikrometrów stopniowany jest co 25 mm, w związku z tym występują mikrometry o zakresach pomiarowych 0 – 25 mm, 25 – 50 mm, 50 – 75 mm, 75 – 100 mm. Budowę standardowego mikrometru analogowego przedstawiono na rysunku 22.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 22 przedstawiono fotografię mikrometru analogowego. Na fotografii zaznaczono czerwonymi numerami od 1 do 10 poszczególne części mikrometru.]



Rys. 22. Mikrometr analogowy, gdzie: 1 – kowadełko, 2 – kabłąk, 3 – wrzeciono, 4 – zacisk, 5 – tuleja, 6 – skala na bębnie, 7 – bęben, 8 – grzechotka (sprzęgło cierne), 9 – osłona termoizolacyjna, 10 – statyw.

Główną częścią mikrometru jest precyzyjnie nacięta na wrzecionie śruba mikrometryczna o skoku gwintu 0,5mm lub 1mm (w zależności od modelu). Na śrubie mikrometrycznej nakręcona jest nakrętka regulacyjna, która jest zamocowana w nieruchomej tulei. Pełny obrót bębna powoduje wysunięcie lub cofanie się wrzeciona o 0,5mm. Z bębniem mikrometru połączona jest grzechotka wyposażona w sprzęgło cierne, które zapewnia stały docisk powierzchni pomiarowych mikrometru do mierzonego elementu. Dodatkową funkcją sprzęgła jest ochrona śruby mikrometrycznej przed uszkodzeniem wynikającym z nadmiernego nacisku wywieranego przez operatora.

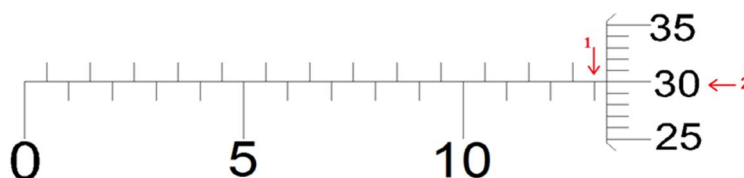
Przed rozpoczęciem pomiaru należy upewnić się, że blokada wrzeciona została zwolniona. Następnie umieszcza się mierzony przedmiot pomiędzy powierzchniami pomiarowymi kowadełka i wrzeciona. Pokrętko sprzęgła należy obracać delikatnie, aż do momentu zetknięcia się powierzchni pomiarowych z przedmiotem mierzony.

Charakterystyczny dźwięk „grzechotania” sygnalizuje zakończenie pomiaru. Po jego usłyszeniu można przystąpić do odczytu wyniku.

Na nieruchomej tulei znajduje się skala podstawowa z kreską wskaźnikową wzdłużną, nad którą naniesiona jest podziałka milimetrowa. Pod nią znajduje się druga, identyczna podziałka, przesunięta o 0,5 mm względem górnej. Na obwodzie bębna umieszczona jest skala dodatkowa – podziałka obrotowa dzieląca obwód bębna na 50 równych części. Miejsce odczytu wskazuje krawędź bębna. Wynik pomiaru stanowi sumę odczytu ze skali podstawowej (na tulei mikrometru) oraz skali dodatkowej (na bębnie mikrometru). Poniżej przedstawiono

Przykład 1.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 23 przedstawiono widok podziałki głównej znajdującej się na powierzchni bębna oraz podziałki pomocniczej wykonanej na powierzchni tulejki mikrometru wraz ze strzałkami i odnośnikami 1 i 2.]

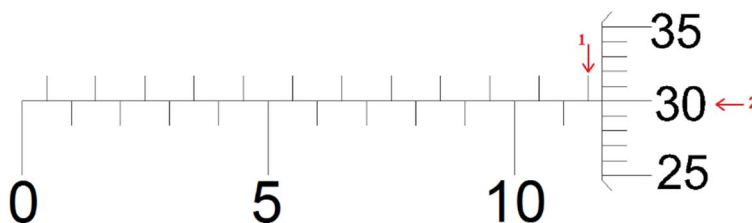


Rys. 23. Odczyt wyników pomiarowych z mikrometru analogowego.

- | | | |
|-----|--|-----------------|
| (1) | Odczyt z podziałki głównej na tulejce: | 13,00 mm |
| (2) | Odczyt z podziałki dodatkowej na bębnie: | 0,30 mm |
| | Odczyt wyników pomiarowych: | 13,30 mm |

Przykład 2.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 24 przedstawiono widok podziałki głównej znajdującej się na powierzchni bębna oraz podziałki pomocniczej wykonanej na powierzchni tulejki mikrometru wraz ze strzałkami i odnośnikami 1 i 2.]

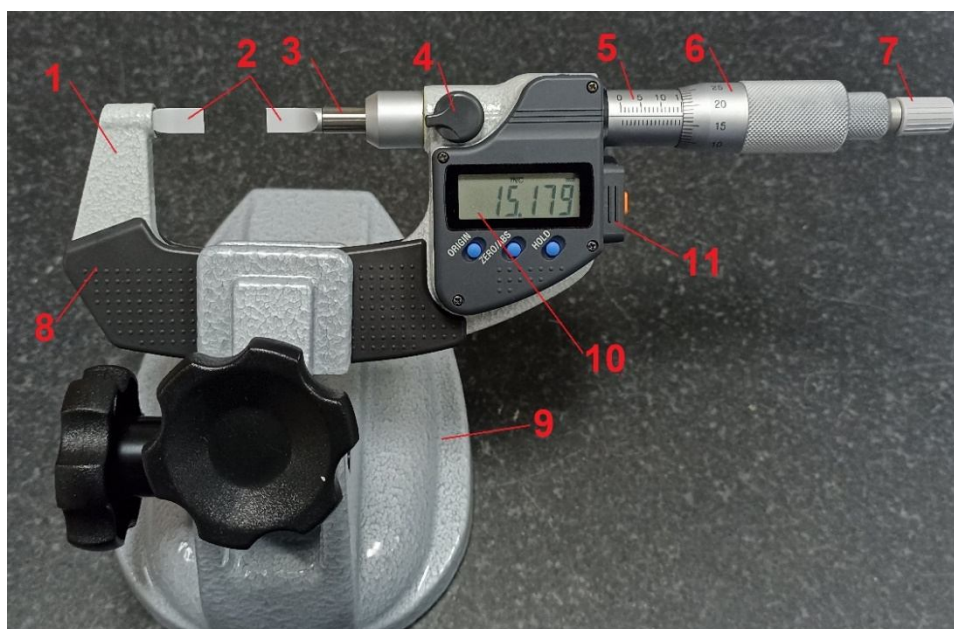


Rys. 24. Odczyt wyników pomiarowych z mikrometru analogowego.

- | | | |
|-----|--|-----------------|
| (1) | Odczyt z podziałki głównej na tulejce: | 11,50 mm |
| (2) | Odczyt z podziałki dodatkowej na bębnie: | 0,30 mm |
| | Odczyt wyników pomiarowych: | 11,80 mm |

Obecnie w warunkach przemysłowych oraz laboratoryjnych wykorzystuje się mikrometry elektroniczne, zwane również mikrometrami cyfrowymi. Mikrometry tego typu wyposażony jest w cyfrowe urządzenie wskazujące o rozdzielczości wynoszącej 0,001 mm. Mikrometry takie mają wbudowany wzorzec pojemnościowy w postaci tarczy podziałowej. Obrót tarczy podziałowej połączonej sztywno z bębniem wywołuje powstanie impulsów elektrycznych, które są zliczane, a następnie wyświetlane w postaci wartości mierzonej. Mikrometry cyfrowe mają możliwość zerowania w dowolnym położeniu wrzeciona oraz są wyposażone w wyjście danych, pozwalające na przesyłanie wyników pomiarowych do komputera. Zasada pomiaru mikrometrem cyfrowym jest taka sama jak mikrometrem analogowym. Różnica polega tylko na sposobie odczytu wyniku pomiarowego. Budowę mikrometru cyfrowego przedstawiono na rysunku 25.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 25 przedstawiono fotografię mikrometru cyfrowego ostrzowego. Na fotografii zaznaczono czerwonymi numerami od 1 do 11 poszczególne części mikrometru.]

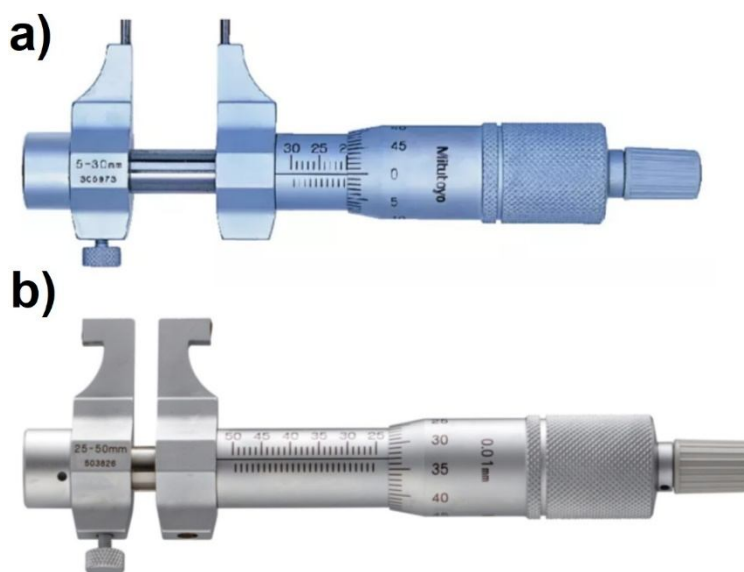


Rys. 25. Mikrometr cyfrowy ostrzowy, gdzie: 1 – kabląk, 2 – końcówki pomiarowe, 3 - wrzeciono, 4 - zacisk, 5 – tuleja, 6 – bęben, 7 – grzechotka (sprzęgło ciernie), 8 – osłona termoizolacyjna, 9 – statyw, 10 – wyświetlacz LCD, 11 – bezprzewodowe wyjście danych.

Mikrometry wewnętrzne

Mikrometr wewnętrzny to precyzyjne narzędzie pomiarowe służące do mierzenia średnic wewnętrznych otworów, tulei, pierścieni lub innych elementów. Działa na zasadzie śruby mikrometrycznej, podobnie jak mikrometr zewnętrzny, ale jego konstrukcja jest dostosowana do pomiarów wewnątrz otworów. Standardowy mikrometr wewnętrzny szczękowy posiada zakres pomiarowy wynoszący 5 – 30 mm. W przypadku mikrometrów o większym zakresie pomiarowym, jest on stopniowany o 25 mm np. 25 - 50 mm, 50 – 75 mm. Przykład mikrometrów wewnętrznych przedstawiono na rysunku 26.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 26a przedstawiono fotografię mikrometru wewnętrznego szczękowego o zakresie pomiarowym 5 – 30 mm, natomiast na rysunku 26b przedstawiono fotografię mikrometru wewnętrznego szczękowego o zakresie pomiarowym 25 - 50 mm].



Rys. 26. Mikrometr wewnętrzny szczękowy: a) zakres pomiarowy 5 – 30 mm, b) zakres pomiarowy 25 – 50 mm.

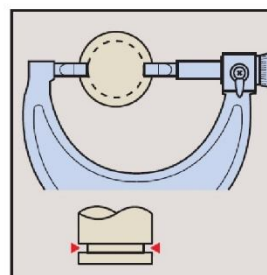
Mikrometry specjalne

Mikrometry specjalne to odmiany klasycznych mikrometrów, które mają zmodyfikowaną budowę lub końcówki pomiarowe, aby umożliwić pomiary trudnych, nietypowych lub specyficznych kształtów i powierzchni. Możemy wyróżnić następujące mikrometry specjalne: mikrometr ostrzowy (pomiar średnic w wąskich rowkach), mikrometr do wieloklinów (pomiar średnic wałków wieloklinowych),

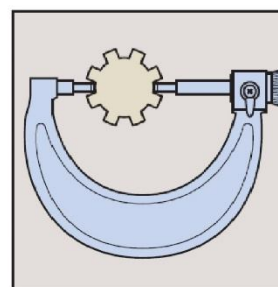
mikrometr do rur (pomiar grubości ścianek rur), mikrometr punktowy (pomiar średnic podstaw), mikrometr do gwintów (pomiar średnic gwintów), mikrometr talerzykowy zewnętrzny (pomiar długości pomiarowych kół zębatach), mikrometr uniwersalny z wymiennymi końcówkami (pomiar różnych cech geometrycznych w zależności od zastosowanej końcówki). Na rysunku 27 przedstawiono przykładowe mikrometry specjalne.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 27 przedstawiono siedem fotografii mikrometrów specjalnych wraz z przykładowym pomiarem realizowanym za ich pośrednictwem. Przy czym pierwsza fotografia (a) przedstawia mikrometr ostrzowy. Druga fotografia (b) przedstawia mikrometr do wieloklinów. Trzecia fotografia (c) przedstawia mikrometr do rur. Czwarta fotografia (d) przedstawia mikrometr punktowy. Piąta fotografia (e) przedstawia mikrometr do gwintów. Szósta fotografia (f) przedstawia mikrometr talerzykowy. Siódma fotografia (g) przedstawia mikrometr uniwersalny z wymiennymi końcówkami.]

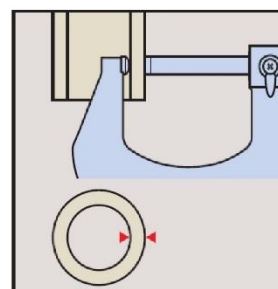
a)



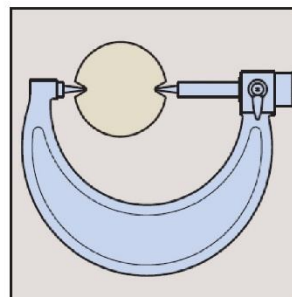
b)



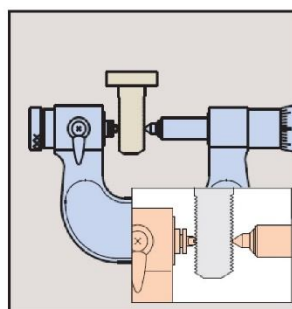
c)



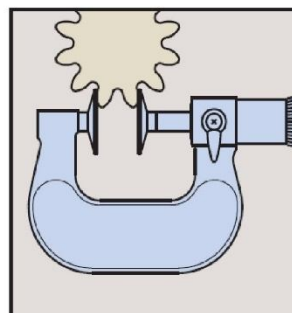
d)



e)



f)



g)

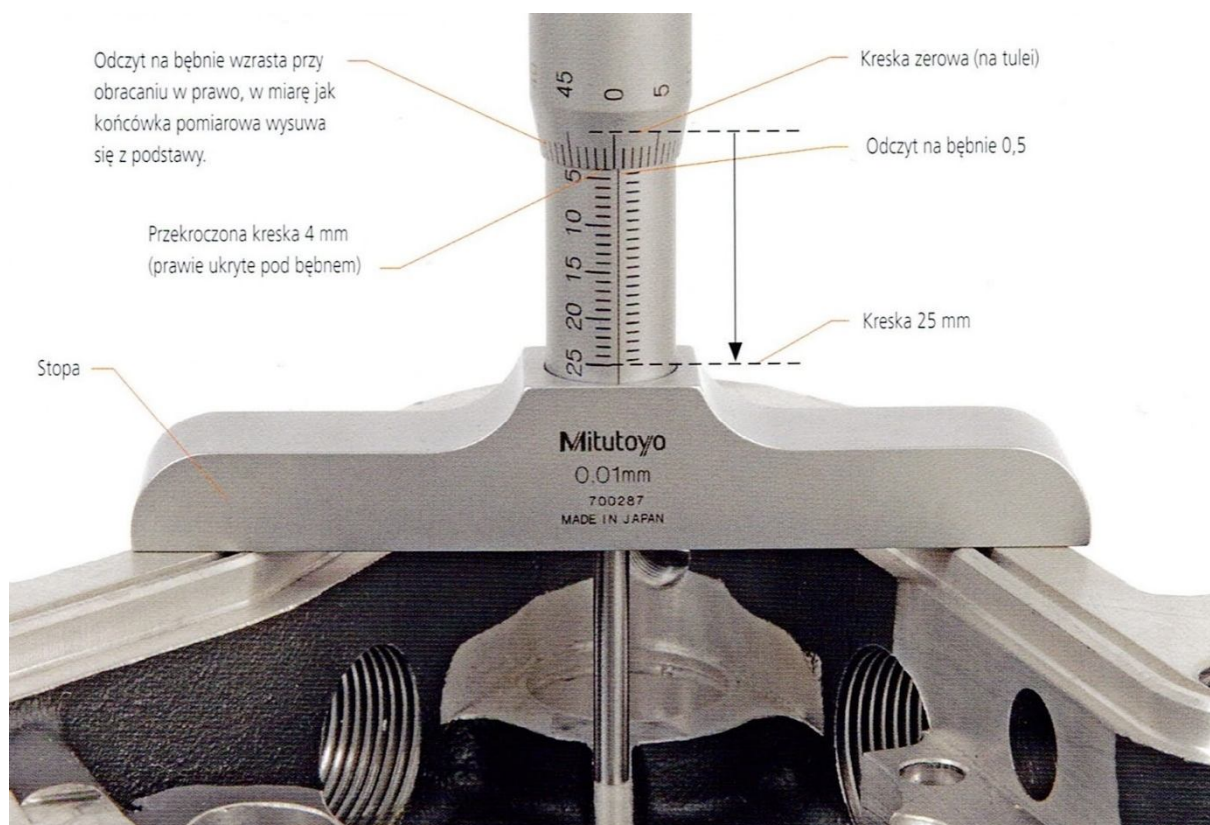


Rys. 27. Mikrometry specjalne, gdzie: a) mikromer ostrzowy, b) mikrometr do wieloklinów, c) mikrometr do rur, d) mikrometr punktowy, e) mikrometr do gwintów, f) mikrometr talerzykowy, g) mikrometr uniwersalny z wymiennymi końcówkami (Katalog przyrządów pomiarowych Mitutoyo - PL-20007 2024).

Głębokościomierze mikrometryczne

Głębokościomierz mikrometryczny podobnie jak klasyczny mikrometr, do realizacji pomiarów wykorzystuje śrubę mikrometryczną. Przy czym w przypadku głębokościomierzy kierunek podziałki jest odwrócony. W praktyce odczyt wyników pomiarowych z podziałki głębokościomierza mikrometrycznego analogowego jest utrudniony. Głębokościomierze mikrometryczne w stosunku do głębokościomierzy suwmiarkowych, cechują się większą dokładnością pomiarową, jednakże mają mniejszy zakres pomiarowy. W związku z tym, producenci wprowadzili na rynek głębokościomierze mikrometryczne z wymiennymi trzpieniami zapewniającymi szeroki zakres pomiarów nawet do 300 mm. Ponadto głębokościomierze mikrometryczne wyposażone są w płaską stopę zwykle o długości 100 mm lub 63 mm i szerokości 16 mm, co zapewnia stabilną powierzchnię odniesienia. Zasadę pomiaru przy użyciu głębokościomierzy mikrometrycznych przedstawiono na rysunku 28.

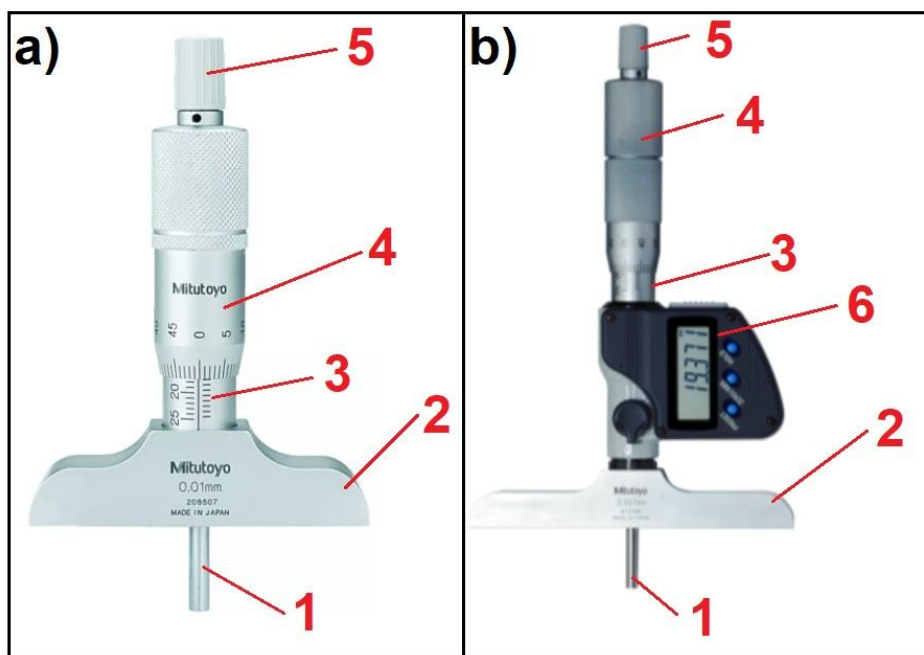
[Tekst alternatywny. Na rysunku 28 przedstawiono pomiar głębokości przy użyciu głębokościomierza mikrometrycznego.]



Rys. 28. Pomiar głębokości realizowany głębokościomierzem mikrometrycznym firmy Mitutoyo. (Suga n.d.)

Ze względu na zasadę działania oraz sposób odczytywania wyników pomiarowych głębokościomierze mikrometryczne możemy podzielić na cyfrowe oraz analogowe. Na rysunku 29 przedstawiono głębokościomierz mikrometryczny w wersji analogowej (a) oraz cyfrowej (b).

[Tekst alternatywny. Na rysunku 29a przedstawiono fotografię głębokościomierza analogowego, natomiast na rysunku 29 b fotografię głębokościomierza cyfrowego. Na fotografiach zaznaczono poszczególne części głębokościomierza czerwonymi numerami od 1 do 6.]

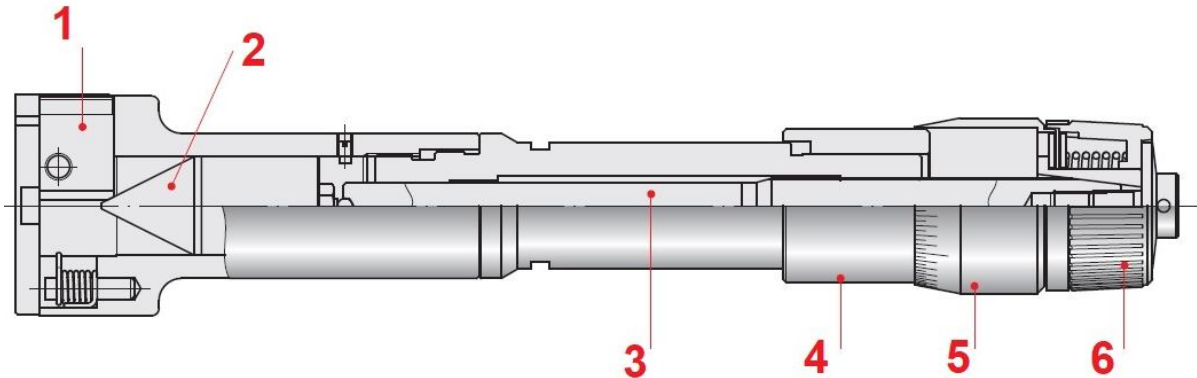


Rys. 29. a) głębokościomierz mikrometryczny analogowy, b) głębokościomierz mikrometryczny cyfrowy, gdzie: 1 – wrzeciono, 2 – stopa (poprzeczka), 3 – tuleja, 4 – bęben, 5 – grzechotka, 6 – wyświetlacz cyfrowy (Katalog przyrządów pomiarowych Mitutoyo - PL-20007 2024).

Trójpunktowa średnicówka mikrometryczna

Średnicówka trójpunktowa to przyrząd pomiarowy służący do bezpośredniego pomiaru średnic wewnętrznych otworów. Jest szczególnie ceniona za wysoką dokładność i samocentrujące właściwości. Rozdzielczość średnicówek wynosi do 0,001 mm (dla zakresu pomiarowego do 12 mm), przy czym dokładność pomiarowa dla tego zakresu wynosi $\pm 0,002$ mm. Średnicówka trójpunktowa posiada trzy końcówki pomiarowe rozmieszczone co 120° , które rozsuwają się równomiernie za pomocą mechanizmu śrubowego (np. stożka lub spirali schodkowej). Dzięki temu przyrząd automatycznie centruje się w otworze, co minimalizuje błędy pomiarowe. Budowę analogowej średnicówki trójpunktowej przedstawiono na rysunku 30.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 30 przedstawiono przekrój poprzeczny średnicówki trójpunktowej. Na rysunku czerwonymi numerami od 1 do 6 zaznaczono poszczególne części średnicówki trójpunktowej.]



Rys. 30. Przekrój poprzeczny średnicówki trójpunktowej, gdzie: 1 – końcówka pomiarowa, 2 – stożek, 3 – wrzeciono, 4 – tulejka, 5 – bęben, 6 – grzechotka.
(Mitutoyo n.d.)

Ze względu na swoją konstrukcję, pewną wadą średnicówek trójpunktowych jest ich ograniczony zakres pomiarowy (dotyczy to pojedynczej średnicówki). Natomiast w sprzedaży dostępne są zestawy średniówek pozwalających na pomiar średnicy otworów w zakresie wynoszącym od 4 mm do 150 mm. Należy nadmienić, że przy użyciu średnicówek trójpunktowych nie można zmierzyć średnicy otworów mimośrodowych (owalnych). Wówczas do tego typu elementów należy zastosować średnicówkę dwupunktową. Natomiast w przypadku otworów z trzema wypukłościami, możemy zmierzyć jego średnice przy użyciu średnicówki trójpunktowej, także w różnych położeniach kątowych.

Średnicówki tego typu możemy podzielić na analogowe oraz cyfrowe. Podobnie jak w przypadku suwmiarek oraz mikrometrów cyfrowych średnicówki cyfrowe wyposażone są w wyjście danych, dzięki czemu możemy przysyłać dane pomiarowe do komputera lub bezpośrednio do przenośnej drukarki. Aby dokonać kontroli poprawności wskazań średnicówek trójpunktowych wymagane jest użycie wzorców pierścieniowych. Na rysunku 31 przedstawiono przykładowe średnicówki trójpunktowe.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 31 przedstawiono fotografię dwóch średnicówek trójpunktowych mikrometrycznych (cyfrowej oraz analogowej)]

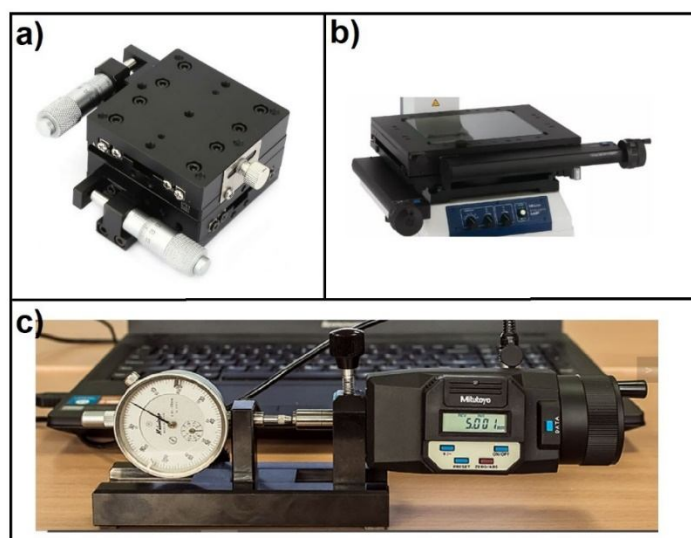


Rys. 31. Trójpunktowe średnicówki mikrometryczne o zakresie 20 – 25 mm.

Głowice mikrometryczne

Głowice mikrometryczna (śruby mikrometryczne) to elementy systemu pomiarowego, które mogą być montowane w różnych urządzeniach – np. mikroskopach, stołach XY, przyrządach kalibracyjnych czy specjalnych uchwytach. Działają na zasadzie przekształcania obrotu śruby w przesunięcie liniowe wrzeciona, umożliwiając pomiar z rozdzielczością nawet do 0,001 mm. Podobnie jak w przypadku mikrometrów oraz średnicówek trójpunktowych, głowice mikrometryczne możemy podzielić na analogowe oraz cyfrowe. Na rysunku 32 przedstawiono przykłady wykorzystania śruby mikrometrycznej.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 32 przedstawiono trzy fotografie przedstawiające wykorzystanie głowic mikrometrycznych, gdzie (a) przedstawia ręczny przesuwny stół do tokarki, (b) stolik mikroskopu pomiarowego, (c) system do wzorcowania czujników.]



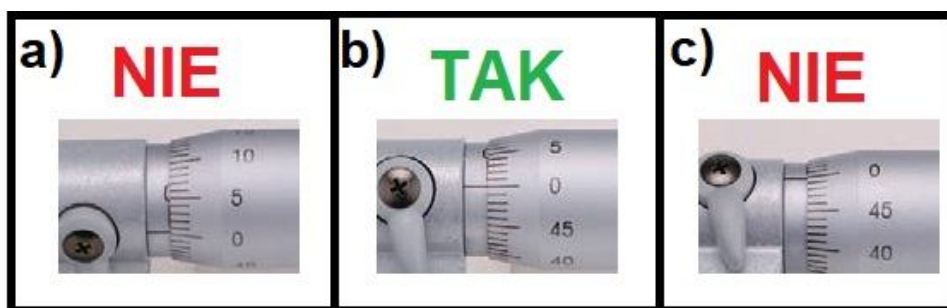
Rys. 32. Przykłady zastosowań głowic mikrometrycznych: a) ręczny przesuwny stół do tokarki, b) stolik mikroskopu pomiarowego, c) system do wzorcowania czujników.

Wybrane źródła błędów występujące podczas pomiarów przyrządami mikrometrycznymi

1. Nieprawidłowy odczyt wyniku pomiarowego z podziałki analogowej.

Aby wyeliminować błąd paralaksy, należy patrzeć prostopadłe na wskaźy na podziałce znajdującej się na powierzchni bębna oraz powierzchni tulei.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 33 przedstawiono trzy fotografie przedstawiające sposób odczytu wyniku pomiarowego ze skali mikrometru analogowego. Na rysunku 33 a oraz 33c przedstawiono nieprawidłowy odczyt oraz czerwony napis „NIE”. Natomiast na rysunku 33b przedstawiono prawidłowy odczyt wyniku pomiarowego oraz zielony napis „TAK”.]



Rys. 33. Przykłady sposobów odczytu wyników pomiarowych z podziałki mikrometru analogowego: a) odczyt powyżej linii wzdułżnie (nieprawidłowy odczyt), b) odczyt prostopadły do linii wzdułżnej (prawidłowy odczyt), c) odczyt poniżej linii wzdułżnie (nieprawidłowy odczyt) (Mitutoyo n.d.).

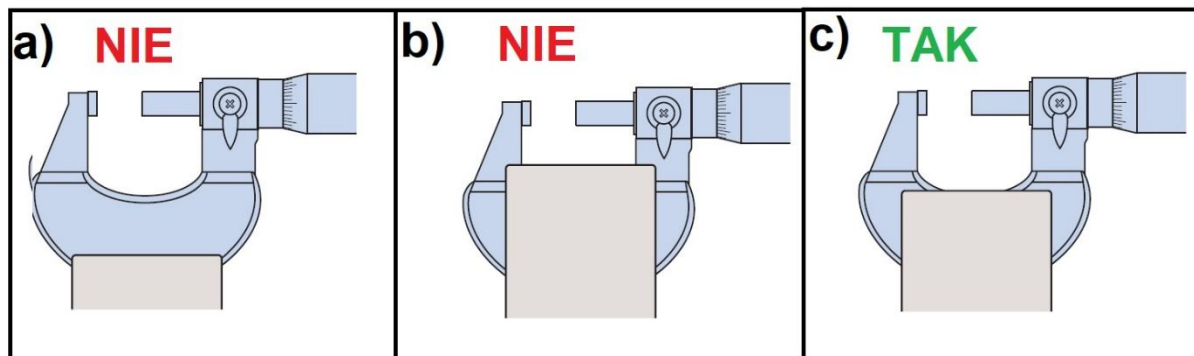
2. Prawidłowe używanie sprzęgła ciernego.

Podczas realizacji pomiaru należy pamiętać, że po umieszczeniu przedmiotu mierzonego pomiędzy powierzchniami kowadełka a wrzeciona, należy obracać bęben za pośrednictwem sprzęgła ciernego do momentu pocucia oporu. Wówczas należy odczytać wynik pomiarowy. Po odczytaniu wyniku pomiarowego należy odsunąć wrzeciono od przedmiotu mierzonego za pośrednictwem bębna. Prawidłowe użycie sprzęgła ciernego zapewnia stały nacisk pomiarowy oraz wydłuża żywotność śruby mikrometrycznej.

3. Prawidłowy montaż mikrometru w statywie pomiarowym.

Mocując mikrometr na statywie, statyw powinien być zaciśnięty na środku kabłąka mikrometru. Nie należy zaciskać szcęk statywu zbyt mocno. Należy również dbać o czystość elementów składowych statywu.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 34 przedstawiono trzy schematy zamocowania mikrometru w statywie pomiarowym. Przy czym rys. 34a oraz 34b przedstawiają nieprawidłowe zamocowanie mikrometru, natomiast 34c prawidłowe zamocowanie mikrometru.]



Rys. 34. Przykłady sposobów zamocowania mikrometru w statywie : a), b) mikrometr nieprawidłowo zamocowany w statywie pomiarowym, c) mikrometr prawidłowo zamocowany w statywie pomiarowym (Mitutoyo n.d.).

4. Stan powierzchni pomiarowych.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy przeprowadzić inspekcję powierzchni pomiarowych wrzeciona oraz kowadełka. Powierzchnie pomiarowe powinny być wolne od zanieczyszczeń. Jeżeli występują zanieczyszczenia to należy wyczyścić powierzchnie pomiarowe za pomocą czystej ściereczki lub papieru bezpyłowego umieszczonego pomiędzy powierzchnią kowadełka oraz wrzeciona. Należy również pamiętać o okresowej kontroli płaskości powierzchni pomiarowych przy użyciu odpowiedniej płytki interferencyjnej.

5. Rozszerzalność temperaturowa mikrometru.

Ze względu na to, że mikrometry cechują się stosunkowo wysoką dokładnością pomiarową, są one bardziej wrażliwe na zmiany temperatury. Przykładowo, trzymanie mikrometru o zakresie pomiarowym 300 mm w dłoni skutkuje rozszerzalnością temperaturową rzędu 12 μm . W związku z tym należy minimalizować czas kontaktu urządzenia z nieosłoniętą skórą. Mikrometry wyposażone w okładki termoizolacyjne lub używanie przez operatora bawełnianych rękawic pozwalają zminimalizować ten efekt.



LITERATURA

- Adamczak, S. 2008. *Pomiary Geometryczne Powierzchni: Zarysy Kształtu, Falistość i Chropowatość*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
<https://books.google.pl/books?id=9GaiQQAACAAJ>.
- Adamczak, Stanisław. 2023. *Metrologia Geometryczna Powierzchni Technologicznych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Cunha, Kathleen, and Ramon Santos. 2020. "The Reliability of Data from Metrology 4.0." *International Journal on Data Science and Technology* 6(4): 66.
- Gąska, Adam et al. 2016. "The System of Measurement Accuracy Prediction, Based on Coordinate Measuring Machine Simulator and Its Virtual Model." *Mechanik* (3): 220–21.
- GUM. 2015. *Międzynarodowy Słownik Terminów Metrologii Prawnej*.
https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Wydawnictwa/Miedzynarodowy_Slownik_Terminow_Metrologii_Prawnej.pdf.
- "<https://www.Robertsonminiatures.Com/Palmer-Micrometer.>"
- Jakubiec W., Malinowski J. 2008. *Metrologia Wielkości Geometrycznych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Katalog Przyrządów Pomiarowych Mitutoyo - PL-20007*. 2024.
- Microtech. 2024. "Manufacturing Research&Developing - Katalog Producenta."
<https://microtech-ua.com/index.php>.
- Mitutoyo. *Mitutoyo - Kompendium Metrologii*.
- PKN-ISO/IEC Guide 99*. 2010.
- Ratajczyk, E, and A Woźniak. *Współrzędnościowe Systemy Pomiarowe*. Warszawa 2016: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Schellhorn, Mathias, Marc Preißler, Rolf Hoffmann, and Gerhard Linß. 2014. "In-Process Measurements in the Machining Area of Milling." (September): 8–12.
- Suga, Nobuo. *Podręcznik Metrologii. Nauka o Pomiarach*. Peter Roll. Mitutoyo, 2015.
- Wieczorowski, Michał, and Justyna Trojanowska. 2023. "Towards Metrology 4.0 in Dimensional Measurements." *Journal of Machine Engineering* 23(1): 100–113.
- Zmarzły, Paweł. 2020. "Technological Heredity of the Turning Process." *Tehnički vjesnik/Technical Gazette* 27(4): 11–25.

