

Mitutoyo

KOMPENDIUM METROLOGII

w zakresie precyzyjnych przyrządów pomiarowych



Kontrola jakości	2	↘
Mikrometry	4	↘
Główce mikrometryczne	11	↘
Średnicówki	14	↘
Suwmiarki	15	↘
Wysokościomierze	18	↘
Płytki wzorcowe	20	↘
Czujniki zegarowe	21	↘
Główce pomiarowe Linear Gage	24	↘
Laserowe Mikrometry Skaningowe LSM	26	↘
Liniały pomiarowe	28	↘
Projektory profilu	31	↘
Mikroskopy	32	↘
Wizyjne Maszyny Pomiarowe	34	↘
Surftest (Chropowatościomierze)	36	↘
Contracer (Przyrządy do pomiaru konturu)	38	↘
Roundtest (Przyrządy do pomiaru kształtu)	40	↘
Twardościomierze	42	↘
Współrzędnościowe Maszyny Pomiarowe	44	↘



Kontrola jakości (QC)

System ekonomicznego wytwarzania produktów i usług w jakości spełniającej wymagania klienta.

Kontrola jakości procesu

Działania mające na celu zredukowanie zmienności charakterystyki produktu wynikającej z procesu i utrzymanie tej zmienności na niskim poziomie. Działania te promują standaryzację i poprawę procesu jak również akumulację technologii.

Statystyczna kontrola procesu (SPC)

Kontrola jakości procesu przy wykorzystaniu metod statystycznych.

Populacja

Grupa wszystkich elementów posiadających charakterystyki brane pod uwagę przy poprawie i kontroli procesu oraz jakości produktu. Grupa analizowana w oparciu o próby jest zwykle populacją reprezentowaną przez próby.

Partia

Zbiór produktów wytwarzanych w tych samych warunkach.

Próba

Egzemplarz (lub egzemplarze) produktu pobrany z populacji do oceny jego charakterystyk.

Liczność próby

Liczba egzemplarzy produktu w próbie.

Odchylenie

Wartość obliczona jako różnica wartości rzeczywistej i średniej mierzonych wartości z wielu pomiarów.

Rozrzut

Zmienność wartości badanej charakterystyki w odniesieniu do wartości średniej. Zwykle rozrzut wartości wokół wartości średniej jest reprezentowany przez odchylenie standardowe.

Histogram

Wykres dzielący zakres pomiędzy minimalną a maksymalną wartością zmierzoną na kilka przedziałów i pokazujący liczbę wartości (częstość wystąpień) w każdym przedziale w postaci paska. Ułatwia on zrozumienie średniej zgrubnej lub przybliżonego zasięgu rozrzutu. Symetryczny rozkład dzwonowy nazywany jest rozkładem normalnym i jest często wykorzystywany w teoretycznych przykładach ze względu na łatwe do obliczenia parametry. Jednakże należy zachować ostrożność przyjmując takie założenie, ponieważ wiele rzeczywistych procesów nie jest zgodnych z rozkładem normalnym i takie założenie może prowadzić do błędów.

Zdolność procesu

Charakterystyczna dla danego procesu wydajność wykazywana, gdy jest on dostatecznie ustandaryzowany, wyeliminowano z niego wszelkie przyczyny nieprawidłowości i jest on w stanie statystycznego uregulowania. Zdolność procesu jest reprezentowana za pomocą $\pm 3\sigma$ lub 6σ , gdy wartości kontrolowanych charakterystyk procesu opisuje rozkład normalny. σ (sigma) oznacza odchylenie standardowe.

Wskaźnik zdolności procesu (PCI lub Cp)

Miara tego jak dobrze proces jest usytuowany w granicach tolerancji danej charakterystyki. Wartość tego wskaźnika powinna być zawsze znacząco większa od 1. Obliczana jest ona przez podzielenie tolerancji danej charakterystyki przez zdolność procesu (6σ). Wartość uzyskana przez podzielenie różnicy pomiędzy wartością średnią ($\bar{X}$) a nominalną przez 3σ może być wykorzystana do reprezentacji tego wskaźnika w przypadkach tolerancji jednostronnej. Wskaźnik zdolności procesu ma prawidłową wartość tylko, wtedy gdy rozkład wartości badanej charakterystyki jest normalny.

Uwaga: Jeśli charakterystyka podlega rozkładowi normalnemu, 99.74% danych leży w zakresie $\pm 3\sigma$ od średniej.

Tolerancja obustronna

$$C_p = \frac{GGS - DGS}{6\sigma}$$

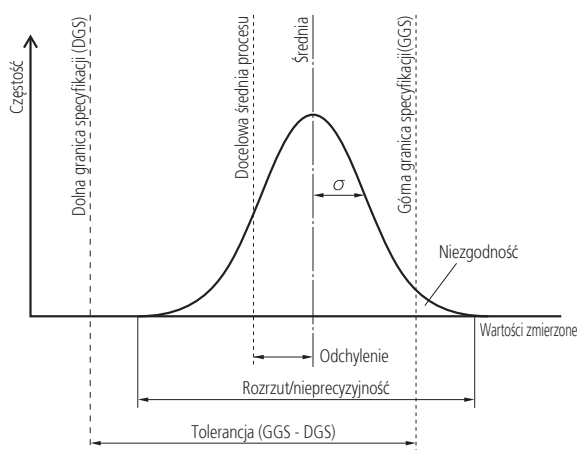
GGS: Górna granica specyfikacji
DGS: Dolna granica specyfikacji

Tolerancja jednostronna ... Dla ustalonej tylko górnej granicy specyfikacji

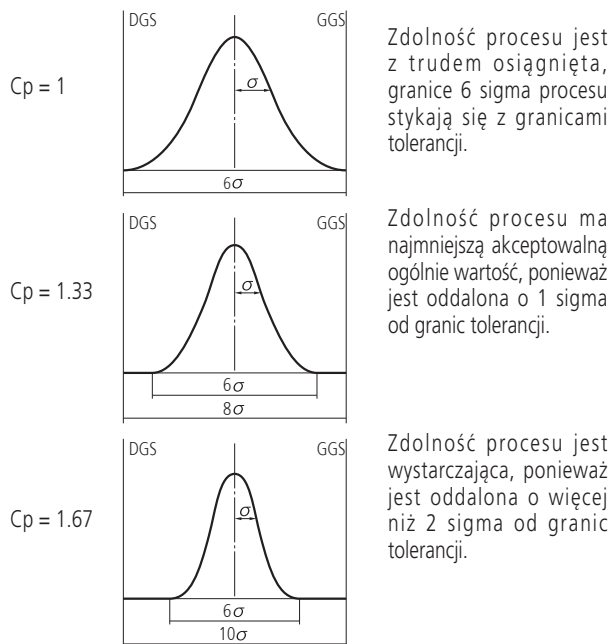
$$C_p = \frac{GGS - \bar{X}}{3\sigma}$$

Tolerancja jednostronna ... Dla ustalonej tylko dolnej granicy specyfikacji

$$C_p = \frac{\bar{X} - DGS}{3\sigma}$$



Przykłady graficznej reprezentacji wskaźnika zdolności procesu (Cp) (tolerancja obustronna)

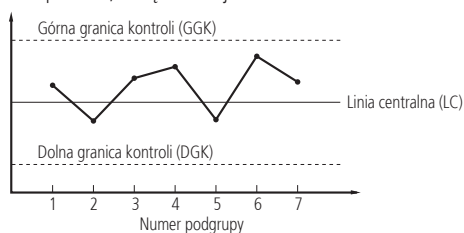


Należy zauważyć, że Cp reprezentuje jedynie zależność pomiędzy granicami tolerancji a rozrzutem procesu i nie uwzględnia położenia średniej procesu.

Uwagi: Wskaźnik zdolności procesu, który bierze pod uwagę różnicę pomiędzy średnią procesu a docelową wartością średnią nazywany jest Cpk, stanowi on iloraz górnej tolerancji (GGS minus średnia) i 3σ (połowa zdolności procesu) lub dolnej tolerancji (wartość średnia minus DGS) i 3σ , zależnie od tego, która wartość jest mniejsza.

Karta kontrolni

Wykorzystywana do kontroli procesu przez oddzielenie zmienności procesu wywołanej przyczynami losowymi od wywołanej nieprawidłowościami. Karta kontrolni składa się z linii centralnej (LC) i linii granic kontrolni racjonalnie położonymi ponad i pod linią centralną (GGK i DGK). Można powiedzieć, że proces znajduje się w stanie statystycznego uregulowania jeśli wszystkie punkty wartości charakterystyki reprezentującej proces zawarte są pomiędzy liniami górnej i dolnej granicy kontrolni bez zauważalnych trendów. Karta kontrolni stanowi użyteczne narzędzie kontroli procesu, a stąd także jakości.



Przyczyny losowe

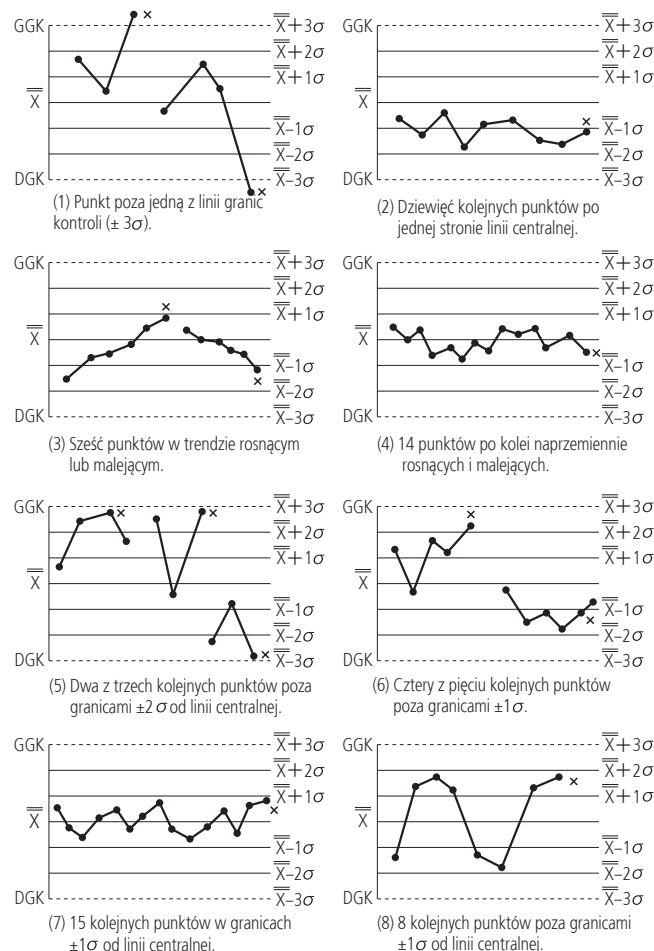
Te przyczyny zmienności mają relatywnie niewielkie znaczenie. Przyczyny losowe są technicznie i ekonomicznie niemożliwe do wyeliminowania nawet jeśli można je zidentyfikować.

Karta kontrolni $\bar{X}$ -R

Karta kontrolni wykorzystywana do kontroli procesu dostarczająca najważniejszych informacji na temat procesu. Karta $\bar{X}$ -R składa się z karty $\bar{X}$, która rejestruje średnie z podgrup, aby monitorować niepożądane odchylenie od średniej procesu oraz z karty R, która rejestruje rozstęp, by monitorować niepożądaną zmienność. Zwykle obie karty używane są razem.

Jak odczytywać karty kontrolni

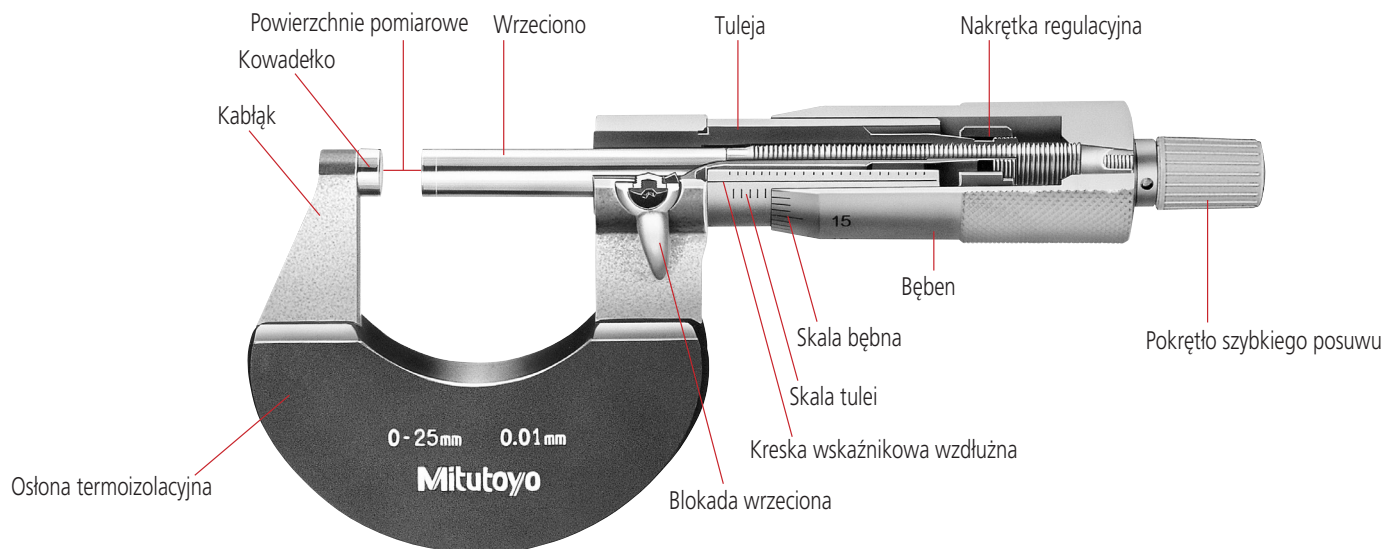
Poniżej przedstawiono typowe konfiguracje położenia kolejnych punktów uważane za niepożądane. Przyjmuje się, że występowanie takich trendów spowodowane jest wpływem 'Przyczyn specjalnych' na proces, które wymagają interwencji operatora procesu w celu ich wyeliminowania. Te reguły podejmowania działań stanowią jedynie wskazówki. Podczas tworzenia reguł podejmowania działań należy brać pod uwagę zmienność badanego procesu. Przy założeniu, że górne i dolne granice kontrolni znajdują się w odległości 3σ od linii centralnej, w celu zastosowania poniższych reguł należy podzielić kartę kontrolni na sześć stref o szerokości 1σ . Reguły te mają zastosowanie do kart kontrolni $\bar{X}$ oraz $\bar{X}$. Należy podkreślić, że 'reguły podejmowania działań' zostały sformułowane przy założeniu normalności rozkładu. Istnieje możliwość sformułowania reguł odpowiednich dla rozkładów innych typów





Nazewnictwo

Standardowy Analogowy Mikrometr Zewnętrzny

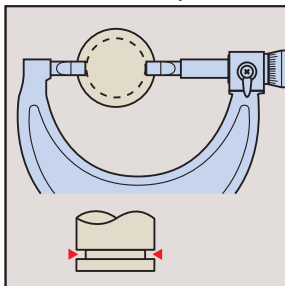


Mikrometr zewnętrzny Digimatic



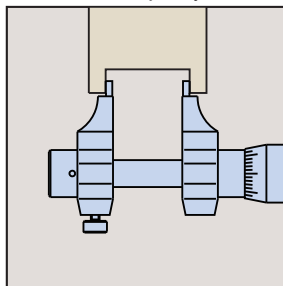
■ Przykłady zastosowań mikrometrów specjalnych

Mikrometr ostrzowy



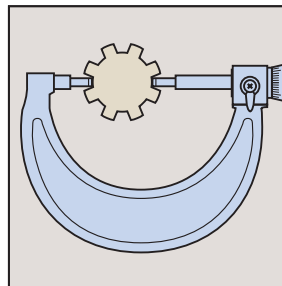
Do pomiarów średnic w wąskich rowkach

Mikrometr szczękowy



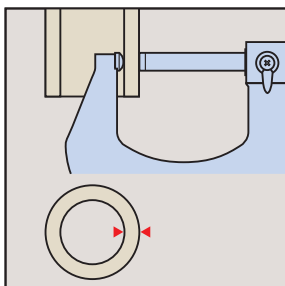
Do pomiarów małych średnic wewnętrznych i szerokości rowków

Mikrometr do wieloklinów



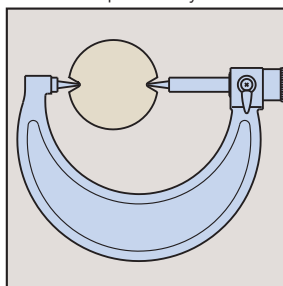
Do pomiarów średnic wałków wieloklinowych

Mikrometr do rur



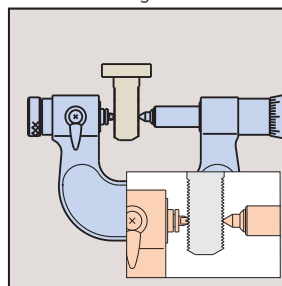
Do pomiarów grubości ścianek rur

Mikrometr punktowy



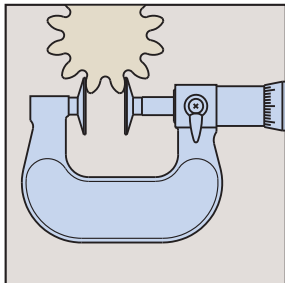
Do pomiarów średnic podstaw

Mikrometr do gwintów



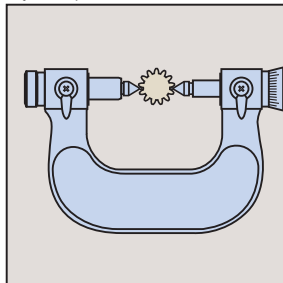
Do pomiarów efektywnych średnic gwintów

Mikrometr talerzykowy zewnętrzny



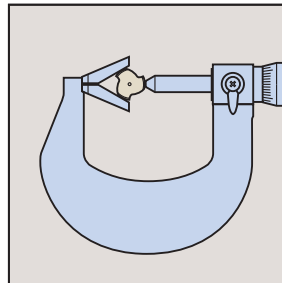
Do pomiarów długości pomiarowych kół zębatach o zębach prostych i skośnych.

Mikrometr do pomiaru grubości zębów przez kulki



Pomiary średnic kół zębatach metodą przez kulki/wałeczki

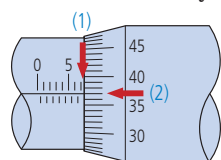
Mikrometr z kowadełkiem pryzmowym



Do pomiarów 3 i 5 ostrzowych narzędzi skrawających

Jak odczytywać wynik

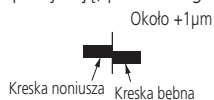
Mikrometr ze skalą standardową (podziałka: 0,01mm)



- (1) Odczyt ze skali tulei 7 mm
(2) Odczyt ze skali bębna+ 0,37 mm
Odczyt z mikrometru 7,37mm

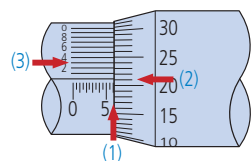
Uwaga) 0,37 mm (2) odczytano w pozycji, w której kreska wskaźnikowa pokrywa się odpowiednią działką skali bębna.

Skala bębna może być odczytywana bezpośrednio z dokładnością 0,01mm, jak wyżej, ale może mieć też szacowaną dokładność 0,001mm, gdy kreski się prawie pokrywają, ponieważ grubość kresek stanowi 1/5 odstępu między nimi.



Mikrometr ze skalą noniuszową (podziałka: 0,001mm)

Skala noniuszowa umieszczona powyżej kreski wskaźnikowej tulei umożliwia bezpośredni odczyt z dokładnością 0,001mm.

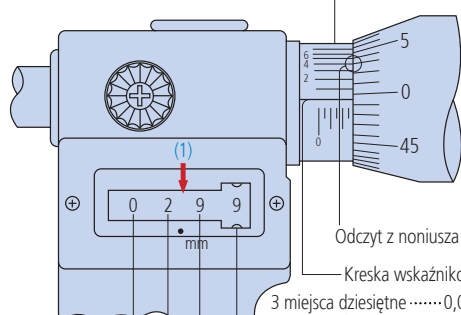


- (1) Odczyt ze skali tulei 6,000mm
(2) Odczyt ze skali bębna 0,210mm
(3) Odczyt ze skali noniusza i bębna, gdzie kreska noniusza pokrywa się kreska bębna + 0,003mm
Odczyt z mikrometru 6,213mm

Uwaga) 0,21 mm (2) odczytano w pozycji, gdzie kreska wskaźnikowa znajduje się pomiędzy dwiema działkami (w tym przypadku 21 i 22). 0,003 mm (3) odczytano w pozycji, gdzie jedna z działek noniusza pokrywa się z jedną z działek skali bębna.

Mikrometr licznikiem mechanicznym (krok licznika: 0,001mm)

Trzecie miejsce dziesiątne na skali noniusza (jednostka 0,001 mm)



Odczyt z noniusza 0,004mm (2)

Kreska wskaźnikowa wzdłużna

- 3 miejsce dziesiątne 0,004mm (2)
2 miejsce dziesiątne 0,090mm
1 miejsce dziesiątne 0,900mm (1)
Milimetry 2,000mm
+ Dziesiątki mm 00,000mm
Odczyt z licznika 2,994mm

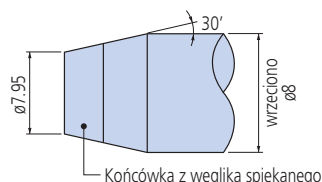
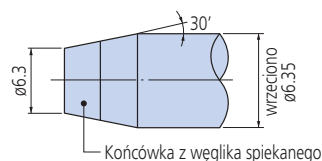
*Pokazuje cztery cyfry.

Uwaga) 0,004 mm (2) jest odczytana w pozycji, gdzie kreska podziałki noniusza pokrywa się z jedną z kresek podziałki bębna.

Urządzenie ograniczające nacisk pomiarowy

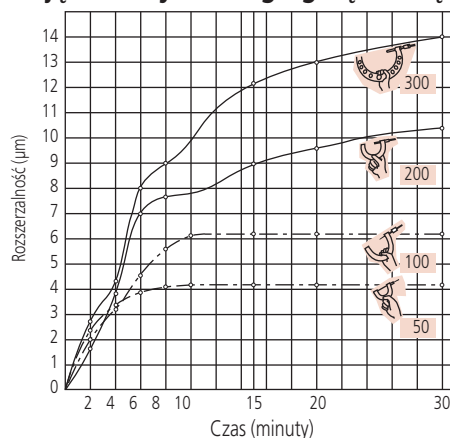
Typ	Słyszalne działanie	Operowanie jedną ręką	Uwagi
Grzechotka	Tak	Nie-odpowiedni	Słyszalne działanie grzechotki powoduje mikro wstrząsy
Bęben cierny (Typ F)	Nie	Odpowiedni	Miękkie działanie bez wstrząsów i dzięki
Bęben z grzechotką (Typ T)	Tak	Odpowiedni	Słyszalne działanie informuje o stałym nacisku pomiarowym
Bęben z grzechotką	Tak	Odpowiedni	Słyszalne działanie informuje o stałym nacisku pomiarowym

Szczegółowy wygląd powierzchni pomiarowych



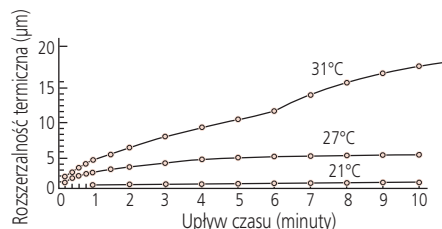
Rysunki powyżej mają jedynie znaczenie informacyjne i nie są wykonane w skali.

Rozszerzalność temperaturowa mikrometru wynikająca z trzymania go gołą dłonią



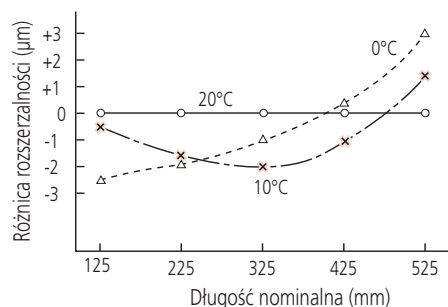
Powyższy wykres przedstawia rozszerzalność temperaturową wywołaną przeniesieniem ciepła z dłoni na kabłąk, gdy jest on trzymany gołą dłonią. Jak można się przekonać, trzymanie gołą dłonią powoduje znaczny błąd pomiaru wywołany rozszerzalnością cieplną. Jeśli mikrometr musi być trzymany gołą dłonią, należy minimalizować czas kontaktu. Założenie okładki izolacyjnej na mikrometr lub rękawiczki na dłoń może znacząco ograniczyć ten efekt. (Prosimy zauważyć, że powyższy wykres jest jedynie przykładowy.)

Rozszerzalność wzorca długości na skutek zmiany temperatury (dla sztabki 200mm przy temp. pocz. 20°C)



Powyższy, uzyskany doświadczalnie, wykres pokazuje jak w miarę upływu czasu rozszerza się wybrany wzorec długości mikrometru trzymany w dłoni w temperaturze otoczenia 20°C za jeden koniec przez różne osoby o różnej temperaturze dłoni. Pokazuje on jak ważne jest, aby nie trzymać w dłoni wzorca mikrometru podczas wzorcowania lub, że należy go trzymać w rękawiczkach lub włożonego w izolację cieplną. Podczas wykonywania pomiarów należy również pamiętać, że powrót wzorca do początkowej długości trwa. (Prosimy zauważyć, że wartości na wykresie są eksperymentalne i nie są gwarantowane.)

Różnica rozszerzalności cieplnej mikrometru i wzorca długości



Powyższy eksperyment wykonano pozostawiając mikrometr i jego wzorec w temperaturze 20°C na ok. 24 godziny dla ustabilizowania się ich temperatur i ustawiając punkt początkowy na wzorcu. Następnie mikrometr wraz ze wzorcem pozostawiono w temperaturach 0°C i 10°C na taki sam czas, po upływie którego sprawdzono przesunięcie punktu początkowego. Powyższy wykres pokazuje wyniki dla różnych wzorców o wymiarach 125-525 mm w każdej z temperatur. Wykres pokazuje, że zarówno mikrometr jak i jego wzorec muszą być pozostawione w tym samym miejscu co najmniej na kilka godzin przed ustawieniem punktu początkowego. (Wartości na wykresie są eksperymentalne i nie są gwarantowane.)

Efekt zmiany sposobu zamocowania i orientacji

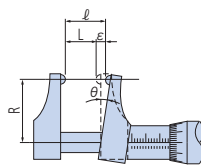
(Jednostka: μm)

Zmiana metody mocowania i/lub orientacji mikrometru po zerowaniu wpływa na wyniki późniejszych pomiarów. Tabele poniżej pokazują spodziewane błędy pomiaru w trzech różnych przypadkach po wyzerowaniu mikrometrów przy podparciu od spodu i w środku. Rzeczywiste wyniki pokazują, że najlepiej jest zerować i mierzyć w tym samym położeniu i w tym samym mocowaniu.

Sposób mocowania	Podparcie od spodu i w środku	Podparcie tylko w środku
Ustawienie		
Maks. mierzona długość (mm)		
325	0	-5.5
425	0	-2.5
525	0	-5.5
625	0	-11.0
725	0	-9.5
825	0	-18.0
925	0	-22.5
1025	0	-26.0

Sposób mocowania	Podparcie w środku w orientacji poziomej	Trzymanie w dłoni skierowanego do dołu
Ustawienie		
Maks. mierzona długość (mm)		
325	+1.5	-4.5
425	+2.0	-10.5
525	-4.5	-10.0
625	0	-5.5
725	-9.5	-19.0
825	-5.0	-35.0
925	-14.0	-27.0
1025	-5.0	-40.0

Postulat Abbego



Postulat Abbego mówi, że "maksymalna dokładność jest uzyskiwana, gdy oś przyrządu i oś pomiaru są wspólne". Jakakolwiek zmiana kąta (θ) ruchomej szczęki przyrządu, takiego jak na przykład mikrometr szczękowy, wywołuje przemieszczenie, które nie jest mierzone na skali przyrządu i stanowi błąd Abbego ($\varepsilon = l - L$ na rysunku).

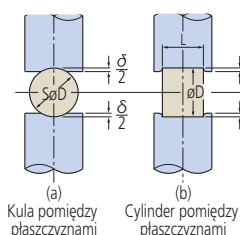
Prostoliniowość wrzeciona, luz prowadnicy wrzeciona lub zmiany siły nacisku mogą powodować zmianę kąta (θ) powiększającą ten błąd wraz ze wzrostem R.

Prawo Hooke'a

Prawo Hooke'a mówi, że odkształcenie materiału elastycznego jest proporcjonalne do naprężenia wywołującego to odkształcenie, przy założeniu że pozostaje ono w zakresie odkształceń sprężystych.

Wzory Hertza

Wzory Hertza podają widoczną redukcję średnicy kul i walców spowodowaną sprężystym ścisnaniem powierzchni płaskimi przy pomiarze. Wzory te przydatne są do wyznaczania deformacji mierzonych przedmiotów spowodowanych naciskiem pomiarowym w punkcie i na linii kontaktu.



Przy założeniu określonych jednostek i stali jako materiału:

Moduł sprężystości: $E = 205 \text{ GPa}$

Wielkość deformacji: δ (μm)

Średnica kuli lub walca: D (mm)

Długość walca: L (mm)

Nacisk pomiarowy: P (N)

a) Widoczne zmniejszenie średnicy kuli

$\delta_1 = 0,82 \sqrt{P/D}$

b) Widoczne zmniejszenie średnicy walca

$\delta_2 = 0,094 \cdot P/L \sqrt{1/D}$

Pomiar średnicy podziałowej gwintu

Metoda trójwałeczkowa

Średnicę podziałową gwintu można mierzyć metodą trzech wałeczków zgodnie z rysunkiem poniżej.

Oblicz średnicę podziałową (E) przy wykorzystaniu równań (1) i (2).

Gwint metryczny lub zunifikowany (60°)

$$E = M - 3d + 0,866025P \quad \dots\dots(1)$$

Gwint Whitwortha (55°)

$$E = M - 3,16568d + 0,960491P \quad \dots\dots(2)$$

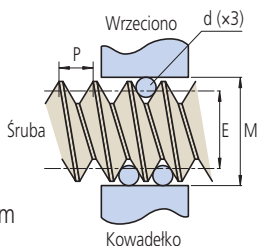
d = Średnica wałeczka

E = Średnica podziałowa gwintu

M = Odczyt z mikrometru z uwzględnieniem trzech wałeczków

P = Podziałka gwintu

(W przypadku gwintów zunifikowanych należy przeliczyć cale na mm.)



Typ gwintu	Optimalny rozmiar wałeczka
Gwint metryczny lub zunifikowany (60°)	0.577P
Gwint Whitwortha (55°)	0.564P

Główne źródła błędów metody trójwałeczkowej

Przyczyna błędu	Działania eliminujące błędy	Możliwy błąd	Błąd, którego nie można wyeliminować
Błąd podziałki (przedmiot mierzony)	1. Korekta błędu podziałki ($\delta p = \delta E$) 2. Pomiar w kilku punktach i zastosowanie średniej. 3. Redukcja błędów pojedynczych podziałek.	$\pm 18 \mu m$ przy założeniu, że błąd podziałki wynosi 0,02 mm.	$\pm 3 \mu m$
Błąd półkąta (przedmiot mierzony)	1. Użycie wałeczka o optymalnej średnicy. 2. Żadna korekta nie jest wymagana.	$\pm 0.3 \mu m$	$\pm 0.3 \mu m$
Różnica kowadełek	1. Użycie wałeczka o optymalnej średnicy. 2. Użycie wałeczka o średnicy zbliżonej do średnicy po stronie jednego wałeczka.	$\pm 8 \mu m$	$\pm 1 \mu m$
Błąd od średnicy wałeczka	1. Pomiar z predefiniowanym, odpowiednim dla podziałki naciskiem. 2. Użycie predefiniowanej szerokości krawędzi pomiarowej. 3. Pomiar ze stabilnym naciskiem pom.	$-3 \mu m$	$-1 \mu m$
Błąd sumaryczny		W najgorszym przypadku +20 μm -35 μm	Przy starannym pomiarze +3 μm -5 μm

Metoda jednowałeczkowa

Średnica podziałowa frezu o nieparzystej liczbie ostrzy może być mierzona metodą jednego wałeczka przy użyciu mikrometru z kowadełkiem pryzmowym. Należy zmierzyć wartość M_1 i obliczyć M ze wzoru (3) lub (4).

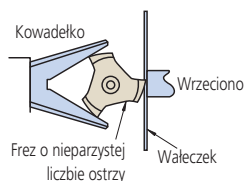
M_1 = Odczyt z mikrometru przy pomiarze metodą jednowałeczkową

D = Średnica frezu o nieparzystej liczbie ostrzy

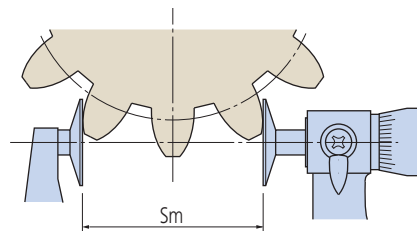
$$\text{Frez z trzema ostrzami} : M = 3M_1 - 2D \quad \dots\dots(3)$$

$$\text{Frez z pięcioma ostrzami} : M = 2,2360M_1 - 1,23606D \quad \dots\dots(4)$$

Następnie należy obliczyć wartość średnicy podziałowej wprowadzając wartość M do równania (1) lub (2).



Długość pomiarowa koła zębatego



Wzór do obliczenia długości pomiarowej koła zębatego (S_m):

$$S_m = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Z_m - 0,5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2Xm \sin \alpha_0$$

Wzór do obliczenia liczby zębów na długości pomiarowej (Z_m):

$$Z_m' = Z \cdot K(f) + 0,5 \quad (Z_m \text{ jest liczbą całkowitą najbliższą } Z_m')$$

$$\text{gdzie } K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1 + 2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$$

$$\text{oraz } f = \frac{X}{Z}$$

m: Moduł

α_0 : Kąt przyporu

Z: Liczba zębów

X: Współczynnik przesunięcia zarysu

S_m : Długość pomiarowa koła

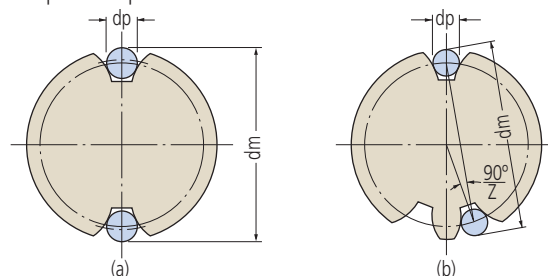
Z_m : Liczba zębów na długości pomiarowej

$$\operatorname{inv} 20^\circ \approx 0.014904$$

$$\operatorname{inv} 14.5^\circ \approx 0.0055448$$

Pomiary kół zębatych

Metoda pomiaru przez wałeczki



Dla kół o parzystej liczbie zębów:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos \varnothing} = dp + \frac{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \varnothing}$$

Dla kół o nieparzystej liczbie zębów:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos \varnothing} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{Z} \right) = dp + \frac{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \varnothing} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{Z} \right)$$

jednakże

$$\operatorname{inv} \varnothing = \frac{dp}{dg} - \frac{X}{Z} = \frac{dp}{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2Z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{Z} \cdot X$$

$\varnothing$ ($\operatorname{inv} \varnothing$) należy odczytać z tabeli funkcji ewolwenty.

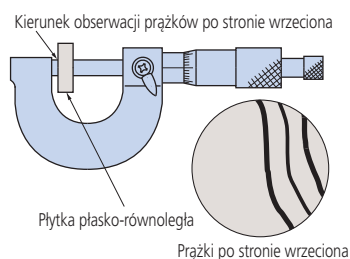
Z: Liczba zębów

α_0 : Kąt przyporu zębów

m: Moduł

X: Współczynnik przesunięcia zarysu

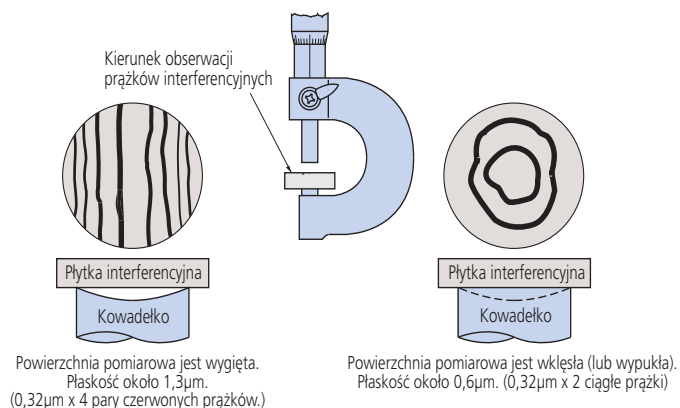
■ Sprawdzanie równoległości powierzchni pomiarowych mikrometru



Równoległość powierzchni pomiarowych mikrometru można ocenić przy użyciu płasko-równoległej płytki interferencyjnej umieszczonej pomiędzy nimi. Najpierw należy przyłożyć płytkę płasko-równoległą do powierzchni kowadełka, a następnie dosunąć do niej wrzeciono ze standardowym naciskiem pomiarowym. Teraz należy policzyć czerwone prążki interferencyjne widoczne w świetle białym na powierzchni pomiarowej wrzeciona. Każdy prążek reprezentuje różnicę wysokości równą połowie długości fali ($0,32\mu\text{m}$ dla czerwonych prążków). Na rysunku powyżej odchyłka równoległości wynosząca w przybliżeniu $1\mu\text{m}$ została uzyskana przez pomnożenie $0,32\mu\text{m} \times 3 = 0,96\mu\text{m}$.

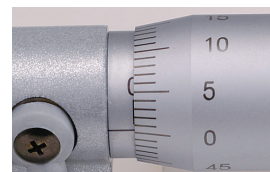
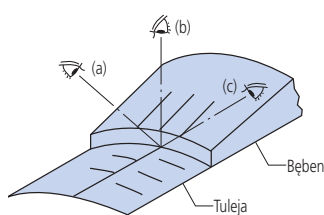
■ Sprawdzanie płaskości powierzchni pomiarowych mikrometru

Płaskość powierzchni pomiarowej można oszacować przy użyciu płytki interferencyjnej płaskiej (lub płasko-równoległej) przyłożonej do badanej powierzchni. Należy policzyć czerwone prążki interferencyjne widoczne w świetle białym na badanej powierzchni pomiarowej. Każdy prążek reprezentuje różnicę wysokości równą połowie długości fali ($0,32\mu\text{m}$ w przypadku czerwonych prążków).

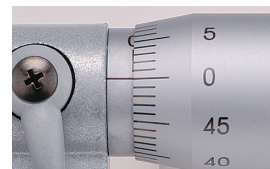


■ Ogólne uwagi do użytkowania mikrometru

1. Podczas doboru modelu do danego zadania pomiarowego należy dokładnie sprawdzić typ, zakres pomiarowy, dokładność i inne parametry.
2. Należy pozostawić mikrometr i mierzony przedmiot w tym samym miejscu na czas potrzebny do wyrównania się ich temperatur przed pomiarem.
3. Należy patrzeć prostopadłe na kreskę wskaźnikową podczas odczytu ze skali wrzeciona. Jeśli na kreski podziałki będzie się patrzeć pod kątem, nie będzie można zaobserwować poprawnie zrównania się kresek ze względu na błąd paralaksy.



(a) Powyżej linii wzdłużnej

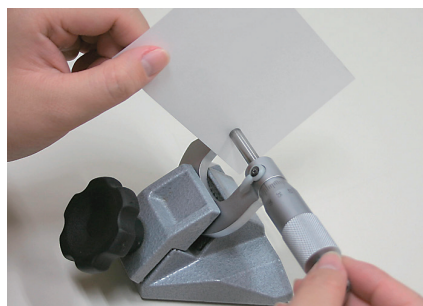


(b) Prostopadle do linii wzdłużnej

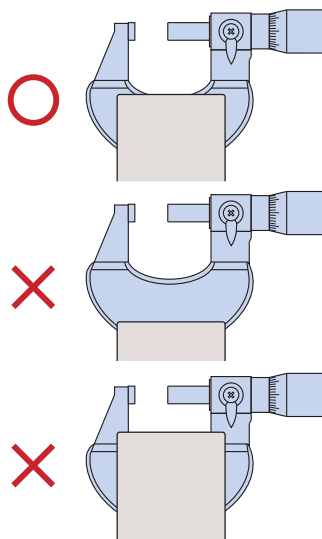


(c) Poniżej linii wzdłużnej

4. Przed pomiarem należy wytrzeć powierzchnie pomiarowe kowadełka i wrzeciona papierem bezkłaczkowym zaciśniętym w pozycji zerowania.



5. W ramach codziennego utrzymania należy czyścić powierzchnię boczną i pomiarową wrzeciona z pyłu, okruchów materiału i innych pozostałości. Dodatkowo, za pomocą suchej ściereczki należy usunąć ze wszystkich pozostałych części przyrządu wszelkie plamy, ślady rdzy i odciski palców.
6. Należy poprawnie używać sprzęgła w celu zapewnienia właściwego nacisku pomiarowego podczas pomiarów.
7. Mocując mikrometr na statywie, statyw powinien być zaciśnięty na środku kabłąka mikrometru. Nie należy zaciskać szczęk statywu zbyt mocno.



8. Należy uważać, aby nie upuścić ani niczym nie uderzyć mikrometru. Nie należy używać zbyt dużej siły przy obracaniu bębna wrzeciona. Jeśli istnieje podejrzenie, że mikrometr mógł zostać uszkodzony na skutek niewłaściwego użytkowania, przed użyciem należy upewnić się, że został on sprawdzony pod względem dokładności.
9. Po długim okresie przechowywania lub jeśli nie widać na nim warstwy ochronnego oleju, należy pokryć mikrometr niewielką ilością oleju przeciwdziałającego korozji poprzez przetarcie go ściereczką nasączoną tym olejem.
10. Uwagi do przechowywania:
Unikać przechowywania mikrometru w miejscu, gdzie jest on wystawiony na bezpośrednie działanie światła słonecznego.
Przechowywać mikrometr w dobrze wentylowanym pomieszczeniu o niskiej wilgotności.
Przechowywać mikrometr w miejscu o niskim zapyleniu.
Przechowywać mikrometr w etui lub innym opakowaniu, które nie będzie leżało na podłodze.
Przechowując mikrometr należy zawsze zostawiać przerwę od 0,1 do 1 mm pomiędzy powierzchniami pomiarowymi.
Nie przechowywać mikrometru z stanie zaciśniętym.

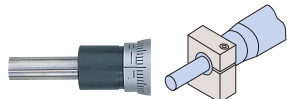


Kryteria wyboru

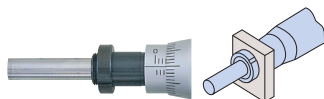
Kluczowe czynniki przy wyborze głowicy mikrometrycznej stanowią: zakres pomiarowy, powierzchnia pomiarowa wrzeciona, wrzeciono, skala, średnica bębna itd.

Tuleja

Tuleja gładka



Tuleja z nakrętką



- Tuleje montażowe głowic mikrometrycznych dzielą się na "gładkie" i "z nakrętką", jak na ilustracji powyżej. Średnice tulei wytwarzane są w pasowaniu h6 dla średnic metrycznych i calowych.
- Tuleja z nakrętką umożliwia szybkie i bezpieczne mocowanie głowicy. Zaletą tulei gładkiej jest szerszy zakres zastosowań oraz możliwość niewielkiej zmiany pozycji w kierunku osi w ostatniej fazie instalacji, mimo iż takie mocowanie wymaga zastosowania uchwyty ze szczeliną lub kleju.
- Uchwyty montażowe ogólnego stosowania dostępne są jako wyposażenie opcjonalne.

Powierzchnia pomiarowa



Płaska



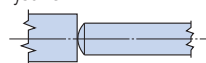
Sferyczna



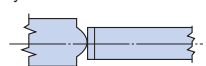
Z końcówką anty obrotową

- Płaska powierzchnia pomiarowa jest często wybierana jeśli głowica ma być wykorzystana do celów pomiarowych.
- Gdy głowica wykorzystywana jest jako przyrząd ustalający pozycję, kulista końcówka minimalizuje błędy związane z niedokładnym ustawieniem (Rysunek A). Można to osiągnąć również wykorzystując głowicę z płaską powierzchnią pomiarową jeśli wrzeciono ma popychać element sferyczny, taki jak na przykład kulka z węgla spiekane (Rysunek B).
- W przypadku, gdy oddziaływanie na mierzony przedmiot obracającą się powierzchnią jest niedozwolone można wykorzystać głowicę o nieobrotowym wrzecionie lub z nieobrotową końcówką (Rysunek C).

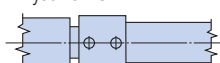
Rysunek A



Rysunek B



Rysunek C



Wrzeciono nieobrotowe

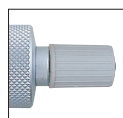
- Głowica z nieobrotowym wrzecionem nie wywiera nacisku skrętnego na przedmiot, co może mieć istotne znaczenie w niektórych zastosowaniach.

Skok gwintu wrzeciona

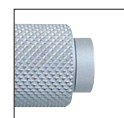
- Głowica standardowa ma gwint o skoku 0,5mm.
- Typ o skoku 1mm: szybszy do ustawiania niż standardowy i nie daje możliwości popełnienia błędu pominięcia 0,5mm przy odczycie. Wysoka obciążalność dzięki większym zwojom gwintu.
- Typ o skoku 0,25mm lub 0,1mm
Głowica tego typu jest najlepsza do zastosowań, gdzie wymagany jest dokładny posuw lub dokładne pozycjonowanie.

Sprzęgło

- Do zastosowań pomiarowych zalecana jest głowica wyposażona w zapewniające stały nacisk sprzęgło (grzechotka lub sprzęgło cierne).
- Jeśli głowica ma być używana do blokowania położenia lub priorytetem jest oszczędność miejsca, najlepszy wybór stanowi może głowica bez sprzęgła.



Głowica mikrometryczna ze sprzęgłem



Głowica mikrometryczna bez sprzęgła (brak pokrętki grzechotki)

Blokada wrzeciona

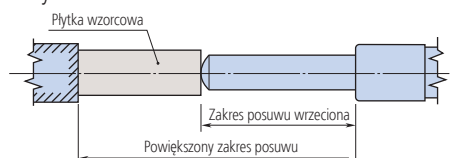
- Jeśli głowica ma być wykorzystywana do ustalania położenia, korzystne jest stosowanie głowicy wyposażonej w blokadę wrzeciona, przeciwdziałającą zmianie pozycji nawet pod wpływem dużych obciążeń.



Zakres pomiarowy (Posuw)

- Przy wyborze zakresu pomiarowego dla głowicy mikrometrycznej, należy wziąć pod uwagę odpowiedni margines zakresu pomiarowego. Standardowe głowice mikrometryczne dostępne są w 6 zakresach pomiarowych od 5 do 50mm.
- Nawet jeśli wymagany zakres pomiarowy jest niewielki, jak 2mm do 3mm, opłacalnym ekonomicznie wyborem będzie model o posuwie 25mm, jeśli tylko dysponuje się wystarczającą przestrzenią dla instalacji.
- Jeśli wymagany jest posuw większy niż 50mm, zastosowanie płytek wzorcowych może zwiększyć efektywny zakres pomiarowy. (Rysunek D)

Rysunek D



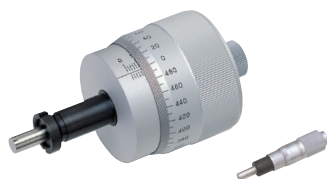
- Na rysunku powyżej, koniec zakresu (element oporowy) wrzeciona oznaczony jest kreskowaniem. Przy planowaniu położenia elementu oporowego należy założyć, że wrzeciono przemieszczać się będzie do położenia oznaczonego linią kreskowaną.

Aplikacje z ultra dokładnym posuwem

- Dla zastosowań, jako element pozycjonujący dostępne są dedykowane głowice mikrometryczne o ultra dokładnym posuwie wrzeciona.

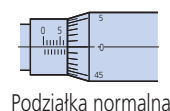
■ Średnica bębna

- Średnica bębna ma znaczący wpływ na właściwości użytkowe i "dokładność" pozycjonowania. Mała średnica bębna pozwala na szybkie pozycjonowanie, podczas gdy duża średnica umożliwia dokładne pozycjonowanie i łatwy odczyt ze skali. Niektóre modele łączą zalety obu cech poprzez doposażenie głowicy z dużym bębnem w pokrętko szybkiego posuwu.

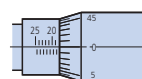


■ Rodzaje podziałek

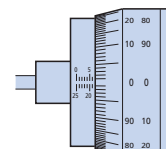
- Należy zachować ostrożność przy odczycie z analogowej głowicy mikrometrycznej, zwłaszcza jeśli użytkownik nie zna danego modelu.
- Standardowy rodzaj podziałki to "podziałka normalna", taki sam jak w przypadku mikrometrów zewnętrznych. Przy tego rodzaju skali wartość odczytu wzrasta w miarę jak końcówka wrzeciona zbliża się do korpusu.
- Odwrotnie jest w przypadku "podziałki odwróconej", odczyty rosną w miarę jak końcówka wrzeciona wysuwa się z korpusu.
- "Podziałka dwukierunkowa" ma na celu ułatwienie pomiaru w dowolnym z obu kierunków poprzez wykorzystanie czarnych cyfr do odczytu w kierunku normalnym i czerwonych do odczytu w kierunku odwrotnym.
- Dostępne są również głowice mikrometryczne z mechanicznym lub elektronicznym odczytem cyfrowym. Głowice tego typu są wolne od błędów odczytu. Kolejną zaletą elektronicznych głowic cyfrowych jest możliwość rejestrowania i obróbki statystycznej wyników na komputerze.



Podziałka normalna



Podziałka odwrócona

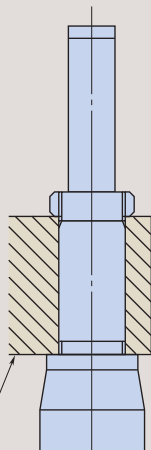
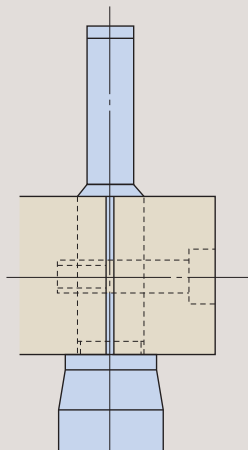
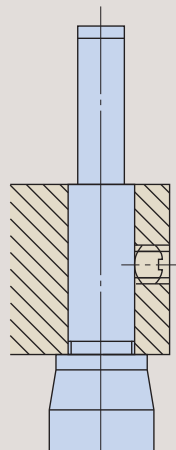


Podziałka dwukierunkowa

■ Zalecenia dla uchwytów własnej produkcji

Głowica mikrometryczna powinna być mocowana tuleją chwytową w dokładnie obrobionym otworze w taki sposób, aby nie wywierać zbyt dużego nacisku na tuleję. Typowe sposoby mocowania przedstawiono na rysunku poniżej. Sposób nr 3 nie jest zalecany. Jeśli to tylko możliwe należy stosować mocowanie (1) lub (2).

(Jednostka: mm)

Sposób mocowania	(1) Z nakrętką zaciskową				(2) Zacisk ze szczeliny				(3) Zacisk ze śrubą dociskową			
												
O czym należy pamiętać												
Średnica tulei chwytowej	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18
Pasowanie otworu montażowego	G7 +0,005 do +0,020		G7 +0,006 do +0,024		G7 +0,005 do +0,020		G7 +0,006 do +0,024		H5 0 do +0,006		H5 0 do +0,008	
Zalecenia	Zadbać o to, by powierzchnia A była prostopadła do osi otworu montażowego. Odchyłka prostopadłości powinna być mniejsza niż 0,16/6,5.				Usunąć wszelkie wióry z krawędzi otworu montażowego poprzez fazowanie.				Właściwy rozmiar śruby dociskowej to M3x0,5 lub M4x0,7. Stosować mosiężną podkładkę pod śrubę (jeśli grubość uchwytu na to pozwala), aby uniknąć uszkodzenia tulei.			

■ Maksymalna obciążalność głowic mikrometrycznych

Maksymalna obciążalność głowic mikrometrycznych zależy głównie od sposobu ich mocowania oraz czy obciążenie ma charakter statyczny czy dynamiczny (stosowanie do blokowania położenia). Z tego względu nie można ostatecznie określić maksymalnego dopuszczalnego obciążenia każdego modelu. Maksymalne obciążenia zalecane przez Mitutoyo (dla mniej niż 100 000 obrotów przy wykorzystaniu do pomiarów w zakresie dokładności) oraz wyniki testów obciążeń statycznych małych głowic mikrometrycznych zamieszczono w poniższej tabeli.

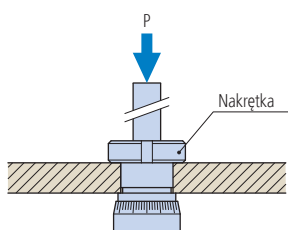
1. Zalecane obciążenie maksymalne

		Maksymalne obciążenie
Typ standardowy	Skok gwintu wrzeciona: 0,5mm	Do około 39,227N / 4kgf *
	Skok gwintu wrzeciona: 0,1mm/0,25mm	Do około 19,613N / 2kgf
Typ o wysokiej funkcjonalności	Skok gwintu wrzeciona: 0,5mm	Do około 39,227N / 4kgf
	Skok gwintu wrzeciona: 1,0mm	Do około 58,840N / 6kgf
	Wrzeciono nieobrotowe	Do około 19,613N / 2kgf
	Seria 110 typ z mikro posuwem (z mechanizmem różnicowym)	Do około 19,613N / 2kgf

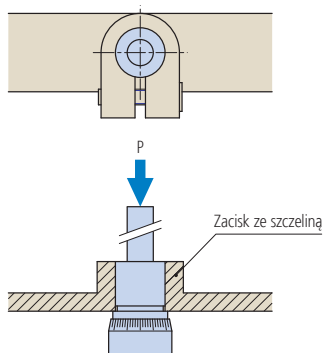
* Do około **19,613N** / 2kgf tylko dla ultra małych modeli

2. Badanie obciążenia statycznego głowic mikrometrycznych (do testu użyto 148-104 / 148-103)

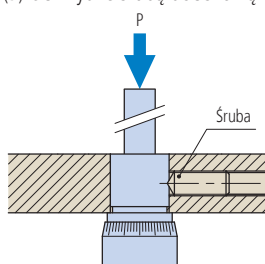
(1) Nakrętka zaciskowa



(2) Zacisk ze szczeliną



(3) Uchwyt ze śrubą dociskową



Metoda badania

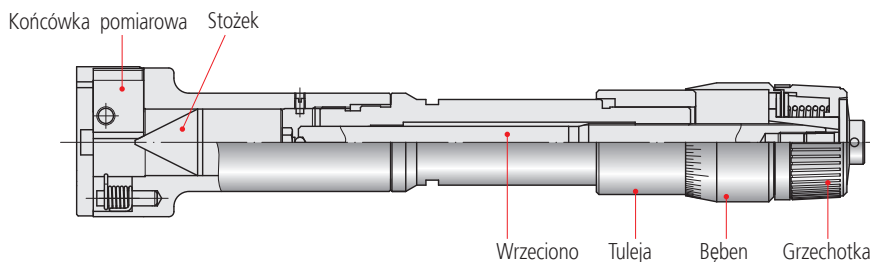
Przy zamocowaniu głowic jak na rysunkach obok mierzona była siła w kierunku P, przy której głowica ulegała zniszczeniu lub wypadała z zamocowania. (Zakres dokładności nie był brany pod uwagę podczas badania)

Sposób mocowania	Obciążenie niszczące / zrywające*
(1) Nakrętka	Uszkodzenie głowicy następowało przy 8,63 do 9,8kN (880-1000kgf).
(2) Zacisk ze szczeliną	Głowica była wypychana z uchwytu przy 0,69 do 0,98kN (70-100kgf).
(3) Zacisk ze śrubą	Uszkodzenie śruby występowało przy 0,69 do 1,08kN (70-110kgf).

* Podane wartości obciążeń powinny być traktowane jako przybliżone.



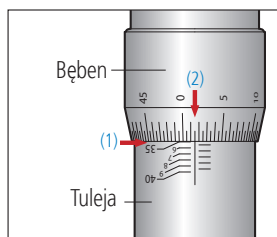
Nazewnictwo



Jak odczytywać wynik

Podziałka 0,005mm

(1) Tuleja	35 mm
(2) Bęben	0,015 mm
Odczyt	35,015 mm

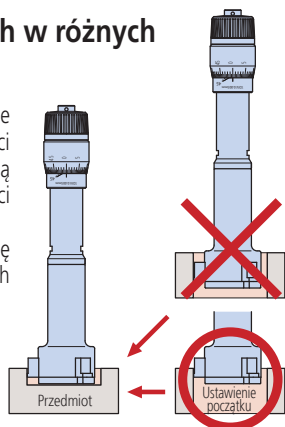


Zmiany wartości mierzonych w różnych punktach pomiarowych

Przy pomiarach średnicówką typu Holtest, ze względu na konstrukcję mechanizmu, wartości mierzone końcem końcówki pomiarowej różnią się od tych mierzonych na pozostałej długości końcówki.

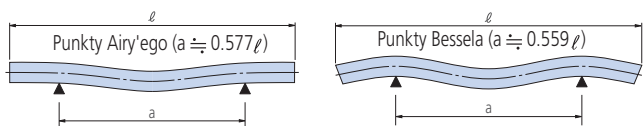
Przed pomiarem należy przeprowadzić regulację punktu początkowego pomiaru w tych samych warunkach.

Przy pomiarze końcami końcówek pomiarowych należy wyregulować punkt początkowy dla pomiaru końcami.



Punkty Airy'ego i Bessela

Gdy wzorec długości lub średnicówka dwupunktowa leży poziomo, podparta w dwóch punktach wygina się pod własnym ciężarem do kształtu zależnego od rozstawu tych punktów. Istnieją takie dwie, pokazane poniżej odległości, które kontrolują to odkształcenie w użyteczny sposób.



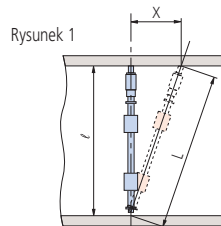
Końcówki wzorca długości (lub średnicówki) mogą być dokładnie prostopadłe do osi, jeśli podpory są rozstawione symetrycznie jak na rysunku po lewej. Te punkty podparcia znane są jako 'Punkty Airy'ego' i są powszechnie wykorzystywane dla zapewnienia równoległości obu końców

Minimalizację zmiany długości płytki (lub średnicówki) na skutek wygięcia uzyskuje się poprzez wykorzystanie rozstawionych symetrycznie punktów podparcia, jak na rysunku po prawej. Te punkty nazywane są 'Punktami Bessela' i stosowane są dla długich średnicówek mikrometrycznych.

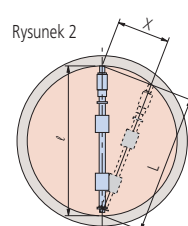
Błąd pomiaru związany ze zmianami temperatury mikrometru

Aby wyeliminować jakiegokolwiek błędy związane z różnicą temperatur mikrometru i mierzonego przedmiotu należy ograniczyć przenoszenie ciepła ciała operatora na mikrometr. Jeśli podczas pomiaru mikrometr ma być trzymany w dłoni, należy używać rękawiczek lub okładki termoizolacyjnej.

Błędy pozycjonowania

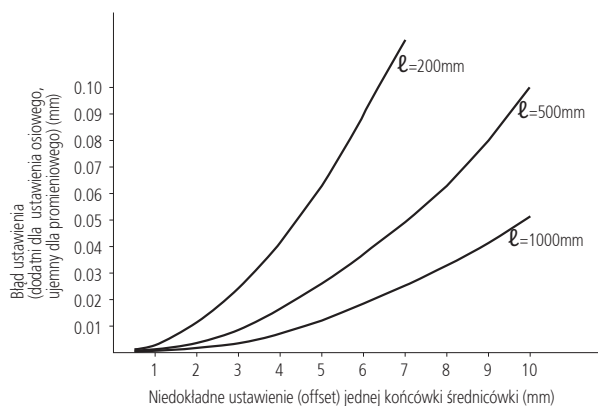


l : Średnica wewnętrzna do zmiernienia
 L : Długość mierzona z offsetem osiowym X
 X : Niedokładność ustawienia w osi
 Δl : Błąd pomiaru
 Δl : $L - l = \sqrt{L^2 - X^2} - l$



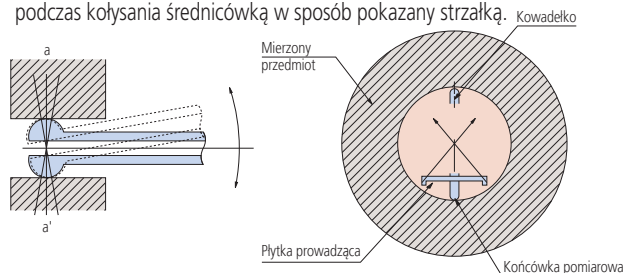
l : Średnica wewnętrzna do zmiernienia
 L : Długość mierzona z offsetem promieniowym X
 X : Niedokładność ustawienia na promieniu
 Δl : Błąd pomiaru
 Δl : $L - l = \sqrt{l^2 - X^2} - l$

Jeśli średnicówka mikrometryczna jest podczas pomiaru ustawiona niedokładnie o odległość X na promieniu i na osi, jak na rysunku 1 i 2, to pomiar będzie obciążony błędem w sposób przedstawiony na wykresie poniżej (krzywe opisuje równanie umieszczone powyżej). Błąd ma wartość dodatnią przy niedokładnym ustawieniu w osi, a ujemną przy niedokładnym ustawieniu na promieniu.



Średnicówki czujnikowe

● Średnicówki czujnikowe Mitutoyo do pomiaru małych otworów posiadają końcówki o dużej krzywiźnie, umożliwiającą łatwe pozycjonowanie podczas pomiaru średnicy rzeczywistej (w kierunku $a-a'$) otworu. Rzeczywista średnica stanowi minimalne wskazanie zaobserwowane na czujniku zegarowym podczas kołysania średnicówką w sposób pokazany strzałką.

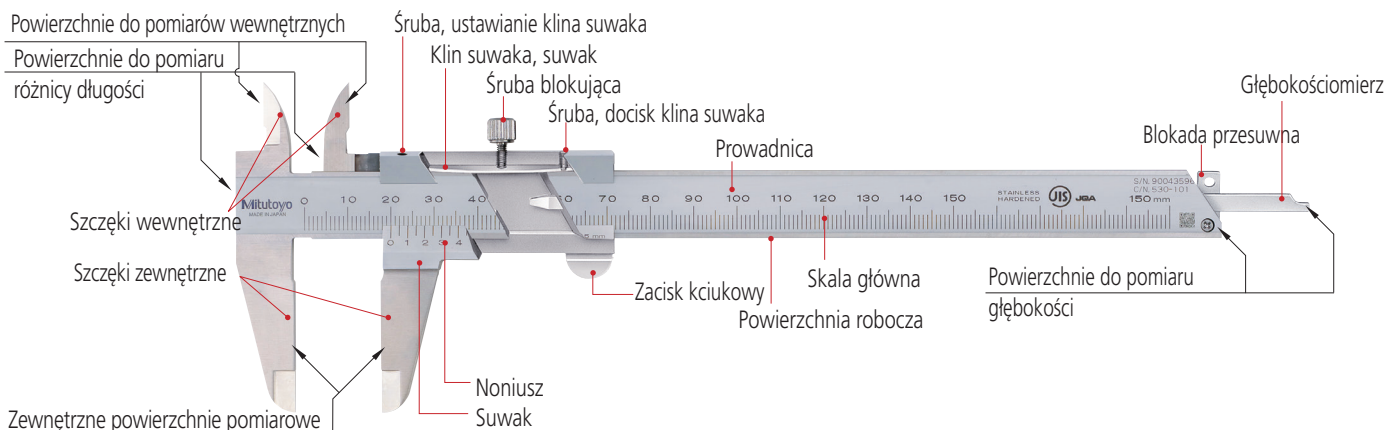


● Zawieszona na sprężynie płytka prowadząca dwupunktowej średnicówki czujnikowej Mitutoyo zapewnia automatyczne ustawienie na promieniu, dzięki czemu wymagane jest jedynie znalezienie odczytu minimalnego (średnicy rzeczywistej) poprzez wykonywanie ruchów kołyszących w osi.

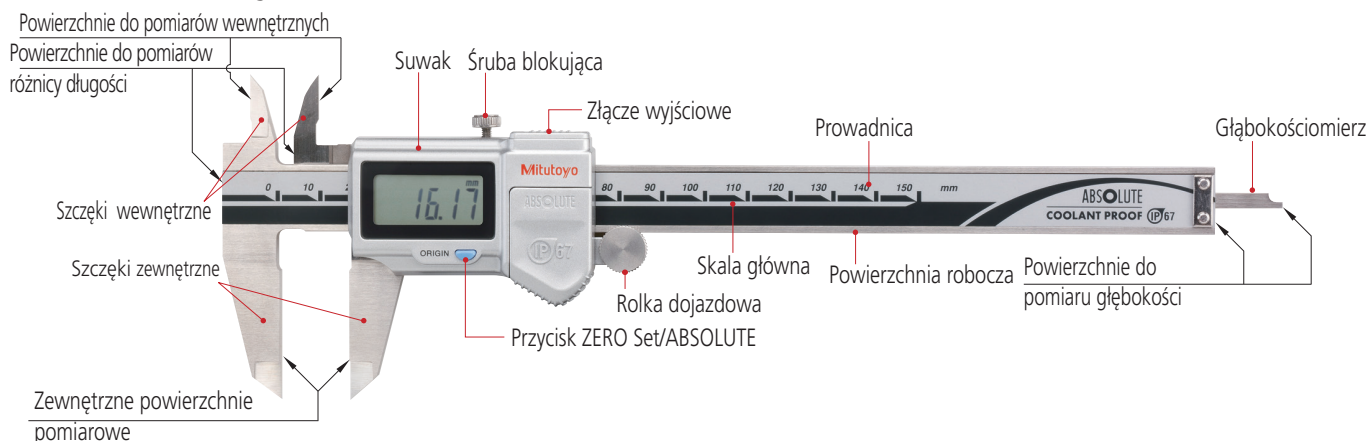


Nazewnictwo

Suwmiarka noniuszowa



Suwmiarka Absolute Digimatic



Jak odczytywać wyniki

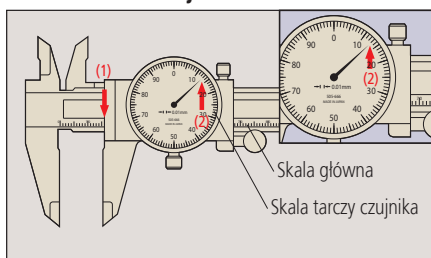
Suwmiarki noniuszowe



Podziałka 0,05mm

(1) Odczyt ze skali głównej	4,00 mm
(2) Odczyt ze skali noniusza	0,75 mm
Odczyt z suwmiarki	4,75 mm

Suwmiarki czujnikowe



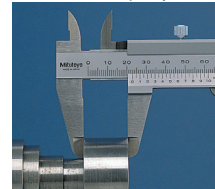
Podziałka 0,01mm

(1) Odczyt ze skali głównej	16 mm
(2) Odczyt z tarczy czujnika	0,13 mm
Odczyt z suwmiarki czujnikowej	16,13 mm

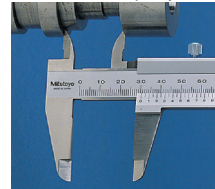
Uwaga) Pozostałe 0,75 mm (2) jest odczytywane w pozycji, gdzie kreska podziałki głównej pokrywa się z kreską noniusza.

Przykłady pomiarów

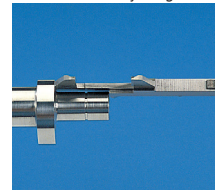
1. Pomiar zewnętrzny



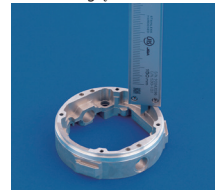
2. Pomiar wewnętrzny



3. Pomiar różnicy długości

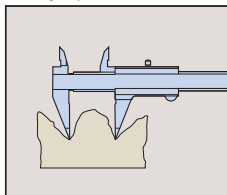


4. Pomiar głębokości



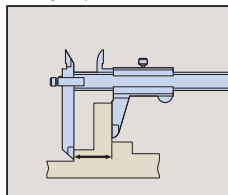
Przykłady stosowania suwmiarek specjalnych

Szczęki punktowe



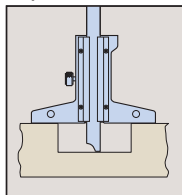
Po pomiarów nierównych powierzchni

Szczęka przesuwna



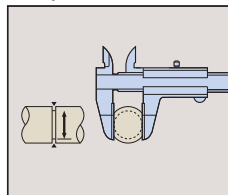
Do pomiarów odległości powierzchni przesuniętych

Głębokościomierz



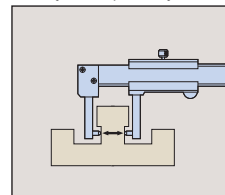
Do pomiarów głębokości

Szczęki ostrzowe



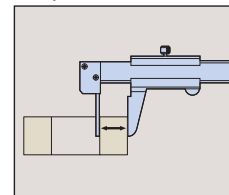
Do pomiarów średnic w wąskich rowkach

Szczęki do podcięć



Do pomiarów średnic zewnętrznych powierzchni odsadzonych

Szczęki do rur



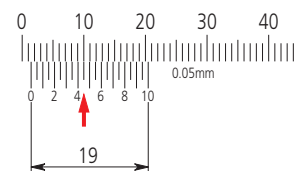
Do pomiarów grubości ścianek rur

■ Typy noniuszy

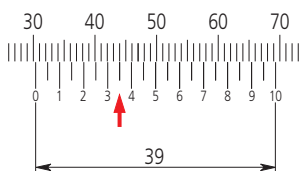
Skala noniusza umieszczona jest na suwaku suwmiarki, a każda działka tej skali jest o 0,05mm krótsza od działek skali głównej 1mm. Oznacza to, że w miarę rozsuwania szczęk suwmiarki każde kolejne przemieszczenie o 0,05mm powoduje pokrywanie się kolejnych kresk podziałki noniusza i podziałki głównej, wskazujące liczbę jednostek 0,05mm do dodania do odczytu skali głównej (mimo, iż podziałka dla wygody jest wyskalowana w ułamkach mm). Skala noniusza może być również wykonana w taki sposób, że jego poszczególne działki będą krótsze o 0,05mm od dwóch działek skali głównej, co powoduje podwojenie jego długości. Taki noniusz jest łatwiejszy do odczytu, ale zasada działania i podziałka pozostają bez zmian.

● Noniusz standardowy (podziałka 0,05mm)

● Noniusz długi (podziałka 0,05mm)



Odczyt 1,45mm

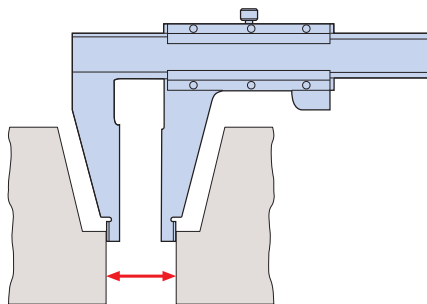


Odczyt 30,35mm

■ Suwmiarki długie

Do mniej dokładnych pomiarów dużych przedmiotów stosuje się zwykle linijki stalowe, ale jeśli wymagana jest większa dokładność, bardziej odpowiednie są długie suwmiarki. Długie suwmiarki są bardzo wygodne w użyciu, ale wymagają pewnej ostrożności przy użytkowaniu. Po pierwsze trzeba sobie zdać sprawę, że nie istnieje zależność pomiędzy rozdzielczością a dokładnością. Szczegółów należy szukać przy odpowiednich produktach w katalogu. Rozdzielczość jest stała, podczas gdy uzyskiwana dokładność zmienia się w sposób dramatyczny w zależności od sposobu używania suwmiarki.

Metoda pomiaru za pomocą tego przyrządu ma duże znaczenie w związku ze znacznym błędem pomiaru jaki generują odkształcenia prowadnicy. Tak więc dokładność pomiaru w znacznym stopniu zależy od sposobu podparcia suwmiarki podczas pomiaru. Należy również starać się nie wywierać zbyt dużego nacisku przy pomiarze szczękami zewnętrznymi, jako że stanowią one najbardziej oddaloną od prowadnicy część suwmiarki i jako takie powodują największe błędy pomiaru.



■ Pomiar małych otworów standardową suwmiarką

Podczas pomiarów średnic małych otworów powstaje błąd strukturalny d.

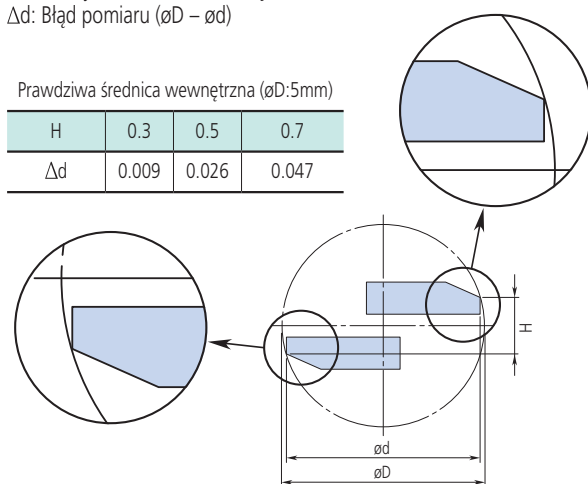
$\varnothing D$: Prawdziwa średnica wewnętrzna

$\varnothing d$: Odczytana średnica wewnętrzna

Δd : Błąd pomiaru ($\varnothing D - \varnothing d$)

Prawdziwa średnica wewnętrzna ($\varnothing D: 5\text{mm}$)

H	0.3	0.5	0.7
Δd	0.009	0.026	0.047

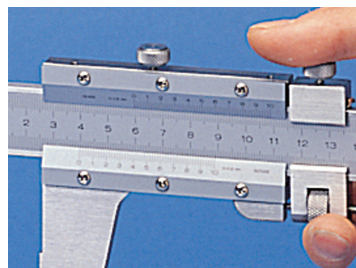
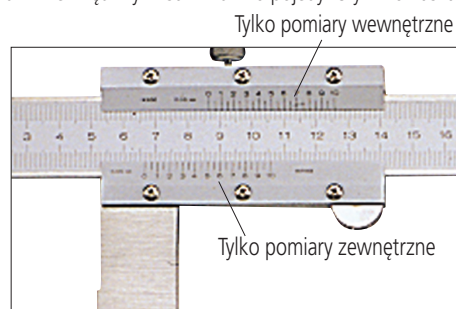


■ Pomiar wewnętrzny suwmiarką o szczękach półwałkowych

W związku z tym, że powierzchnie pomiarowe szczęk do pomiarów wewnętrznych znajdują się na końcach szczęk, ich równoległość silnie zależy od nacisku pomiarowego, a to z kolei stanowi istotny czynnik wpływający na uzyskiwaną dokładność pomiaru.

W przeciwieństwie do suwmiarek standardowych, suwmiarki o szczękach półwałkowych nie mogą mierzyć średnic małych otworów ze względu na ograniczenie rozmiarem końcówek szczęk. Nie jest to jednak wielka niedogodność, jako że ten typ suwmiarek nie służy do pomiaru małych otworów. Promień krzywizny powierzchni pomiarowych umożliwia poprawny pomiar średnic wewnętrznych aż do dolnej granicy zakresu pomiarowego (średnica końcówek zamkniętych szczęk).

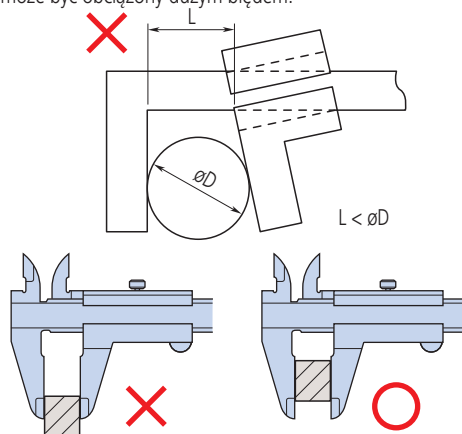
Suwmiarki półwałkowe Mitutoyo wyposażone są w dodatkowy noniusz do pomiarów wewnętrznych, umożliwiając bezpośredni odczyt wartości pomiaru bez potrzeby przeliczania wyniku. Ta użyteczna cecha eliminuje możliwość popełnienia błędu występującego przy dodawaniu poprawki dla pomiaru szczękami wewnętrznymi suwmiarki o pojedynczym noniuszu.



■ Ogólne uwagi do stosowania suwmiarek

1. Potencjalne przyczyny występowania błędów

Podczas pomiarów suwmiarką różnorodne czynniki mogą powodować występowanie błędów pomiaru. Do głównych czynników należą: efekt paralaksy, nadmierny nacisk pomiarowy związany z niespełnianiem przez suwmiarkę zasady Abbego, różnicowa rozszerzalność termiczna związana z różnicą temperatur suwmiarki i mierzonego przedmiotu oraz efekt grubości szczęk nożowych i luz pomiędzy tymi szczękami podczas pomiaru średnic małych otworów. Choć występują również inne czynniki, takie jak dokładność wykonania podziałki, prostoliniowość krawędzi odniesienia, płaskość skali głównej oraz prostokątność szczęk do prowadnicy, czynniki te są już uwzględnione w błędzie granicznym przyrządu. Dlatego też nie powodują one problemów tak długo, jak suwmiarka mieści w się w tolerancji błędu przyrządu. Bardzo ważne są wskazówki dla użytkownika, gdyż umożliwiają użytkownikowi uwzględnienie czynników błędów związanych z budową przyrządu przed jego użyciem. Wskazówki te odnoszą się do nacisku pomiarowego i informują, że w związku z tym, że suwmiarka nie posiada urządzenia do wytwarzania stałego nacisku pomiarowego, przedmiot należy mierzyć z odpowiednim i równomiernym naciskiem pomiarowym. Szczególnie ostrożnie należy mierzyć podstawami lub końcówkami szczęk ponieważ pomiar w taki sposób może być obciążony dużym błędem."



2. Pomiar wewnętrzny

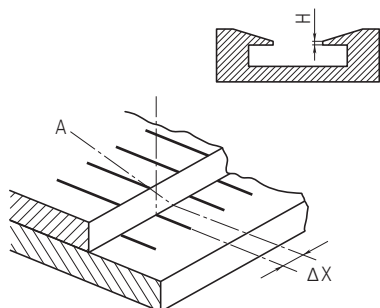
Przed pomiarem należy włożyć szczęki tak głęboko, jak to możliwe. Przy pomiarze wewnętrznym należy odczytać maksymalne wskazanie. Przy pomiarze szerokości rowka należy odczytać minimalne wskazanie.

3. Pomiar głębokości

Przy pomiarze głębokości należy odczytywać wskazanie minimalne.

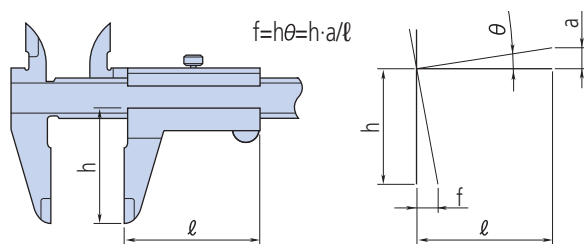
4. Błąd paralaksy podczas odczytów ze skal

Podczas sprawdzania pokrywania się kresek podziałki głównej i noniusza należy patrzeć prostopadle na podziałkę noniusza. Jeśli patrzy się na kreski podziałki noniusza pod kątem (A), zaobserwowana pozycja pokrycia się kresek jest, jak pokazano na rysunku poniżej, 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.



5. Błąd przechyłu ruchomej szczęki

Jeśli ruchoma szczeka ulegnie przechyleniu od położenia równoległego w stosunku do szczęki stałej, albo na skutek nadmiernego nacisku wywieranego na suwak, albo braku prostoliniowości krawędzi roboczej prowadnicy, to wystąpi błąd pomiaru, co pokazano na rysunku poniżej. Błąd ten może być znaczący ze względu na fakt, że suwmiarka nie spełnia zasady Abbego.



Przykład: Załóżmy, że niepożądane nachylenie szczęk z powodu przechylenia suwaka wynosi 0,01mm na 50mm a szczęki do pomiarów zewnętrznych mają długość 40mm, stąd błąd (na końcówkach szczęk) wynosi: $(40/50) \times 0,01\text{mm} = 0,008\text{mm}$. Jeśli powierzchnie robocze są zużyte, to błąd może występować nawet przy wywieraniu poprawnego nacisku pomiarowego.

6. Zależność pomiędzy pomiarem a temperaturą

Skala główna suwmiarki jest wygrawerowana na (lub przymocowana do) prowadnicy ze stali nierdzewnej i pomimo, iż współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej jest zbliżony do współczynnika najczęściej stosowanych materiałów mierzonych przedmiotów jak stal, itp. $(10,2 \pm 1) \times 10^{-6} / \text{K}$, należy pamiętać o tym, że temperatura otoczenia i temperatura mierzonego przedmiotu z innego materiału mogą wpływać na dokładność.

7. Użytkowanie

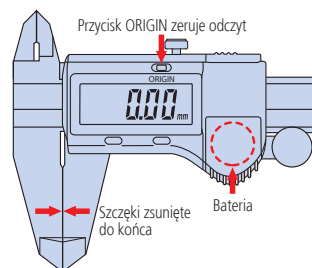
Szczęki suwmiarek są ostre, i dlatego przyrząd musi być użytkowany z zachowaniem należytej ostrożności, aby uniknąć zranienia. Należy unikać uszkodzenia skali suwmiarki cyfrowej i nie grawerować na niej numerów identyfikacyjnych ani żadnych innych informacji. Należy unikać uszkodzenia suwmiarki przez wystawianie jej na uderzenia twardymi obiektami lub upuszczanie na stół czy podłogę.

8. Utrzymanie powierzchni ślizgowych i pomiarowych

Przed użyciem suwmiarki należy zetrzeć wszelki pył i bród z powierzchni ślizgowych i pomiarowych za pomocą suchej ściereczki.

9. Sprawdzanie i ustawianie zera przed użyciem

Należy oczyścić powierzchnie pomiarowe poprzez powolne wyciąganie z zaciśniętych szczęk czystego arkusza papieru. Przed użyciem suwmiarki należy zsunąć szczęki suwmiarki i upewnić się ze odczyt z noniusza (lub z wyświetlacza) wynosi zero. W przypadku suwmiarki cyfrowej po wymianie baterii należy ją wyzerować (przycisk ORIGIN).



10. Postępowanie po użyciu

Po użyciu suwmiarki, należy zetrzeć z niej wszelkie pozostałości wody i oleju. Następnie, należy ją lekko natrzeć olejem antykorozyjnym i pozostawić do wyschnięcia przed umieszczeniem jej w miejscu przechowywania. Ścierać wodę z suwmiarek wodoodpornych, gdyż również one mogą rdzewieć.

11. Uwagi do przechowywania

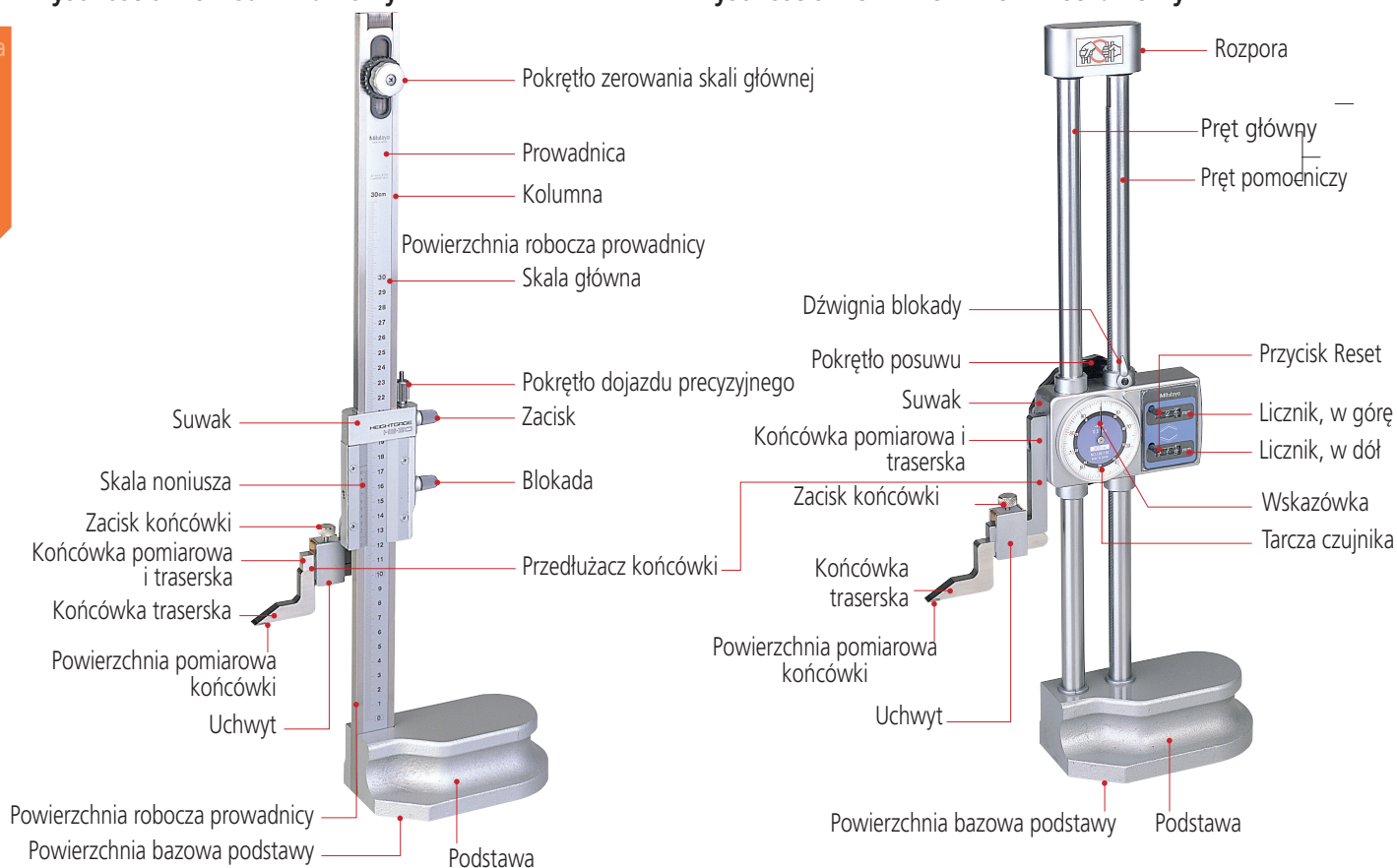
Podczas przechowywania unikać wystawiania na bezpośrednie działanie światła słonecznego, wysokich temperatur, niskich temperatur oraz wysokiej wilgotności. Jeśli suwmiarka cyfrowa nie ma być używana przez okres dłuższy niż trzy miesiące, należy usunąć z niej baterie. Nie zostawiać szczęk zupełnie zamkniętych.



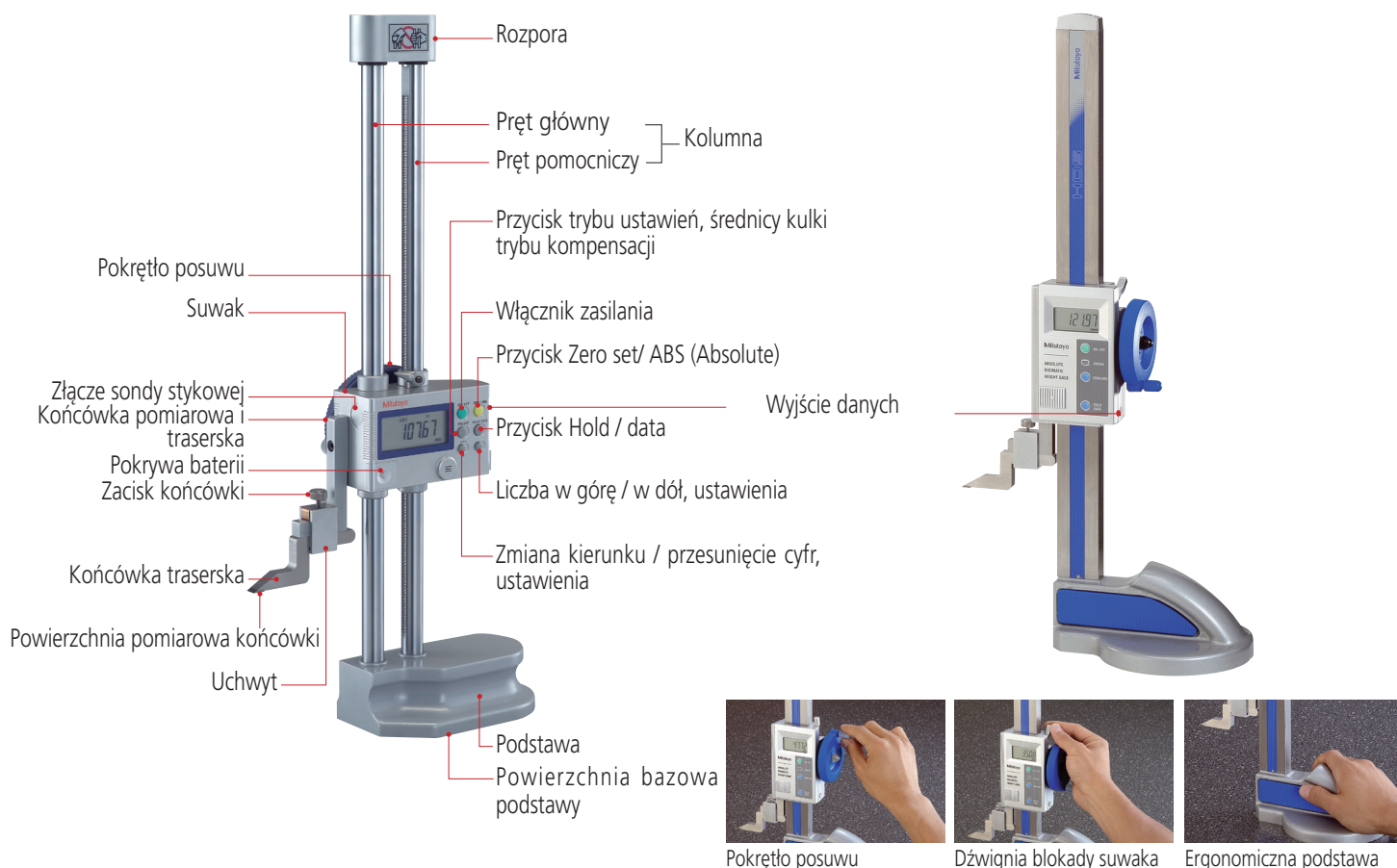
Nazewnictwo

Wysokościomierz suwmiarkowy

Wysokościomierz z licznikiem mechanicznym

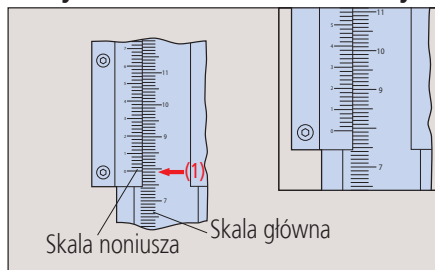


Wysokościomierze Digimatic



■ Jak odczytywać wskazania

● Wysokościomierz suwmiarkowy



Podziałka 0,02mm

(1) Skala główna	79 mm
(2) Noniusz	0,36 mm
Odczyt	79,36 mm

■ Ogólne uwagi do użytkowania wysokościomierza

1. Potencjalne przyczyny błędów

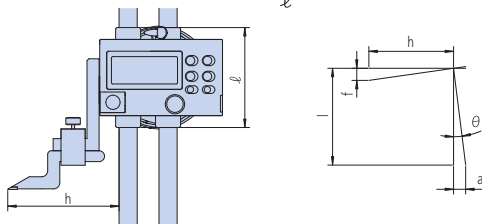
Tak jak w przypadku suwmiarek, czynniki wpływające na powstawanie błędów to efekt paralaksy, nadmierny nacisk pomiarowy związany z niespełnianiem przez przyrząd zasady Abbego, różnicowa rozszerzalność termiczna związana z różnicą temperatur wysokościomierza i mierzonego przedmiotu.

Istnieją również inne czynniki powodujące powstawanie błędów wynikające z budowy wysokościomierza. W szczególności są to, opisane poniżej, czynniki związane ze skreśleniem krawędzi odniesienia i mocowaniem końcówki.

2. Skreślenie kolumny i mocowanie końcówki pomiarowej

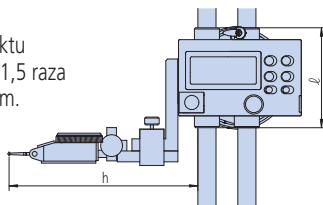
Tak jak w przypadku suwmiarki, jak to pokazano na rysunku poniżej, błędy powstają przy używaniu wysokościomierza, którego kolumna prowadząca suwak jest skreścona. Błąd ten opisuje ten sam wzór, który jest stosowany do obliczania błędów wynikających z niespełnienia zasady Abbego.

$$f = h \theta = h \frac{a}{L}$$



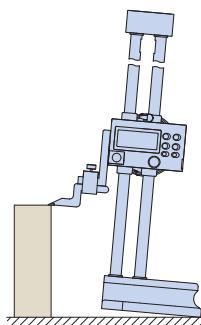
Przy instalacji końcówki pomiarowej (lub czujnika dźwigniowo-zębatego) wymagana jest szczególna ostrożność, ponieważ ma ona wpływ na wartość błędu spowodowanego skreśleniem kolumny wysokościomierza poprzez zwiększanie wymiaru h w powyższym równaniu. Innymi słowy, im dłuższa jest niestandardowa końcówka pomiarowa lub czujnik dźwigniowo-zębaty, tym większy jest błąd pomiaru.

Przykład: Efekt pozycji pomiaru punktu
Gdy h równa się 150 mm, błąd jest 1,5 raza większy niż, gdy h równa się 100 mm.



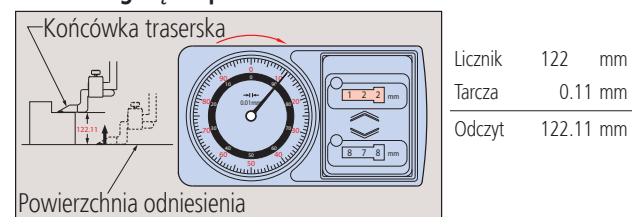
3. Odrzucanie się podstawy od powierzchni odniesienia

Jeśli podczas ustawiania końcówki pomiarowej na stosie płytek wzorcowych lub elemencie mierzonego przedmiotu na suwak wywierana jest zbyt duża siła, podstawa może się unieść ponad płytę pomiarową, co powoduje powstawanie błędów pomiaru. W celu przeprowadzenia poprawnego ustawienia należy przesunąć suwak powoli w dół, dosuwając i odsuwając końcówkę od powierzchni płytki wzorcowej (lub przedmiotu). Poprawne ustawienie ma miejsce, gdy poczuje się lekkie zetknięcie końcówki podczas jej przemieszczania nad krawędzią mierzonej powierzchni. Koniecznie należy się też upewnić, że powierzchnia płyty oraz bazowa podstawy wysokościomierza wolne są od pyłu czy wiórów.

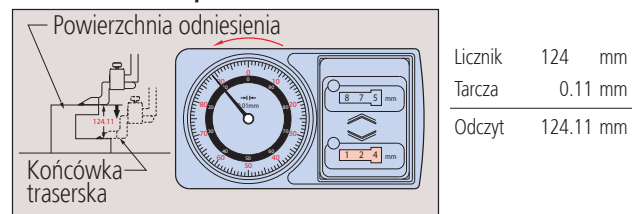


● Wysokościomierz z licznikiem mechanicznym

Pomiar w górę od powierzchni odniesienia



Pomiar w dół od powierzchni odniesienia



4. Zależność pomiędzy dokładnością a temperaturą

Wysokościomierze wykonuje się z różnego rodzaju materiałów. Należy mieć na uwadze, że niektóre kombinacje materiału mierzonego przedmiotu, temperatury otoczenia i temperatury przedmiotu mogą wpływać na dokładność pomiaru. Ten niekorzystny wpływ eliminuje się poprzez wprowadzanie poprawek.

5. Krawędź końcówki traserskiej jest ostra, i dlatego przyrząd musi być użytkowany z zachowaniem należytej ostrożności, aby uniknąć zranienia.

6. Aby nie uszkodzić skali wysokościomierza cyfrowego nie należy grąderować na niej numerów identyfikacyjnych ani innych informacji.

7. Należy uważać, aby nie upuścić wysokościomierza ani niczym w niego lub nim nie uderzyć.

■ Wskazówki dla użytkownika wysokościomierza

1. Kolumna, po której przesuwają się suwaki powinna być utrzymywana w czystości. Jeśli pył i bród będą się na niej gromadzić, mogą utrudnić posuw suwaka, prowadząc do błędów ustawień i pomiarów.

2. Podczas trasowania, należy zabezpieczyć pozycję suwaka przy użyciu różnego rodzaju blokad, w które wyposażony jest wysokościomierz. Zaleca się, aby sprawdzać ustawienie po zablokowaniu pozycji, ponieważ w przypadku niektórych wysokościomierzy czynność blokowania może lekko zmieniać ustawioną pozycję. Jeśli ma to miejsce, należy ustalić dopuszczalność takich zmian.

3. Równoległość pomiędzy powierzchnią pomiarową końcówki traserskiej a powierzchnią bazową podstawy powinna być 0,01 mm lub lepsza.

Przed instalacją końcówki traserskiej lub czujnika dźwigniowo-zębatego należy usunąć wszelkie zanieczyszczenia z powierzchni montażowych. Kończówka i inne części powinny być w sposób pewny zamocowane podczas pomiaru.

4. Jeśli skala główna zerowania, należy pewnie dokręcić nakrętki mocujące.

5. Błędy paralaksy nie są nieznaczające, dlatego podczas odczytu wartości należy patrzeć prostopadle na podziałkę.

6. Po użyciu zetrzeć z przyrządu wszelkie pozostałości wody i oleju. Następnie lekko natrzeć olejem antykorozyjnym i pozostawić do wyschnięcia przed umieszczeniem w miejscu przechowywania.

7. Uwagi na temat przechowywania:

Podczas przechowywania wysokościomierza należy unikać wystawiania go na bezpośrednie działanie światła słonecznego, wysokich temperatur, niskich temperatur oraz wysokiej wilgotności.

Jeśli wysokościomierz cyfrowy nie ma być używany przez okres dłuższy niż trzy miesiące, należy usunąć z niego baterie.

Jeśli wysokościomierz wyposażony jest w ochronny pokrowiec, należy go założyć, aby uniknąć przylegania kurzu do kolumny.



Definicja metra

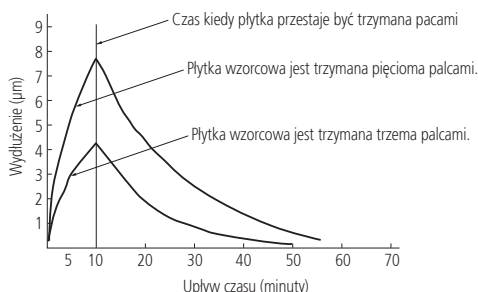
Na 17 Ogólnej Konferencji Miar i Wag w roku 1983 postanowiono o nowej definicji metra jako jednostce miary. Postanowiono, że metr jest to droga jaką przebywa światło w próżni w przedziale czasu $1/299\,792\,458$ sekundy. Płytki wzorcowe stanowią praktyczną realizację tej jednostki i jako taka jest szeroko stosowana w przemyśle.

Doskonałe składanie płytek wzorcowych

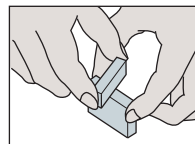
- Składanie powinno być zawsze wykonywane w czystym miejscu na miękkiej podkładce - w przypadku wypadnięcia z dłoni płytka nie ulegnie uszkodzeniu.
- Należy zetrzeć warstwę oleju z płytek wzorcowych przy użyciu miękkiej ściereczki i eteru.
- Po tym "zgrubnym" czyszczeniu powierzchnie oczyścić za pomocą pędzelka kosmetycznego nasączonego eterem, a następnie oczyścić podmuchem powietrza.
- Nigdy nie należy używać do czyszczenia alkoholu ani zwykłej benzyny. Zwykła benzyna zawiera zbyt wiele zanieczyszczeń, a alkohol zawsze zawiera trochę wody, która powoduje korozję.
- Najodpowiedniejsze do czyszczenia są ściereczki z mikrofibry.
- Sprawdzić czy na czyszczonej płytce nie ma rdzy ani zadrapań.
- Jeśli na powierzchni pomiarowej występują jakiegokolwiek zadziory, należy je ostrożnie usunąć za pomocą Cerastone, specjalnego bloku ściernego dla płytek wzorcowych. Płytke wzorcową należy przesunąć po powierzchni bloku ściernego wywierając bardzo niewielki nacisk.
- W przypadku, gdy pomimo dobrego stanu powierzchni pomiarowych płytki nie przywierają do siebie, można je potrząsnąć wacem medycznym - jej oleiste składniki zapewnią cienką warstwę oleju poprawiającą przywieralność powierzchni pomiarowych.

Czas stabilizacji temperaturowej

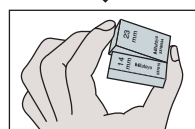
Poniższy rysunek demonstruje stopień zmiany długości płytki wzorcowej o długości 100 mm przy trzymaniu jej gołą dłonią.



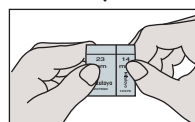
a. Składanie grubych płytek wzorcowych



Ustawić płytki wzorcowe pod kątem 90°, łącząc je na ich środkach.

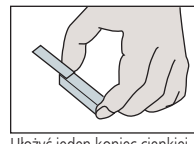


Obracać płytki względem siebie pod niewielkim naciskiem. Zwieranie się płytek powinno być wyczuwalne.

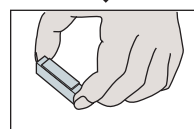


Ustawić płytki równolegle do siebie.

b. Składanie grubej i cienkiej płytki wzorcowej

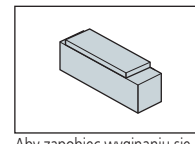


Ułożyć jeden koniec cienkiej płytki wzorcowej na końcu grubej płytki.

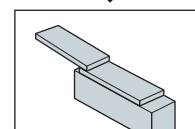


Przesuwać cienką płytkę wzorcową, naciskając cały pokrywający się obszar tak, aby na końcu ustawione były równoległe.

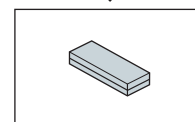
c. Składanie kilku cienkich płytek wzorcowych



Aby zapobiec wyginaniu się cienkich płytek, należy najpierw zewrzeć pierwszą cienką płytkę z grubą

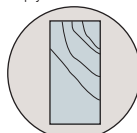
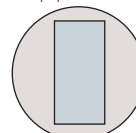


Następnie zewrzeć kolejną cienką płytkę z pozostałymi, złożonymi.

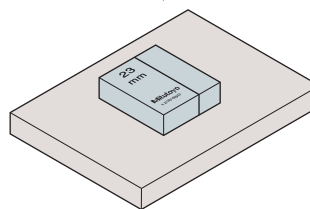


Na koniec usunąć grubą płytkę wzorcową ze stosu.

Przyłożyć płytkę interferencyjną płaską do powierzchni cienkiej płytki, by sprawdzić poprawność złożenia płytek.



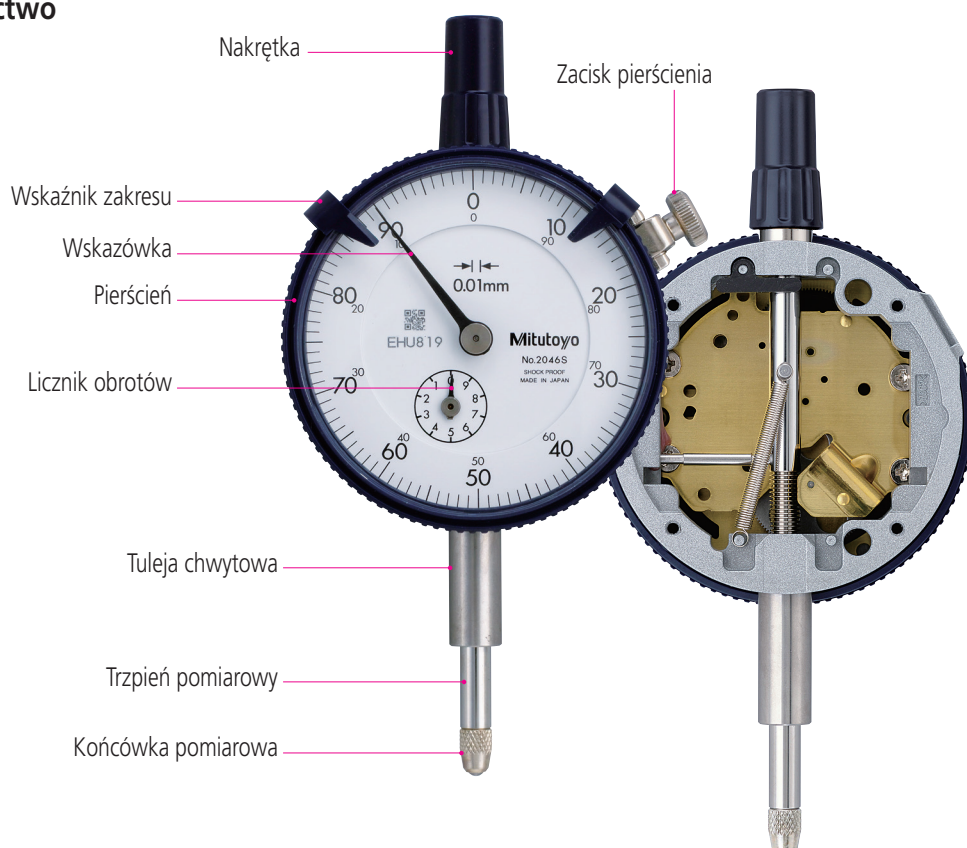
Nieregularne prążki interferencyjne



Przetrzeć odkryte powierzchnie pomiarowe i kontynuować składanie stosu płytek wzorcowych, w taki sam sposób jak dotychczas, aż do ukończenia procesu składania.



Nazewnictwo

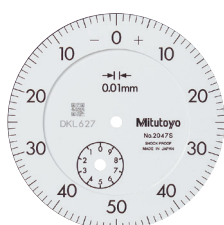


Tarcze czujników

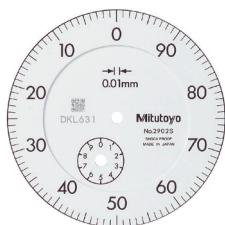
0,01mm



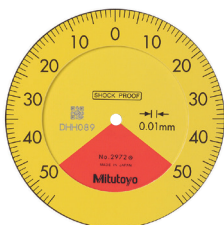
Skala jednokierunkowa
(Podwójna, dla obu kierunków)



Skala dwukierunkowa
(Wielooobrotowa)

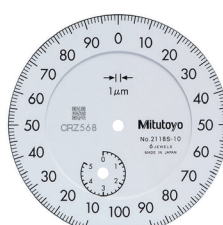


Skala jednokierunkowa
(Odczyt odwrotny)

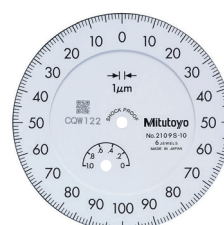


Skala dwukierunkowa
(Jednoobrotowa)

0,001mm



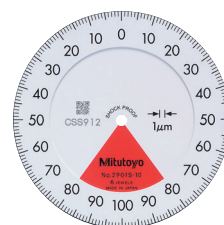
Skala jednokierunkowa
(Standardowa szerokość działek)



Skala dwukierunkowa
(Wielooobrotowa)



Skala jednokierunkowa
(Podwójna szerokość działek)



Dwukierunkowa (Jednoobrotowa)

Skala ciągła:

Skala dwukierunkowa:

Skala odwrócona:

Skala jednoobrotowa:

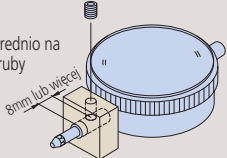
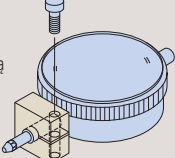
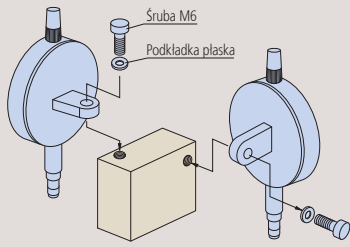
Do odczytu bezpośredniego

Do odczytu różnicy położenia od powierzchni odniesienia

Do pomiaru głębokości i do stosowania w średnicówkach

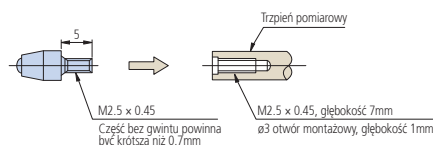
Do bezbłędnego odczytu małych różnic wymiarów

Mocowanie czujnika zegarowego

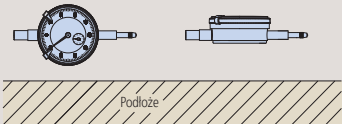
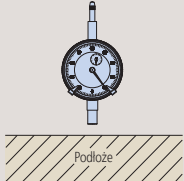
Mocowanie na tulei	Metoda	 Zaciskanie bezpośrednio na tulei za pomocą śruby 8mm lub więcej	 Zaciskanie na tulei uchwyty ze szczeliną
	Uwaga	- Tolerancja otworu montażowego: $\varnothing 8G7(+0,005 \text{ do } 0,02)$ - Śruba dociskowa: M4 do M6 - Pozycja zaciskowa: 8mm lub dalej od dolnej krawędzi tulei chwytowej - Maksymalny moment dokręcający: 150N·cm przy zaciskaniu śrubą M5 - Nadmierny moment dokręcający może negatywnie wpływać na ruch trzpienia w tulei.	Tolerancja otworu montażowego: $\varnothing 8G7(+0,005 \text{ do } 0,02)$
Mocowanie na uchu	Metoda	 Śruba M6 Podkładka płaska	
	Uwaga	- Położenie kątowe ucha może być zmieniane o 90 stopni zależnie od zastosowania. (Czujnik jest dostarczany z uchem ustawionym poziomo.) - W przypadku niektórych modeli serii 1 (Nr1911, 1913-10 i 1003) nie można zmieniać pozycji ucha na poziomą. - Aby uniknąć błędów kosinusa upewnić się, że dowolnego typu czujnik zamontowany jest tak, że jego trzpień jest w osi planowanego kierunku pomiaru.	

Końcówka pomiarowa

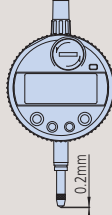
- Śruba końcówki ma standardowy gwint M2.5x0.45 (Długość: 5mm).
- Przy wytwarzaniu końcówki pomiarowej długość sekcji bez gwintu u podstawy śruby powinna być mniejsza niż 0,7 mm.



Wpływ orientacji na nacisk pomiarowy

Pozycja	Uwagi
Końcówka pomiarowa do dołu (pozycja normalna) 	— Jeśli pomiar jest wykonywany przy poziomej orientacji wrzeciona lub końcówce pomiarowej zwróconej ku górze, nacisk pomiarowy jest mniejszy niż kiedy końcówka jest zwrócona do dołu. W takim przypadku należy sprawdzić poprawność działania i powtarzalność pomiarów takim czujnikiem. Informacji dotyczących użytkowania czujników w określonych orientacjach należy szukać w opisach produktów katalogu głównego Mitutoyo.
Trzpień poziomo (pozycja boczna) 	
Końcówka pomiarowa do góry (pozycja odwrócona) 	

Zerowanie czujnika cyfrowego

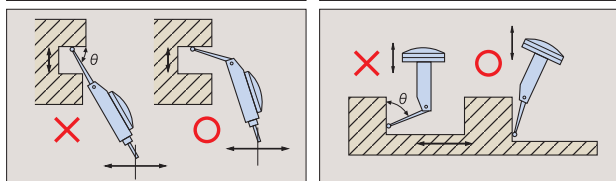
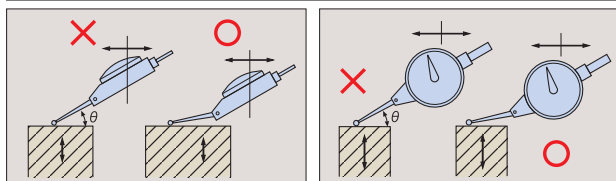
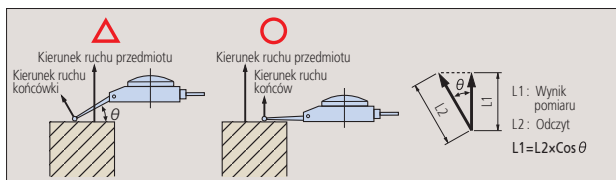
	Parametry czujnika cyfrowego nie są gwarantowane w zakresie 0,2 mm od końca zakresu posuwu. Podczas zerowania lub ustawiania wartości początkowej należy upewnić się, że trzpień pomiarowy jest uniesiony o co najmniej 0,2 mm od końca zakresu posuwu.
---	--

Konserwacja trzpienia pomiarowego

- Nie smarować trzpienia. Takie działanie może powodować gromadzenie się na nim pyłu, powodując nieprawidłowe działanie przyrządu.
- Jeśli posuw trzpienia jest niezadowolający należy przetrzeć górną i dolną część jego powierzchni za pomocą suchej lub nasączonej alkoholem ściereczki. Jeśli przemieszczenie trzpienia pomiarowego będzie nadal niezadowolające, należy się skontaktować z biurem Mitutoyo w celu naprawy.
- Przed przystąpieniem do pomiaru czy kalibracji należy upewnić się, że trzpień przemieszcza się gładko w górę i w dół oraz, że punkt zerowy jest stabilny.

■ Czujniki dźwigniowo-zębate i efekt kosinusa

Zawsze należy minimalizować kąt pomiędzy kierunkami ruchu podczas pomiaru.



Odczyt z dowolnego czujnika dźwigniowo-zębatego nie reprezentuje dokładnego pomiaru, jeśli kierunek pomiaru jest niezgodny z planowanym kierunkiem pomiaru (efekt kosinusa). Ponieważ kierunek pomiaru czujnika dźwigniowo-zębatego jest prostopadły do linii poprowadzonej od końcówki pomiarowej do środka obrotu końcówki, efekt ten można zminimalizować ustawiając końcówkę tak, aby kąt θ (pokazany na rysunkach) był jak najmniejszy. Jeśli to konieczne odczyt z czujnika może być kompensowany dla aktualnej wartości θ przy użyciu poniższej tabeli.
Wynik pomiaru = wskazywana wartość x współczynnik kompensacji

Kompensacja dla kąta niezerowego

Kąt	Współczynnik kompensacji
10°	0.98
20°	0.94
30°	0.86
40°	0.76
50°	0.64
60°	0.50

Przykłady

Jeśli czujnik pokazuje wartość 0,200mm dla różnych wartości θ , uzyskuje się różne wartości zmierzone:

Dla $\theta = 10^\circ$, $0,200\text{mm} \times 0.98 = 0,196\text{mm}$

Dla $\theta = 20^\circ$, $0,200\text{mm} \times 0.94 = 0,188\text{mm}$

Dla $\theta = 30^\circ$, $0,200\text{mm} \times 0.86 = 0,172\text{mm}$

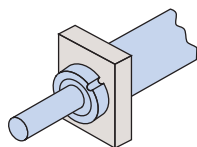
Uwaga: Przy stosowaniu specjalnej końcówki o kształcie ewolwenty kompensacja przebiega automatycznie, bez potrzeby ręcznej kompensacji dla θ od 0 do 30°. (Ten typ końcówki jest wykonywany na zamówienie.)



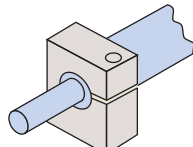
Głowica

Tuleje gładkie i z nakrętką

Tuleje wykorzystywane do mocowania głowic Linear Gage dzielą się na "tuleje gładkie" i "tuleje z nakrętką", patrz ilustracja poniżej. Tuleja z nakrętką umożliwia szybkie i bezpieczne mocowanie głowicy. Zaletą tulei gładkiej jest szerszy zakres zastosowań oraz możliwość niewielkiej zmiany pozycji w kierunku osi w ostatniej fazie instalacji, mimo iż takie mocowanie wymaga zastosowania uchwytu ze szczeliną lub kleju. Nie należy wywierać zbyt dużego nacisku na tuleję przy zaciskaniu.



Tuleja z nakrętką



Tuleja gładka

Nacisk pomiarowy

Jest to, wyrażona w newtonach, siła wywierana przez końcówkę pomiarową na przedmiot podczas jego pomiaru na końcu zakresu posuwu.

Pomiar komparatorowy

Metoda pomiaru, gdzie wymiar przedmiotu znajdujący się jako różnica wymiarów mierzonego przedmiotu i wzorca długości reprezentującego wymiar nominalny.

Oznaczenie klasy ochronności IP

Klasa ochronności IP54

Typ	Poziom	Opis
Ochrona ludzkiego ciała i przed wnikaniem ciał obcych	5: Ochrona przed pyłem	Zabezpieczenie przez szkodliwym działaniem pyłu
Ochrona przed działaniem wody	4: Odporność na zachłapanie	Spryskanie obudowy wodą z każdego kierunku nie powinno mieć negatywnego wpływu.

Klasa ochronności IP66

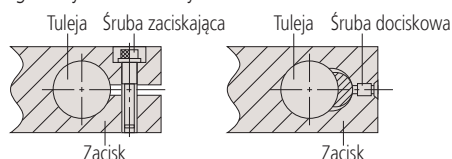
Typ	Poziom	Opis
Ochrona ludzkiego ciała i przed wnikaniem ciał obcych	6: Pyłoszczelność	Zabezpieczenie przed wnikaniem pyłu Pełna ochrona przed kontaktem
Ochrona przed działaniem wody	6: Wodoodporność	Strumień wody na obudowę z każdej strony nie powinien mieć negatywnego wpływu.

Zalecenia dla montażu Linear Gage

- Włożyć tuleję głowicy do uchwytu montażowego przyrządu pomiarowego lub statywu i dokręcić śrubę mocującą.
- Należy pamiętać, że zbyt mocne dociskanie tulei może spowodować problemy przy posuwie wrzeciona.
- Nigdy nie używać sposobu mocowania, gdzie tuleja jest zaciskana przez bezpośredni kontakt ze śrubą.
- Nigdy nie mocować Linear Gage za inną część tuleja.
- Montować głowicę w kierunku planowanego pomiaru. Mocowanie pod innym kątem będzie powodować błędy pomiaru.
- Zadbać o to, aby nie wywierać siły na głowicę poprzez kabel.

Zalecenia dla montażu Laser Hologage

W celu zamocowania głowicy Laser Hologage, należy włożyć jej tuleję do dedykowanego statywu lub uchwytu.



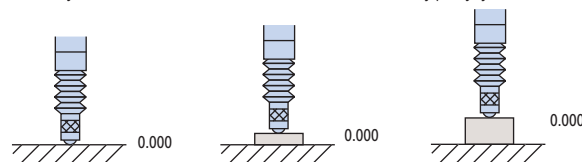
Zalecane średnice otworów po stronie mocowania: 15mm +0,034/-0,014

- Wykonać otwór montażowy w taki sposób, aby jego oś była równoległa do kierunku pomiaru. Mocowanie pod kątem powoduje błędy pomiaru.
- Nie wywierać zbyt dużego nacisku na tuleję Laser Hologage przy montażu. Zbyt mocny nacisk może pogorszyć możliwości przesuwu wrzeciona.
- Jeśli pomiar jest wykonywany podczas przemieszczania głowicy Laser Hologage, należy zamontować ją w taki sposób, aby kabel nie był napięty i żadna zbędna siła nie działała na przyrząd.

Wyświetlacz

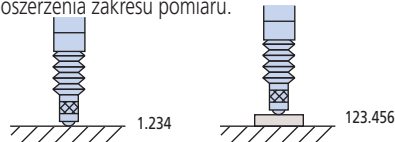
Zerowanie

Wartość wyświetlacza można ustawić na zero w każdej pozycji wrzeciona.



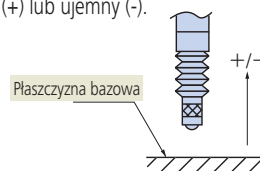
Ustawianie wartości wstępnej Preset

Istnieje możliwość przypisania położeniu wrzeciona określonej wartości, co daje możliwość poszerzenia zakresu pomiaru.



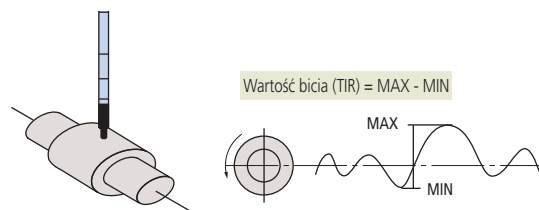
Zamiana kierunku pomiaru

Kierunek zliczania dla przemieszczania wrzeciona przy pomiarze można ustawiać na dodatni (+) lub ujemny (-).



Ustawianie MAX, MIN i TIR

Podczas pomiaru moduł wyświetlacza może utrzymywać wartość maksymalną (MAX) i minimalną (MIN) oraz wartość maksymalnej różnicy wskazań MAX-MIN.



Ustawianie tolerancji

Wyświetlacze umożliwiają ustawienie wartości tolerancji dla automatycznej oceny czy zmierzony wymiar mieści się tych granicach czy nie.

Wyjście typu otwarty kolektor

Kolektor wewnętrznego tranzystora, który samysterowany jest na przykład wynikiem oceny tolerancji, możeysterować zewnętrzne obciążenie, takie jak przełącznik lub układ logiczny.

Wyjście przekaźnikowe

Wyjście sygnału o stanach zwarty lub rozarty.

Sygnał Digimatic

Protokół komunikacyjny służący do łączenia przyrządów pomiarowych z różnego typu urządzeniami Mitutoyo do przetwarzania danych pomiarowych. Umożliwia on podłączenie do Mini Procesora Digimatic DP-1VR, służącego do wykonywania różnego rodzaju obliczeń statystycznych i tworzenia histogramów. itp.

Wyjście BCD

System do przesyłania i rejestracji danych w binarnej notacji cyfr dziesiętnych.

Wyjście RS-232C

Interfejs do komunikacji szeregowej, który umożliwia dwukierunkową transmisję danych zgodnie ze standardami EIA. Procedura transmisji opisana jest w specyfikacji każdego przyrządu pomiarowego.

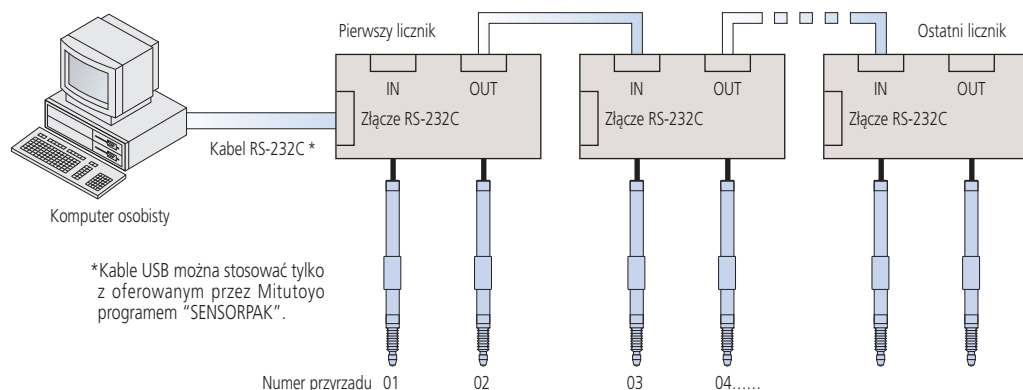
Funkcja RS Link Przez połączenie kilku liczników EH lub EV za pomocą kabli RS Link można zbudować system pomiaru wielopunktowego.

■ RS Link z licznikami EH

Istnieje możliwość połączenia do 10 liczników i jednoczesnego wykorzystania do 20 kanałów w pomiarze wielopunktowym.

Do tego połączenia stosuje się dedykowane kable RS Link: **Nr 02ADD950** (0,5m), **Nr 936937** (1m) lub **Nr 965014** (2m).

(Całkowita, dopuszczalna długość kabli RS Link zastosowanych w całym systemie wynosi do 10m.)



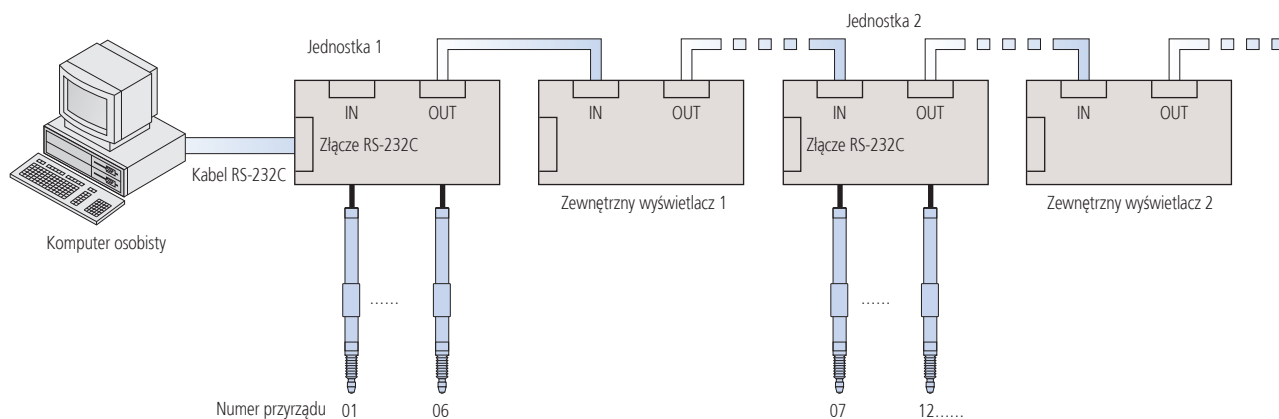
■ RS Link z licznikami EV

Istnieje możliwość połączenia do 10* liczników i jednoczesnego wykorzystania do 60 kanałów w pomiarze wielopunktowym.

Do tego połączenia stosuje się dedykowane kable RS Link: **Nr 02ADD950** (0,5m), **Nr 936937** (1m) lub **Nr 965014** (2m).

(Całkowita, dopuszczalna długość kabli RS Link zastosowanych w całym systemie wynosi do 10m.)

* Jeśli w łańcuchu połączeń jest licznik EH, maksymalna liczba liczników w systemie jest ograniczona do 6.





Kompatybilność

Wszelkie ustawienia i regulacje Laserowych Mikrometrów Skaningowych wykonywane są przy podłączonym module identyfikacyjnym, dostarczonym razem z przyrządem pomiarowym. Moduł ID, który posiada ten sam numer seryjny musi być zainstalowany w module wyświetlacza. Oznacza to, że jeśli moduł ID zostanie wyjęty z modułu pomiarowego, nie można go będzie użyć w innym module wyświetlającym.

Przedmiot mierzony i warunki pomiaru

W zależności od tego czy wiązka lasera jest widoczna czy niewidoczna oraz w zależności od kształtu przedmiotu i chropowatości powierzchni mogą powstawać błędy pomiaru. Jeśli ma to miejsce, należy przeprowadzić kalibrację wzorcem o wymiarach, kształcie i chropowatości powierzchni zbliżonych do mierzonego przedmiotu.

Jeśli wartości pomiarów charakteryzuje duży rozrzut spowodowany warunkami pomiaru, to w celu poprawy dokładności należy zwiększyć liczbę skanów, z których obliczana jest średnia.

Zakłócenia elektryczne

W celu uniknięcia błędów operacyjnych, nie należy układać kabli sygnałowych i sterujących LSM wzdłuż linii wysokiego napięcia lub innych kabli, które mogą indukować w sąsiednich przewodnikach prądy zakłócające. Należy uziemić wszystkie właściwe moduły i opłoty ekranujące kabli.

Podłączenie do komputera

Jeśli mikrometr LSM ma być podłączony do komputera osobistego poprzez interfejs RS-232C, należy upewnić się, że połączenia kablowe spełniają wymagania specyfikacji.

Bezpieczeństwo lasera

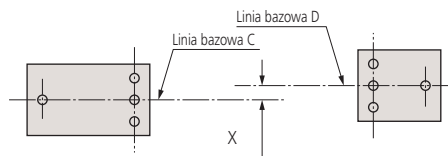
Skaningowe Mikrometry Laserowe Mitutoyo wykorzystują do pomiarów niskiej mocy lasery światła widzialnego. Zastosowany Laser jest urządzeniem CLASS 2 EN/IEC60825-1 (2007). W odpowiednich miejscach na obudowach LSM umieszczone są wymagane etykiety z ostrzeżeniami i wyjaśnieniami.

Ponowny montaż po zdjęciu z podstawy

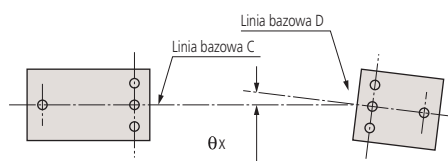
Podczas ponownego montażu modułu nadawczego i odbiorczego, w celu minimalizacji błędów pomiaru, należy sprawdzić poniższe parametry związane z nieprawidłowym ustawieniem osi optycznej lasera i modułu odbiorczego.

Ustawienie w płaszczyźnie poziomej

- a. Odchyłka równoległości linii bazowych C i D: X (w kierunku prostopadłym)

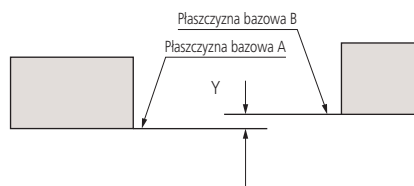


- b. Kąt pomiędzy liniami bazowymi C i D: θ_x

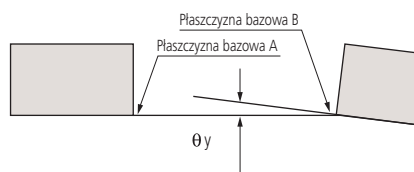


Ustawienie w płaszczyźnie pionowej

- c. Odchyłka równoległości płaszczyzn bazowych A i B: Y (na wysokości)



- d. Kąt pomiędzy płaszczyznami bazowymi A i B: θ_y

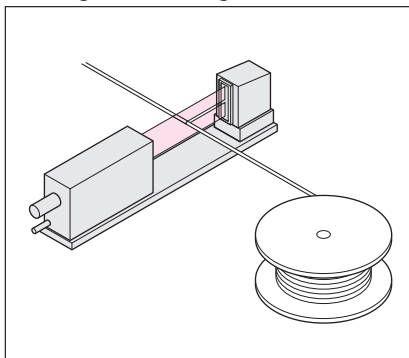


Dopuszczalne granice błędów ustawienia osi optycznych

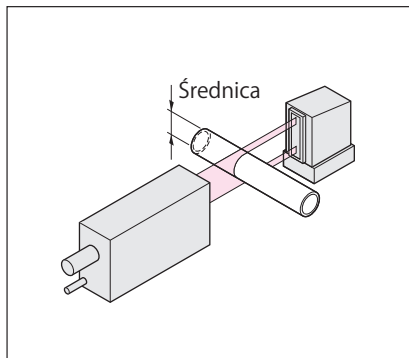
Model	Odległość pomiędzy modulem nadawczym a odbiorczym	X i Y	θ_x i θ_y
LSM-501S	68mm (2.68") lub mniej	na 0,5mm (.02")	na 0,4° (7mrad)
	100mm (3.94") lub mniej	na 0,5mm (.02")	na 0,3° (5.2mrad)
LSM-503S	130mm (5.12") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,4° (7mrad)
	350mm (13.78") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,16° (2.8mrad)
LSM-506S	273mm (10.75") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,2° (3.5mrad)
	700mm (27.56") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,08° (1.4mrad)
LSM-512S	321mm (12.64") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,18° (3.6mrad)
	700mm (27.56") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,08° (1.4mrad)
LSM-516S	800mm (31.50") lub mniej	na 1mm (.04")	na 0,09° (1.6mrad)

■ Przykłady pomiarów

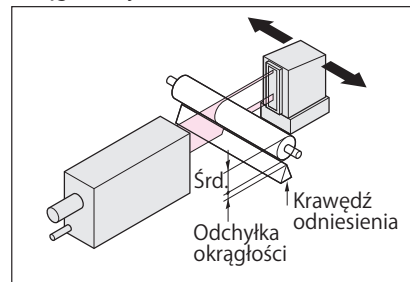
Pomiar "online" średnicy włókna szklanego lub cienkiego drutu



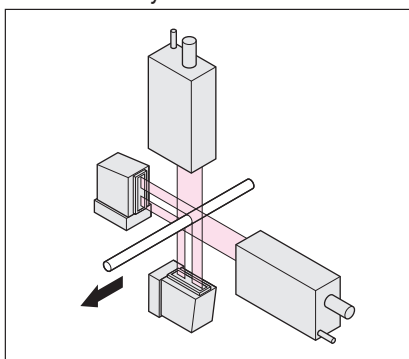
Pomiar zewnętrznej średnicy cylindra



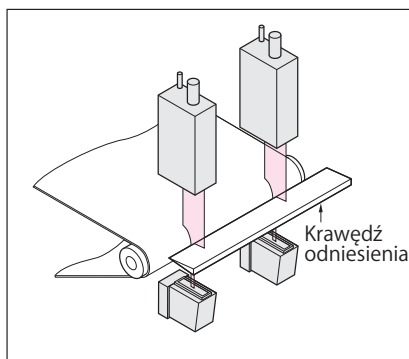
Pomiar zewnętrznej średnicy i okrągłości cylindra



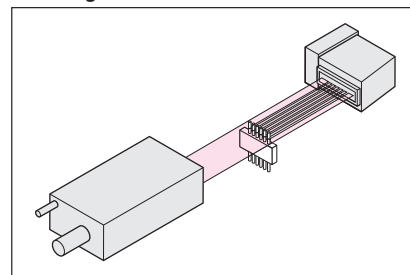
Pomiar kabli elektrycznych lub światłowodowych w osiach X i Y



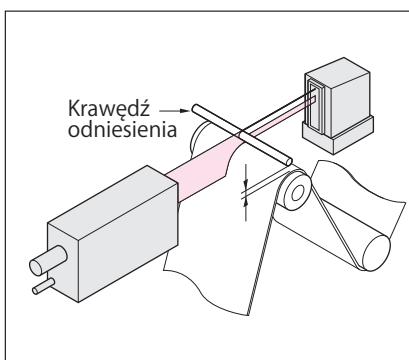
Pomiary grubości folii i arkuszy



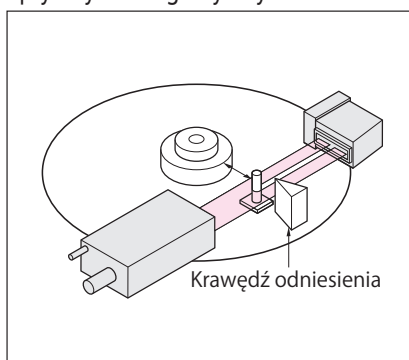
Pomiar rozstawu wyprowadzeń układu scalonego



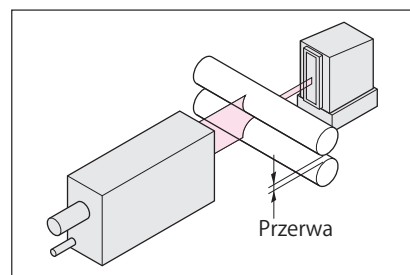
Pomiar grubości arkusza folii



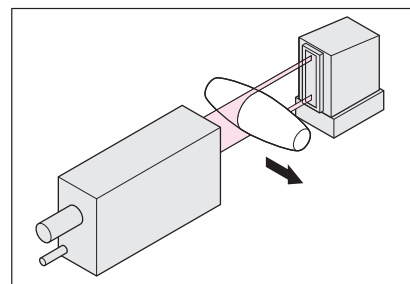
Pomiary przemieszczeń dysków optycznych i magnetycznych



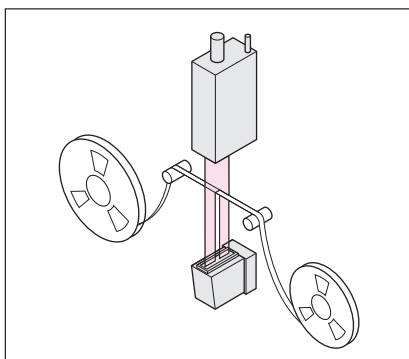
Pomiar odstępu pomiędzy rolkami



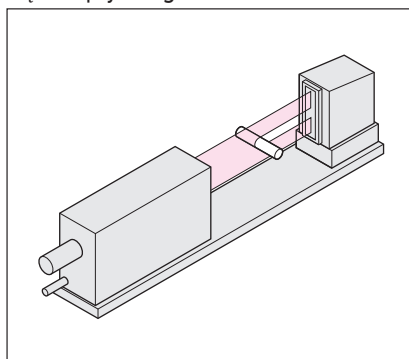
Pomiar kształtu



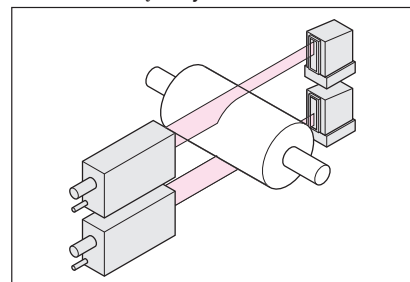
Pomiar grubości taśmy



Pomiar zewnętrznej średnicy złącza optycznego



System podwójny do pomiaru dużych średnic zewnętrznych





Testy liniałów pomiarowych

1. Test temperatury pracy

Test ma na celu potwierdzenie braku nieprawidłowości w funkcjonowaniu liniału w zakresie jego temperatur pracy oraz zgodność ze standardem sygnału wyjściowego.

2. Test cyklu temperaturowego (charakterystyka dynamiczna)

Test ma na celu potwierdzenie braku nieprawidłowości w funkcjonowaniu liniału przy cyklicznej zmianie temperatury pracy oraz potwierdzenie zgodności ze standardem sygnału wyjściowego.

3. Test na wibracje (Test zakresu częstotliwości)

Test ma na celu potwierdzenie braku nieprawidłowości w funkcjonowaniu liniału przy poddaniu go wibracjom o częstotliwości od 30Hz do 300Hz i maksymalnym przyspieszeniu $3g_n$.

4. Test na wibracje (Test przyspieszenia)

Test ma na celu potwierdzenie braku nieprawidłowości w funkcjonowaniu liniału przy poddaniu go wibracjom o specyficznej i częstotliwości nierezonansowej.

5. Test zakłóceń

Test zakłóceń przeprowadzany jest według dyrektywy EMC EN61326-1+A1:1998.

6. Test na upuszczenie

Test zakłóceń przeprowadzany jest według JISZ0200 (Test na upuszczanie materiału o wysokiej trwałości)

Słownictwo

■ System Absolute

Tryb pomiaru, w którym każdy pomiar punktu jest wykonywany w odniesieniu do stałego punktu początkowego.

■ System Inkrementalny

Tryb pomiaru, w którym każdy pomiar punktu jest wykonywany w odniesieniu do określonego punktu zapisanego jako punkt odniesienia.

■ Przesunięcie początku

Funkcja umożliwiająca przesuwanie środka układu współrzędnych do innego punktu przesuniętego względem punktu początkowego. Aby ta funkcja mogła działać, system musi mieć na stałe zapisany punkt początkowy.

■ Przywracanie punktu początkowego

Funkcja zatrzymująca maszynę w każdej z osi ściśle określonej specyficznej dla maszyny pozycji. Zatrzymanie następuje przy jednoczesnym spowolnieniu jej za pomocą zintegrowanych przełączników krańcowych.

■ Sterowanie sekwencyjne

Typ sterowania, który wykonuje kroki sterowania według ustalonej kolejności.

■ Sterowanie numeryczne

Sposób sterowania ruchami maszyny za pośrednictwem poleceń kodowych utworzonych i zaimplementowanych przy pomocy komputera (CNC). Sekwencja poleceń tworzących zwykle 'program części', który nakazuje maszynie wykonywanie pełnego zestawu operacji na przedmiocie pomiaru lub obróbki.

■ Wyjście binarne

Wyjście danych w postaci dwójkowej (zera i jedynki) reprezentujące liczby, których kolejne cyfry są całkowitymi potęgami liczby 2.

■ RS-232C

Standard interfejsu wykorzystującego asynchroniczną metodę szeregową transmisji danych poprzez niezrównoważoną linię wymiany danych pomiędzy znajdującymi się stosunkowo niedaleko od siebie nadajnikami. Jest to sposób komunikacji wykorzystywany głównie do łączenia komputera osobistego z jego peryferiami.

■ Wyjście nadajnika linii

To wyjście oferuje wysokie, bo trwające od kilkudziesięciu do kilkuset nanosekund, szybkości przesyłu danych oraz relatywnie długą, bo do kilkuset metrów odległość transmisji danych. Jako interfejs do łączenia za sterownikiem NC w systemie z liniałami pomiarowymi zastosowano w nim różnicowo-napięciowy nadajnik linii (kompatybilny z RS422A).

■ BCD

Notacja wyrażająca cyfry od 0 do 9 liczby w systemie dziesiętnym jako sekwencję czterech bitów. Jednokierunkowe wyjście danych jest typu TTL lub otwarty kolektor.

■ RS-422

Standard interfejsu danych wykorzystujący szeregową transmisję bitów w postaci różnicowej poprzez zrównoważoną linię transmisyjną. RS-422 charakteryzują najwyższe szybkości transmisji i możliwość działania przy niesymetrycznym napięciu zasilania +5V.

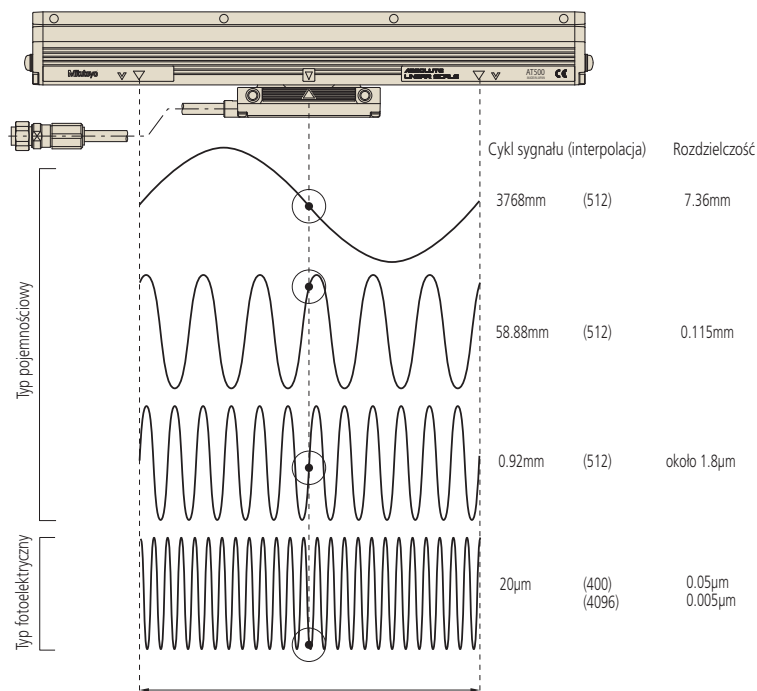
■ Dokładność

Specyfikacja dokładności liniału podana jest jako oczekiwany błąd maksymalny pomiędzy pozycją rzeczywistą a wskazywaną w dowolnym punkcie zakresu pomiarowego i w temperaturze 20°C. Jako że nie istnieją żadne międzynarodowe normy dotyczące liniałów, każdy producent ma swój własny sposób definiowania dokładności. Dokładności podane w naszym katalogu zostały wyznaczone przy zastosowaniu interferometrii laserowej.

■ Dokładność w wąskim zakresie

Działki skali liniału zwykle rozmieszczone są w odstępach 20µm, chociaż ta wartość, w zależności od typu liniału, może być inna. Dokładność w wąskim zakresie dotyczy dokładności wyznaczonej poprzez pomiar jednej działki każdej skali na granicy rozdzielczości (np. 1µm).

Zasada działania liniału typu Absolute (Przykład: AT300, 500-S/H)

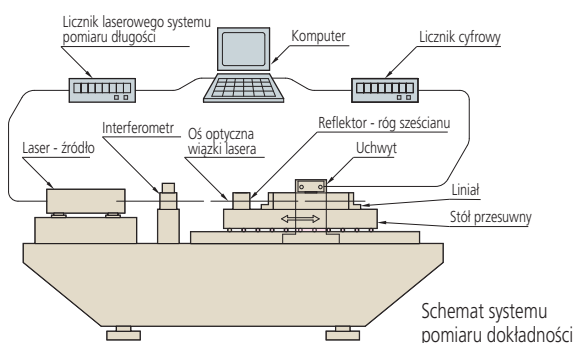


Po podłączeniu zasilania do liniału, pobierane są odczyty pozycji z trzech pod-liniałów pojemnościowych (COArse, MEDium oraz FINE) i jednego fotoelektrycznego (OPTical). Te pod-liniały wykorzystują taką kombinację przebiegów wyjściowych i są wzajemnie ustawione w taki sposób, że odczyty w dowolnej pozycji stanowią unikalną kombinację, na podstawie której mikroprocesor oblicza pozycję głowicy odczytowej względem liniału z rozdzielczością 0,05μm (0,005μm).

Wyznaczanie dokładności liniałów

Dokładność wskazywania pozycji

Dokładność liniału wyznaczana jest poprzez porównywanie wartości pozycji odczytywanych w regularnych odstępach z liniału z odpowiednimi wartościami uzyskiwanymi z laserowego systemu pomiaru długości przy użyciu systemu kontroli, takiego jak na rysunku poniżej. W związku z tym, że temperatura otoczenia podczas inspekcji wynosi 20°C, określona dokładność charakteryzuje liniał tylko w tej temperaturze. Dla zachowania zgodności z innymi normami pomiaru można wykonywać w innych temperaturach.



Dokładność liniału w każdym punkcie jest określona wartością błędów obliczaną zgodnie z poniższym wzorem:

Błąd = Wartość wskazywana przez liniał
- odpowiednia wartość z laserowego systemu pomiarowego

Wykres przedstawiający błąd w każdym punkcie efektywnego zakresu pozycjonowania nazywany jest diagramem dokładności. Istnieją dwie, opisane poniżej, metody określania dokładności liniału, nierównoważona i zrównoważona.

(1) Wyznaczanie dokładności nierównoważonej - błąd maksimum minus minimum

W tej metodzie z diagramu dokładności wyznaczana jest po prostu różnica maksymalnego i minimalnego odczytu, jak pokazano poniżej. Zgodnie z wzorem: $E = (\alpha + \beta L) \mu m$. L jest efektywnym zakresem pomiarowym (mm), α i β są współczynnikami określonymi dla każdego modelu.

Na przykład, jeśli określony typ liniału ma dokładność $(3 + \frac{3L}{1000}) \mu m$ i efektywny zakres pomiarowy $L=1000mm$, E wynosi 6μm.



(2) Dokładność zrównoważona - plus minus względem wartości średniej

Ta metoda określa błąd maksymalny w odniesieniu do wartości średniej błędów wyznaczanego z diagramu dokładności. Zgodnie ze wzorem: $e = \pm \frac{E}{2} (\mu m)$. Jest ona wykorzystywana przy specyfikacji dokładności liniałów specjalnego typu (retrofit).



Liniał wykrywa przemieszczenie w oparciu skalę o stałych odstępach.

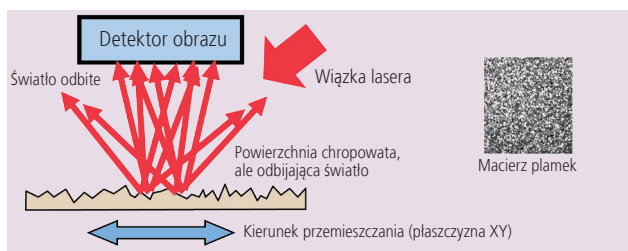
W procesie detekcji skali uzyskiwane są dwa przesunięte w fazie sygnały sinusoidalne o okresie takim samym, jak odstęp skali. Interpolacja tych sygnałów w układzie elektrycznym umożliwia odczyt wartości mniejszych niż działka skali poprzez generowanie impulsów odpowiadających wymaganej rozdzielczości. Na przykład, jeśli działka skali wynosi 20μm, interpolacja wartości generuje rozdzielczość 1μm.

Dokładność tego procesu nie jest pozbawiona błędów i nazywana jest dokładnością interpolacji. Całkowita dokładność pozycjonowania liniałów zależy zarówno od błędów skali jak i dokładności interpolacji.

■ Korelacja obrazu i dwuwymiarowy enkoder MICSYS

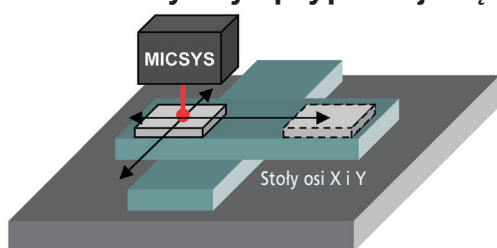
Zasada pomiaru

Przy oświetlaniu obiektu o powierzchni chropowatej wiązką lasera, odbite koherentne światło emitowane z powierzchni w różnych kierunkach tworzy widoczną interferencję w postaci macierzy plamek. W odpowiedzi na przemieszczanie obiektu w płaszczyźnie xy, macierz plamek również się przemieszcza. Przemieszczenie obiektu można obliczyć na podstawie porównania obrazów plamek przed i po przemieszczeniu metodą korelacji obrazów. Ta zasada jest wykorzystywana w wysokiej precyzji systemie pomiarowym MICSYS.

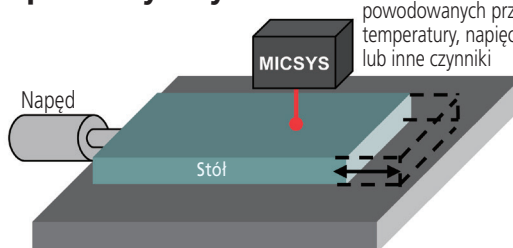


Zastosowanie

1. Ocena stołów używanych przy produkcji urządzeń pomiarowych i systemów kontroli

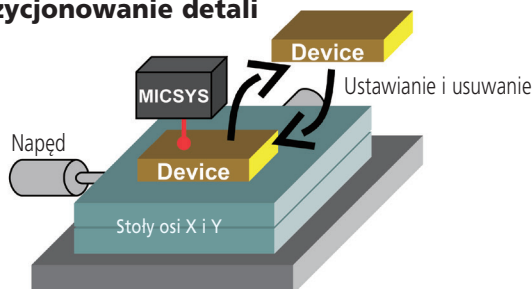


a) Ocena powtarzalności pozycjonowania

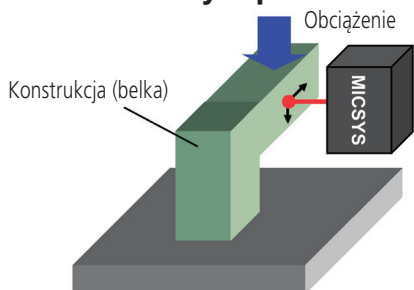


b) Ocena stabilności ustalonej pozycji i dryftu

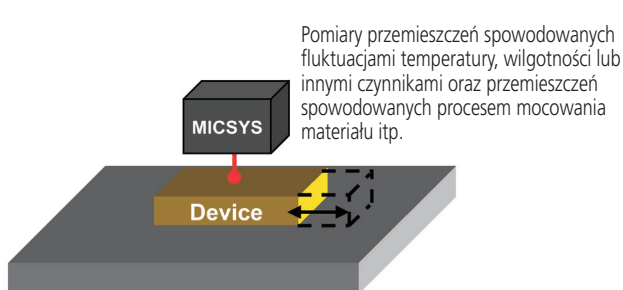
2. Wysokiej precyzji pozycjonowanie detali



3. Pomiar drobnych przemieszczeń



a) Pomiar niewielkiego przemieszczenia konstrukcji

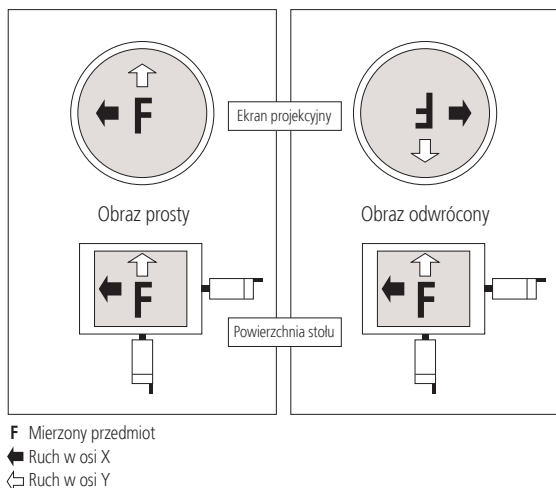


b) Pomiar niewielkiego przemieszczenia przedmiotu



■ Obraz prosty i odwrócony

Obraz obiektu rzutowanego na ekran jest prosty, jeśli jest on zorientowany w taki sam sposób, jak obiekt na stole. Jeśli obraz jest odwrócony góra na dół i lewą stronę na prawą oraz przemieszcza się on w kierunkach przeciwnych w do ruchu obiektu na stole (jak pokazuje rysunek poniżej) nazywany jest obrazem odwróconym.



■ Dokładność powiększenia

Dokładność powiększenia projektora przy stosowaniu określonego obiektywu wyznacza się poprzez rzutowanie obrazu obiektu referencyjnego i porównywanie rozmiaru obrazu tego obiektu mierzonego na ekranie z rozmiarem oczekiwanym (obliczonym na podstawie deklarowanego powiększenia) w celu obliczenia procentowej wartości dokładności powiększenia, według wzoru zamieszczonego poniżej. Obiekt referencyjny ma często postać małego liniału szklanego zwanego 'mikrometrem szklanym' lub 'liniałem wzorcowym', a jego powiększony obraz mierzony jest za pomocą większego liniału szklanego, znanego jako 'liniał odczytowy'.

(Note that magnification accuracy is not the same as measuring accuracy.)

$$\Delta M(\%) = \frac{L - \ell M}{\ell M} \times 100$$

$\Delta M(\%)$: Dokładność powiększenia wyrażona jako procentowa wartość nominalnego powiększenia obiektywu
 L : Długość rzutowanego obrazu obiektu referencyjnego mierzonego na ekranie
 ℓ : Długość obiektu referencyjnego
 M : Powiększenie obiektywu projekcyjnego

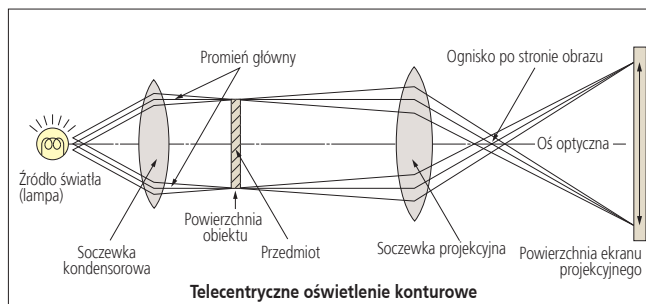
■ Typ oświetlenia

- **Oświetlenie konturowe**: Sposób oświetlania służący do obserwacji przedmiotu w świetle przechodzącym, wykorzystywany głównie do pomiaru obrazu konturowego mierzonego przedmiotu.
- **Współosiowe oświetlenie powierzchni**: Sposób oświetlania, przy którym przedmiot mierzony jest oświetlany światłem przechodzącym przez obiektyw, służy do obserwacji/pomiaru powierzchni. (Wymagane jest lustro półprzepuszczalne lub obiektyw z lustrem półprzepuszczalnym.)
- **Oświetlenie powierzchni światłem padającym**: Sposób oświetlenia powierzchni przedmiotu światłem z padającym boku osi optycznej. Zapewnia on obraz o zwiększonym kontraście, pozwalający na obserwację trójwymiarowych cech powierzchni. Należy jednak pamiętać, że przy tej metodzie oświetlania mogą występować błędy pomiarów. (Wymagane jest lustro oświetlenia bocznego. Modele serii PJ-H30 są wyposażone w takie lustro.)

■ Telecentryczny system optyczny

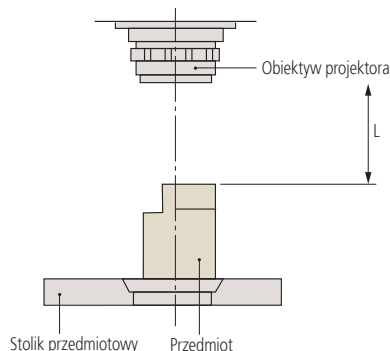
System optyczny wykorzystujący fakt równoległego przebiegu promienia głównego do osi optycznej dzięki zastosowaniu przysłony w ognisku po stronie obrazu. Właściwością tego systemu jest to, że w wyniku przesuwania obiektu w osi optycznej jego obraz, chociaż traci ostrość, nie zmienia wymiarów.

W przypadku projektorów i mikroskopów pomiarowych, identyczny efekt uzyskuje się poprzez umieszczenie żarnika lampy w ognisku soczewki kondensorowej, co powoduje, że obiekt oświetlany jest promieniami równoległymi. (Patrz rysunek poniżej.)



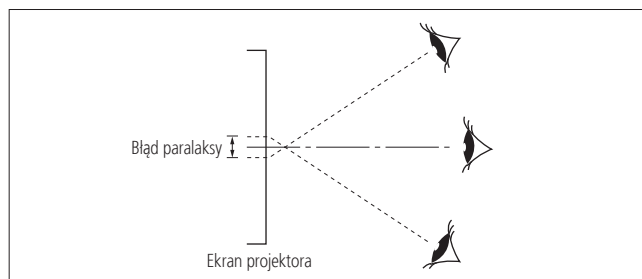
■ Odległość robocza

Jest to odległość od powierzchni soczewki obiektywu do powierzchni przedmiotu przy zogniskowaniu. Na poniższym rysunku oznaczona jest literą L .



■ Błąd paralaksy

Jest to przemieszczenie obiektu względem stałego tła spowodowane zmianą pozycji obserwatora i skończoną odległością powierzchni obiektu od powierzchni tła.



■ Średnica pola widzenia

Maksymalna średnica mierzonego przedmiotu obserwowana przy użyciu określonego obiektywu.

$$\text{Średnica pola widzenia (mm)} = \frac{\text{Średnica ekranu projektora}}{\text{Powiększenie stosowanego obiektywu}}$$

Przykład: Przy stosowaniu obiektywu o powiększeniu 5X
 w projektorze o ekranie $\varnothing 500\text{mm}$:
 Średnica pola widzenia wynosi: $\frac{500\text{mm}}{5} = 100\text{mm}$



■ Apertura numeryczna (NA)

Liczba NA jest ważna ponieważ określa moc rozdzielczą obiektywu. Im większa jest wartość NA, tym drobniejsze szczegóły stają się widoczne. Obiektywy o większej NA gromadzą również więcej światła i zwykle zapewniają jaśniejszy obraz o węższej głębi ostrości niż te o mniejszej wartości NA.

$$NA = n \cdot \sin \theta$$

Powyższy wzór pokazuje, że NA zależy od n , współczynnika załamania ośrodka występującego pomiędzy zewnętrzną częścią obiektywu a badaną próbką (dla powietrza $n=1,0$) oraz od kąta θ , który stanowi połowę kąta maksymalnego stożka światła docierającego do obiektywu.

■ Zdolność rozdzielcza (R)

Najmniejsza wykrywalna odległość pomiędzy dwoma punktami obrazu, reprezentująca granicę rozdzielczości. Zdolność rozdzielcza (R) jest określona przez aperturę numeryczną (NA) i długość fali (λ) światła.

$$R = \frac{\lambda}{2 \cdot NA} \quad (\mu m)$$

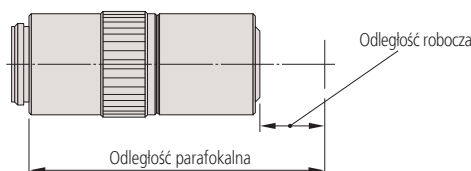
$\lambda = 0,55 \mu m$ jest często wykorzystywana jako długość fali odniesienia

■ Odległość robocza (W.D.)

Odległość pomiędzy przednim końcem obiektywu mikroskopu a powierzchnią przedmiotu mierzonego, na której uzyskuje się najostrzejszy obraz.

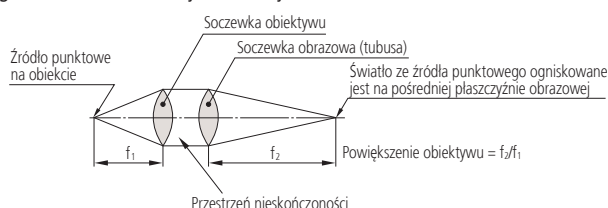
■ Odległość parafokalna

Odległość pomiędzy pozycją montażową obiektywu mikroskopu a powierzchnią przedmiotu, przy której uzyskuje się najostrzejszy obraz. Obiektywy montowane razem na tej samej głowicy rewolwerowej powinny mieć tę samą odległość parafokalną, aby po zmianie obiektywu ponowne ogniskowanie wymagane było w jak najmniejszym stopniu.



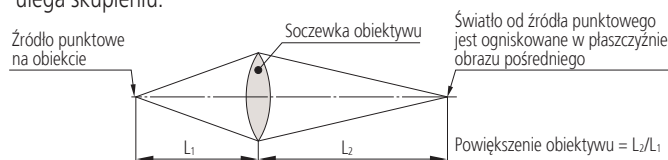
■ Układ skorygowany na nieskończoność

Układ optyczny, gdzie obiektyw tworzy obraz w nieskończoności a soczewka tubusu tworząca obraz pośredni jest umieszczona w tubusie pomiędzy obiektywem a okulem. Po przejściu przez obiektyw światło przechodzi równoległe do osi optycznej do soczewki tubusu poprzez obszar nazywany 'przestrzenią nieskończoności', wewnątrz której można umieszczać dodatkowe komponenty, takie jak pryzmaty kontrastu różnicowo-interferencyjnego (DIC), polaryzatory, itp. przy minimalnym wpływie na ogniskowanie i korekcje aberracji.



■ Układ skorygowany na skończoną długość tubusu

Układ optyczny wykorzystujący obiektyw do tworzenia obrazu pośredniego w skończonej pozycji. Światło od obiektu przechodzące przez obiektyw jest kierowane ku płaszczyźnie obrazu pośredniego (znajdującej się w przedniej płaszczyźnie ogniskowej okularu), gdzie ulega skupieniu.



■ Ogniskowa (f)

jednostka: mm

Odległość od punktu głównego do ogniska soczewki: jeśli f_1 reprezentuje ogniskową obiektywu a f_2 reprezentuje ogniskową soczewki tworzącej obraz (tubusu), to powiększenie jest określone przez ich iloraz. (W przypadku układu z korekcją do nieskończoności.)

$$\text{Powiększenie obiektywu} = \frac{\text{Ogniskowa soczewki obrazowej (tubusu)}}{\text{Ogniskowa obiektywu}}$$

Przykład: $1X = \frac{200}{200}$ Przykład: $10X = \frac{200}{20}$

■ Ognisko

Promień światła równoległe do osi optycznej soczewki skupiającej, przechodząc przez nią zostają skupione (lub zogniskowane) w punkcie na tej osi znanym jako ognisko tylne, lub ognisko obrazowe.

■ Głębina ostrości (DOF)

jednostka: mm

Głębina ostrości jest to odległość (mierzona w kierunku osi optycznej) pomiędzy dwoma płaszczyznami określającymi granice dopuszczalnej ostrości obrazu przy zogniskowaniu na obiekcie. Im większa jest apertura numeryczna (NA) tym głębina ostrości staje się płytsza, jak pokazuje poniższy wzór:

$$DOF = \frac{\lambda}{2 \cdot (NA)^2} \quad \lambda = 0,55 \mu m - \text{często stosowana długość fali odniesienia}$$

Przykład: Dla obiektywu **M Plan Apo 100X (NA = 0.7)**

$$\frac{0,55 \mu m}{2 \times 0,7^2} = 0.6 \mu m$$

■ Jasne pole widzenia i ciemne pole widzenia

Przy obserwacji w jasnym polu widzenia pełny stożek światła jest ogniskowany przez obiektyw na powierzchni badanego obiektu. Jest to zwykły tryb obserwacji na mikroskopie optycznym. Przy obserwacji w polu ciemnym, wewnętrzna część stożka światła jest blokowana, w taki sposób że powierzchnia jest oświetlana światłem pod kątem. Ciemne pole widzenia jest przydatne przy wykrywaniu zarysowań powierzchni i zanieczyszczeń.

■ Obiektyw apochromatyczny i achromatyczny

Obiektyw apochromatyczny jest soczewką z wprowadzonymi korekcjami aberracji chromatycznej (rozszczepienia barw) dla trzech barw (czerwonej, niebieskiej, żółtej).

Obiektyw achromatyczny jest soczewką z korekcjami aberracji chromatycznej dla dwóch barw (czerwonej, niebieskiej).

■ Powiększenie

Stosunek rozmiaru obrazu powiększonego, utworzonego w układzie optycznym do rozmiaru samego obiektu. Termin powiększenie zwykle odnosi się do powiększenia poprzecznego, chociaż może również oznaczać powiększenie podłużne i kątowe.

■ Promień główny

Promień emitowany od obiektu w miejscu przechodzenia osi optycznej i przechodzący przez środek przesłony aperturowej układu optycznego.

■ Przesłona aperturowa

Regulowana okrągła przesłona, która ogranicza ilość światła przechodzącego przez system optyczny. Średnica otworu przesłony wpływa na jasność obrazu i głęboką ostrość.

■ Przesłona polowa

Przesłona, która ogranicza pole widzenia przyrządu optycznego.

■ Układ telecentryczny

Układ optyczny, w którym promienie światła są równoległe do osi optycznej w przestrzeni obiektu i obrazu. Oznacza to, że powiększenie pozostaje stałe w pewnym zakresie odległości roboczych, co prawie eliminuje zniekształcenia perspektyw.

■ Obraz prosty

Obraz, przy którym strona lewa, prawa, góra i dół oraz kierunki przemieszczania są takie same jak obiektu na stoliku przedmiotowym.

■ Numer pola (FN), tylne pole widzenia i powiększenie na ekranie monitora

unit: mm

Zakres obserwacji powierzchni próbki jest ograniczony średnicą przesłony polowej okularu. Wartość tej średnicy w milimetrach nazywana jest numerem pola (FN). W przeciwieństwie do FN, rzeczywiste pole widzenia jest to zakres powierzchni obserwowanego przedmiotu po powiększeniu i obserwacji przez obiektyw.

Rzeczywiste pole widzenia wyraża poniższy wzór:

(1) Obszar obiektu jaki może być obserwowany za pomocą mikroskopu (średnica)

$$\text{Rzeczywiste pole widzenia} = \frac{\text{FN okularu}}{\text{Powiększenie obiektywu}}$$

$$\begin{aligned} \text{Przykład: Rzeczywiste pole widzenia obiektywu 1X wynosi } 24 &= \frac{24}{1} \\ \text{Rzeczywiste pole widzenia obiektywu 10X wynosi } 2,4 &= \frac{24}{10} \end{aligned}$$

(2) Zakres obserwacji na monitorze

$$\text{Zakres obserwacji na monitorze} = \frac{\text{Rozmiar matrycy kamery (przekątna)}}{\text{Powiększenie obiektywu}}$$

● Rozmiar detektora obrazu

Format	Przekątna	Długość	Wysokość
0,847 cm / 1/3"	6.0	4.8	3.6
1,270 cm / 1/2"	8.0	6.4	4.8
1,693 cm / 2/3"	11.0	8.8	6.6

(3) Powiększenie na ekranie monitora

$$\begin{aligned} \text{Powiększenie na monitorze} = \\ \text{Powiększenie obiektywu} \times \frac{\text{Przekątna monitora}}{\text{Przekątna kamery}} \end{aligned}$$

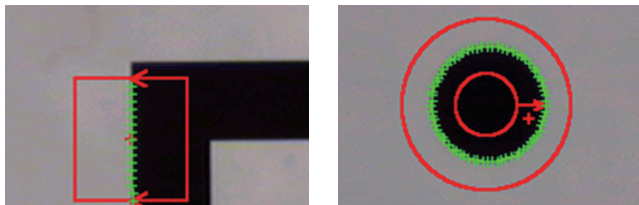


Pomiar wizyjny

Wizyjne maszyny pomiarowe posiadają jako najważniejsze następujące funkcje przetwarzania danych.

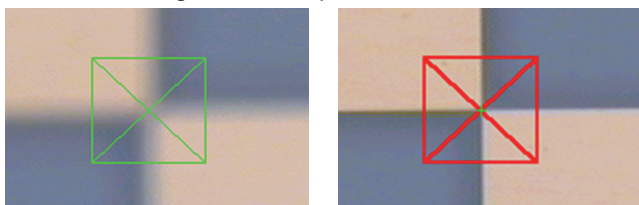
Wykrywanie krawędzi

Wykrywanie/pomiar krawędzi w płaszczyźnie XY



Auto ogniskowanie

Ogniskowanie i pomiar w osi Z



Rozpoznawanie wzoru

Budowa układu współrzędnych, pozycjonowanie i kontrola cechy.

Różnice w jakości obrazu

Różnica pomiędzy obrazem 2-poziomowym a obrazem w 256-poziomowej skali szarości



Przykładowy obraz w skali dwupoziomowej.

Przykładowy obraz w 256-poziomowej skali szarości

Zmiany obrazu w zależności od progu jasności

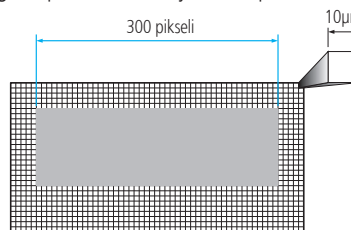


Te trzy ilustracje przedstawiają ten sam obraz wyświetlany w skali 2-poziomowej o różnych poziomach cięcia (progach jasności). Przy dwupoziomowej skali jasności w zależności od progu jasności powstają różne obrazy. Ze względu na silną zależność wartości liczbowych od poziomu progu jasności dwupoziomowa skala jasności nie jest wykorzystywana w pomiarach precyzyjnych.

Pomiary wymiarów

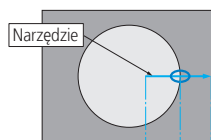
Obraz składa się z pikseli. Jeśli policzyć liczbę pikseli mierzonego wycinka i pomnożyć się przez rozmiar piksela, to długość wycinka można przedstawić w postaci liczbowej. Załóżmy na przykład, że całkowita liczba pikseli odpowiadająca długości boku prostokąta wynosi 300 pikseli, jak na rysunku poniżej.

Jeśli rozmiar piksela przy określonym powiększeniu obrazu to 10µm, to całkowita długość przedmiotu wynosi 10µm x 300 pikseli = 3000µm = 3mm.



Wykrywanie krawędzi

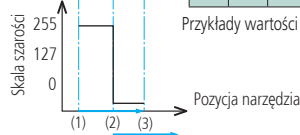
Sposób wykrywania krawędzi przedmiotu na obrazie opisano przy użyciu poniższego przykładowego obrazu monochromatycznego. Wykrywanie krawędzi odbywa się w określonym obszarze. Symbol, który graficznie określa ten obszar nazywany jest narzędziem. Dla różnej geometrii mierzonych przedmiotów czy danych pomiarowych przewidziane są różne narzędzia



System wykrywania krawędzi skanuje obszar narzędzia jak pokazano na rysunku po lewej i wykrywa granicę pomiędzy obszarami światła i cienia.

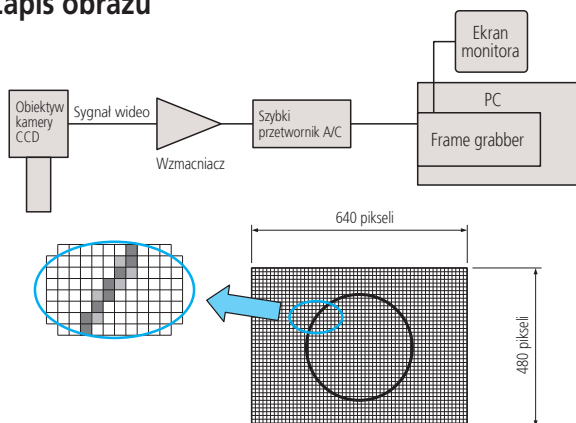
244	241	220	193	97	76	67	52	53	53
243	242	220	195	94	73	66	54	53	55
244	246	220	195	94	75	64	56	51	50

Przykłady wartości liczbowych przypisanych do pikseli narzędzia



- (1) Pozycja początkowa skanu
- (2) Pozycja wykrytej krawędzi
- (3) Pozycja końcowa skanu

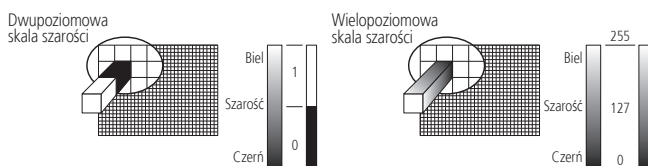
Zapis obrazu



Obraz składa się z regularnej macierzy pikseli. Jak obraz na precyzyjnie drukowanym papierze, gdzie każdy kwadrat jest wypełniany w całości.

Skala szarości

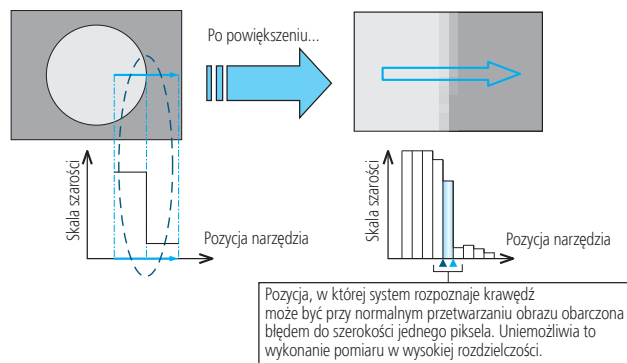
Komputer PC zapisuje obraz po wewnętrznej konwersji na wartości liczbowe. Wartość liczbową przypisywana jest każdemu pikselowi obrazu. Jakość obrazu zależy od tego ile poziomów szarości reprezentuje skala szarości. Komputery oferują dwa typy skali szarości: dwupoziomową i wielopoziomową. Zwykle piksele obrazu wyświetlane są 256-poziomowej skali szarości.



Piksele obrazu o jasności powyżej danego poziomu wyświetlane są jako białe, a pozostałe jako czarne.

Każdy z pikseli jest wyświetlany z jasnością na jednym z 256 poziomów pomiędzy czernią a bielą. Zapewnia to wyświetlanie obrazów w wysokiej jakości.

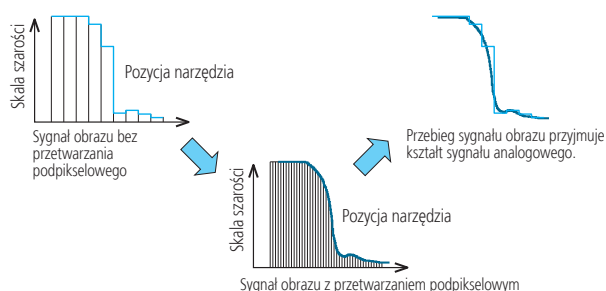
Pomiar wysokiej rozdzielczości



Aby zwiększyć precyzję wykrywania krawędzi stosuje się przetwarzanie podpikselowe.

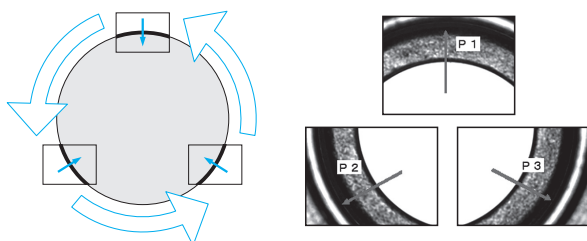
Krawędź jest wykrywana na podstawie krzywej interpolacji utworzonej z kolejnych sąsiadujących ze sobą pikseli jak pokazuje rysunek poniżej.

W wyniku czego możliwy jest pomiar z rozdzielczością większą niż wynikająca z rozmiaru pojedynczego piksela.



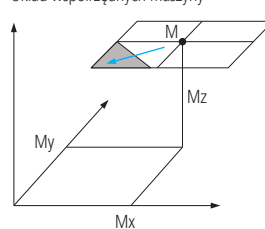
Pomiar fragmentów cechy na wielu obrazach

Duże cechy, które nie mieszczą się na ekranie muszą być mierzone z wykorzystaniem precyzyjnego sterowania pozycją kamery CCD i systemu stołu w taki sposób, że każdy punkt pomiarowy mierzony jest na innym obrazie. Tym sposobem, poprzez wykrywanie krawędzi w trakcie przesuwania systemu stołu nad mierzoną krawędzią, system jest w stanie mierzyć nawet bardzo duże cechy różnego typu przedmiotów.



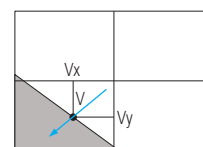
Złożone współrzędne punktu

Układ współrzędnych maszyny



Pozycja
 $M = (M_x, M_y, M_z)$

Układ współrzędnych wideo



Wykryta pozycja krawędzi
(odniesiona do środka układu wideo)
 $V = (V_x, V_y)$

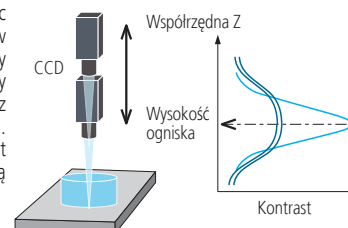
Aktualne współrzędne wynoszą: $X = (M_x + V_x)$, $Y = (M_y + V_y)$ i $Z = M_z$.

W związku z tym, że w trakcie pomiaru poszczególne zmierzone pozycje są zapisywane, system może bez problemu mierzyć wymiary, których nie widać na ekranie.

Zasada automatycznego ogniskowania

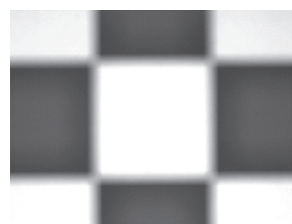
Wykorzystując obraz z samej kamery CCD, bez dodatkowego wyposażenia, system może wykonywać pomiary w płaszczyźnie XY, ale nie może wykonywać pomiarów wysokości. Dla pomiaru wysokości system jest zwykle wyposażony w mechanizm automatycznego ogniskowania (AF-Auto Focus). Poniżej wyjaśniono zasadę działania mechanizmu AF wykorzystującego obraz, chociaż niektóre systemy do ogniskowania mogą wykorzystywać AF laserowy.

System AF analizuje obraz przesuwając jednocześnie kamerę CCD w górę i w dół w osi Z. Jeśli podczas tej analizy obraz będzie ostry, to zarejestrowany zostanie wysoki kontrast, a jeśli obraz będzie nieostry kontrast będzie niski. Wysokość, na której rejestrowany jest najwyższy kontrast jest wysokością ogniska.

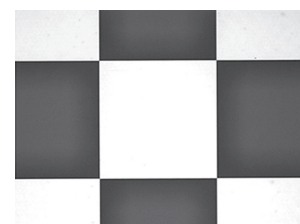


Zmiana kontrastu w zależności od zogniskowania

Kontrast krawędzi jest niski, ponieważ krawędzie nie leżą w ognisku.



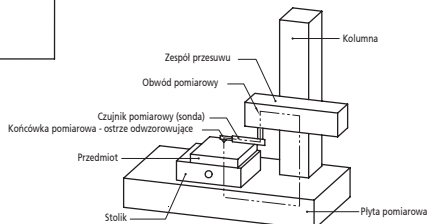
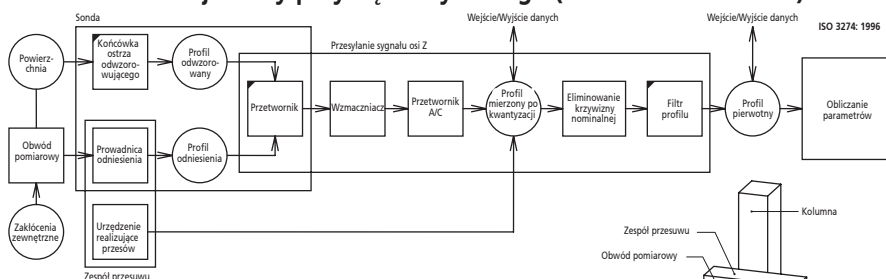
Kontrast krawędzi jest wysoki, ponieważ są one ostre i leżą w ognisku.





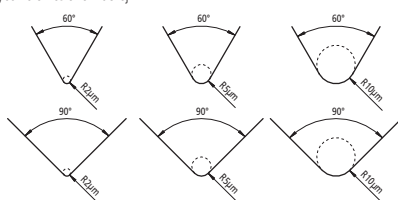
- ISO 1302: 2004 Specyfikacje geometrii wyrobu (GPS) - Oznaczenie struktury geometrycznej powierzchni w dokumentacji technicznej wyrobu
- ISO 4287: 1997 Specyfikacje geometrii wyrobu (GPS) - Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa - Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni
- ISO 4288: 1996 Wymagania geometryczne wyrobów (GPS) - Struktura geometryczna powierzchni: Zasady i procedury oceny struktury geometrycznej powierzchni metodą profilową
- ISO 3274: 1996 Specyfikacje geometrii wyrobu (GPS) - Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa - Charakterystyki nominalne przyrządów stykowych (z ostrzem odwzorowującym)

Schemat funkcjonalny przyrządu stykowego (końcówka ostrzowa)



Kształt końcówki

Typowy kształt końcówki to zakończony sferycznie stożek
 Promień końcówki: $r_{10} = 2 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$ lub $10 \mu\text{m}$
 Kąt stożka: 60° , 90°
 Najczęściej chropowościomierze wykorzystują końcówki o kącie 60° , chyba że określono inaczej.



Statyczny nacisk pomiarowy

Nominalny promień krzywizny końcówki: μm	Statyczny nacisk pomiarowy w średnim położeniu końcówki: mN	Tolerancja zmienności statycznego nacisku pomiarowego: mN/ μm
2	0,75	0,035
5	0,75 (4,0) Uwaga 1	0,2
10		

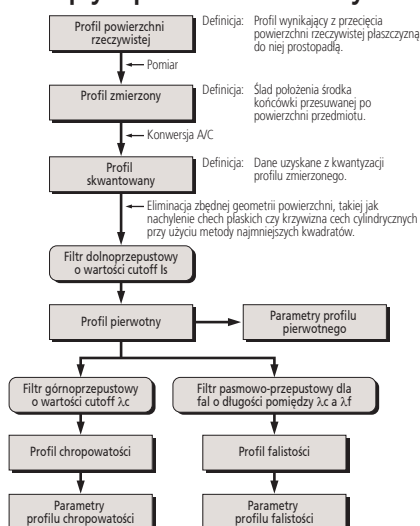
Uwaga 1: Maksymalna wartość statycznego nacisku pomiarowego w średnim położeniu końcówki ma wynosić 4,0 mN dla sond o budowie specjalnej z uwzględnieniem wymiennych końcówek.

Charakterystyka metrologiczna filtrów z korekcją fazy

ISO 11562: 1996

Filtr profilu jest filtrem z korekcją fazy bez opóźnienia fazowego (przyczyny zniekształceń profilu zależnych od długości fali). Funkcję wagi filtra z korekcją fazy charakteryzuje rozkład normalny (Gausa), w którym przeniesienie amplitudy na granicznych długościach fal (cutoff) wynosi 50%.

Przebieg przetwarzania danych



Zależność pomiędzy wartością Cutoff a promieniem końcówki

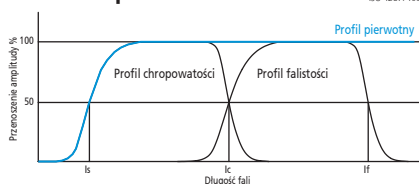
Poniższa tabela przedstawia zależność pomiędzy wartością cutoff profilu chropowości λ_c , promieniem końcówki r_{10} a współczynnikiem λ_c/r_{10} .

λ_c mm	λ_s μm	λ_c/r_{10}	Maksymalny r_{10} μm	Maksymalny odcinek elementarny mm
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.8	2.5	300	2 Uwaga 1	0.5
2.5	8	300	5 Uwaga 2	1.5
8	25	300	10 Uwaga 2	5

Uwaga 1: Dla powierzchni o $Rz=0,5 \mu\text{m}$ lub $Rz=3 \mu\text{m}$, zwykle nie wystąpi znaczący błąd pomiaru nawet jeśli $r_{10}=5 \mu\text{m}$.
 Uwaga 2: Jeśli wartość cutoff λ_c jest równa 2,5 μm lub 8 μm , tłumienie sygnału związane z efektem filtrowania mechanicznego końcówki o zalecanym promieniu wypadła poza pasmem przepustowym profilu chropowości. Dlatego też niewielka odchyłka wartości λ_c kształtu promienia nie wpływa na wartości parametrów obliczone z pomiarów. Jeśli wymagane jest określona wartość współczynnika cutoff, musi być ona podana.

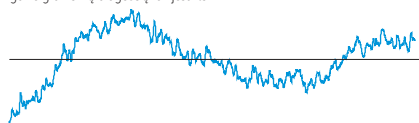
Profile powierzchni

ISO 4287: 1997



Profil pierwotny

Profil uzyskany z profilu mierzonego po zastosowaniu filtra dolnoprzepustowego, gdzie graniczną długością fali jest λ_s .



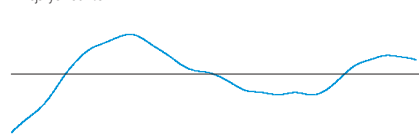
Profil chropowości

Profil uzyskany z profilu pierwotnego poprzez eliminację składowych o większych długościach fal przy użyciu filtra górnoprzepustowego o granicznej długości λ_c .



Profil faliści

Profil uzyskany poprzez zastosowanie filtra pasmowo-przepustowego do profilu pierwotnego w celu usunięcia fal o długościach większych od λ_c i mniejszych od λ_f .



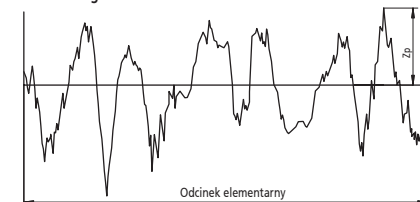
Definicja parametrów

ISO 4287: 1997

Parametry amplitudowe (wzniesienie i wgłębienie)

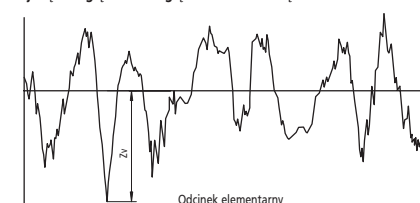
Maksymalna wysokość wzniesienia profilu pierwotnego P_p
 Maksymalna wysokość wzniesienia profilu chropowości R_p
 Maksymalna wysokość wzniesienia profilu faliści W_p

Największa wysokość wzniesienia profilu Z_p wewnątrz odcinka elementarnego



Maksymalna głębokość wgłębienia profilu pierwotnego P_v
 Maksymalna głębokość wgłębienia profilu chropowości R_v
 Maksymalna głębokość wgłębienia profilu faliści W_v

Największa głębokość wgłębienia Z_v wewnątrz odcinka elementarnego



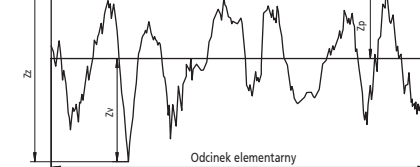
Maksymalna wysokość profilu pierwotnego P_z

Maksymalna wysokość profilu chropowości R_z

Maksymalna wysokość profilu faliści W_z

Suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Z_p i głębokości

najgłębszej wgłębienia Z_v wewnątrz odcinka elementarnego



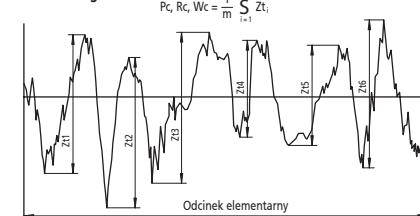
W starej normie JIS oraz ISO 4287-1: 1984, poprzez R_z oznaczano "dziesięciopunktową wysokość nierówności". Należy zachować ostrożność ponieważ różnice pomiędzy wynikami uzyskiwanymi według obowiązujących i starych norm nie zawsze są pomijalnie małe. (Należy upewnić się, czy zapis w rysunku technicznym zgodny jest ze starymi czy z nowymi normami.)

Średnia wysokość elementów profilu pierwotnego P_c

Średnia wysokość elementów profilu chropowości R_c

Średnia wysokość elementów profilu faliści W_c

Średnia wartość wysokości elementów profilu Z_t wewnątrz odcinka elementarnego



Całkowita wysokość profilu pierwotnego P_t

Całkowita wysokość profilu chropowości R_t

Całkowita wysokość profilu faliści W_t

Suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Z_p i głębokości

najgłębszego wgłębienia Z_v wewnątrz odcinka elementarnego



Parametry amplitudowe (średnia rzędnych)

Średnia arytmetyczna odchyłek profilu pierwotnego P_a
Średnia arytmetyczna odchyłek profilu chropowatości R_a
Średnia arytmetyczna odchyłek profilu faliści W_a

Średnia arytmetyczna wartości bezwzględnych rzędnych $Z(x)$ na odcinku elementarnym

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

przy l jako l_p , l_r lub l_w zależnie od parametru.

Średnia kwadratowa odchyłek profilu pierwotnego P_q
Średnia kwadratowa odchyłek profilu chropowatości R_q
Średnia kwadratowa odchyłek profilu faliści W_q

Średnia kwadratowa rzędnych profilu $Z(x)$ na długości odcinka elementarnego

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

przy l jako l_p , l_r lub l_w zależnie od parametru.

Skośność profilu pierwotnego P_{sk}
Skośność profilu chropowatości R_{sk}
Skośność profilu faliści W_{sk}

Iloraz wartości średniej trzeciej potęgi rzędnych $Z(x)$ i odpowiednio trzeciej potęgi P_q , R_q lub W_q na długości odcinka elementarnego

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{l} \int_0^l Z^3(x) dx \right]$$

Powyższe równanie definiuje R_{sk} . Definicja P_{sk} i W_{sk} jest podobna. P_{sk} , R_{sk} oraz W_{sk} są miarami asymetrii funkcji gęstości prawdopodobieństwa wartości rzędnych.

Kurtoza profilu pierwotnego P_{ku}
Kurtoza profilu chropowatości R_{ku}
Kurtoza profilu faliści W_{ku}

Iloraz średniej czwartej potęgi wartości rzędnych $Z(x)$ i odpowiednio czwartej potęgi P_q , R_q lub W_q na długości odcinka elementarnego

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[\frac{1}{l} \int_0^l Z^4(x) dx \right]$$

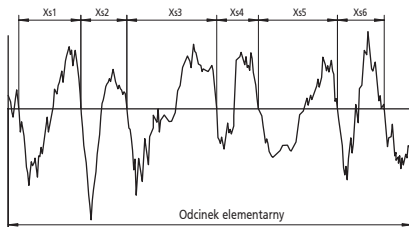
Powyższe równanie definiuje R_{ku} . Definicja P_{ku} i W_{ku} jest podobna. P_{ku} , R_{ku} i W_{ku} są miarami nachylenia funkcji gęstości prawdopodobieństwa wartości rzędnych.

Parametry odległościowe

Średnia szerokość elementów profilu pierwotnego P_{sm}
Średnia szerokość elementów profilu chropowatości R_{sm}
Średnia szerokość elementów profilu faliści W_{sm}

Średnia wartość szerokości elementu profilu X_s na długości odcinka elementarnego

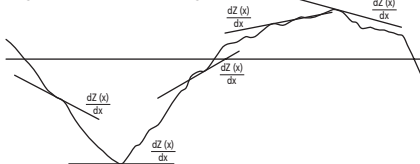
$$P_{sm}, R_{sm}, W_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



Parametry mieszane

Średni kwadratowy wznios profilu pierwotnego $P_{\Delta q}$
Średni kwadratowy wznios profilu chropowatości $R_{\Delta q}$
Średni kwadratowy wznios profilu faliści $W_{\Delta q}$

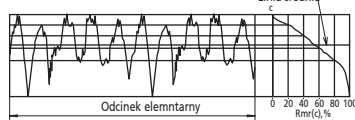
Średnia kwadratowa miejscowych wzniosów dZ/dx na długości odcinka elementarnego



Funkcja gęstości prawdopodobieństwa, krzywe i parametry powiązane

Krzywa udziału materiału profilu (krzywa Abbotta-Firestone'a)

Krzywa reprezentująca udział materiału w profilu jako funkcję poziomu cięcia c



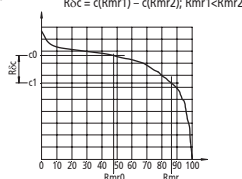
Współczynnik udziału materiału profilu pierwotnego $Pmr(c)$
Współczynnik udziału materiału profilu chropowatości $Rmr(c)$
Współczynnik udziału materiału profilu faliści $Wmr(c)$

Iloraz długości materiałowych elementów profilu $MI(c)$ na określonym poziomie cięcia c i długości odcinka pomiarowego

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{MI(c)}{l_n}$$

Różnica poziomów cięcia profilu pierwotnego $P_{\Delta c}$
Różnica poziomów cięcia profilu chropowatości $R_{\Delta c}$
Różnica poziomów cięcia profilu faliści $W_{\Delta c}$

Różnica wysokości udziału materiałowego między dwoma poziomami cięcia



Względny udział materiałowy profilu pierwotnego Pmr
Względny udział materiałowy profilu chropowatości Rmr
Względny udział materiałowy profilu faliści Wmr

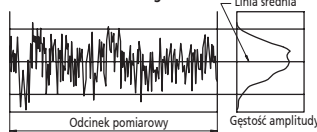
Współczynnik udziału materiałowego profilu obliczony na poziomie cięcia odniesienia c_0 i odciepie $R_{\Delta c}$ ($P_{\Delta c}$ lub $W_{\Delta c}$)

$$Pmr, Rmr, Wmr = Pmr(c_1), Rmr(c_1), Wmr(c_1)$$

gdzie $c_1 = c_0 - R_{\Delta c}$ ($P_{\Delta c}$, $W_{\Delta c}$)
 $c_0 = c(Pm_0, Rmr_0, Wmr_0)$

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa (krzywa rozkładu amplitudy wysokości profilu)

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rzędnych profilu $Z(x)$ na długości odcinka elementarnego

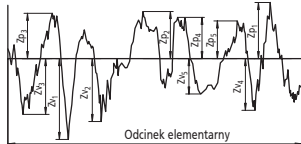


Parametry specyficzne dla normy JIS

Dziesięciopunktowa wysokość nieregularności, Rz_{10}

Suma średniej wartości bezwzględnych pięciu najwyższych wzniesień profilu i średniej wartości bezwzględnych pięciu najniższych wgłębień profilu mierzonych w odniesieniu do linii średniej odcinka elementarnego profilu chropowatości. Profil ten uzyskuje się z profilu pierwotnego po odfiltrowaniu filtrem pasmowoprzepustowym z korekcją fazy o wartościach cutoff f_c i f_s .

$$Rz_{10} = \frac{|Z_{p1} + Z_{p2} + Z_{p3} + Z_{p4} + Z_{p5}| + |Z_{v1} + Z_{v2} + Z_{v3} + Z_{v4} + Z_{v5}|}{5}$$



Symbol	Profil
Rz_{10S2}	Profil chropowatości po zmierzaniu
Rz_{10S4}	Profil chropowatości uzyskany z profilu pierwotnego przy użyciu filtra pasmowoprzepustowego z korekcją fazy

Średnia arytmetyczna odchyłek profilu Ra_{15}

Średnia arytmetyczna wartości bezwzględnych odchyłek profilu liczona od linii średniej profilu chropowatości (75%) na długości odcinka elementarnego. Profil ten uzyskuje się z profilu pierwotnego po odfiltrowaniu analogowym filtrem górnoprzepustowym ze współczynnikiem tłumienia 12db/oktawę i wartością cutoff λ_c .

$$Ra_{15} = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |Z(x)| dx$$

Odcinki elementarne dla parametrów chropowatości powierzchni

ISO 4288: 1996

Tabela 1: Odcinki elementarne dla nieokresowych parametrów chropowatości profilu (R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$), krzywa udziału materiału, funkcja gęstości prawdopodobieństwa i parametry powiązane

R_a μm	Odcinek elementarny l_r mm	Odcinek pomiarowy l_n mm
(0,006) < R_a ≤ 0,02	0,08	0,4
0,02 < R_a ≤ 0,1	0,25	1,25
0,1 < R_a ≤ 2	0,8	4
2 < R_a ≤ 10	2,5	12,5
10 < R_a ≤ 80	8	40

Tabela 2: Odcinki elementarne dla nieokresowych parametrów chropowatości profilu (R_z , R_v , R_p , R_c , R_t)

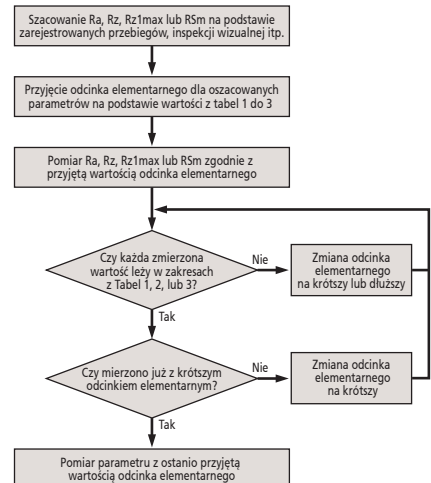
$R_z^{(1)}$ $R_z1max^{(2)}$ μm	Odcinek elementarny l_r mm	Odcinek pomiarowy l_n mm
(0,025) < R_z , R_z1max ≤ 0,1	0,08	0,4
0,1 < R_z , R_z1max ≤ 0,5	0,25	1,25
0,5 < R_z , R_z1max ≤ 10	0,8	4
10 < R_z , R_z1max ≤ 50	2,5	12,5
50 < R_z , R_z1max ≤ 200	8	40

1) R_z jest wykorzystywany do pomiaru R_z , R_v , R_p , R_c i R_t .
2) R_z1max wykorzystywany tylko do pomiaru R_z1max , R_v1max , R_p1max i R_c1max .

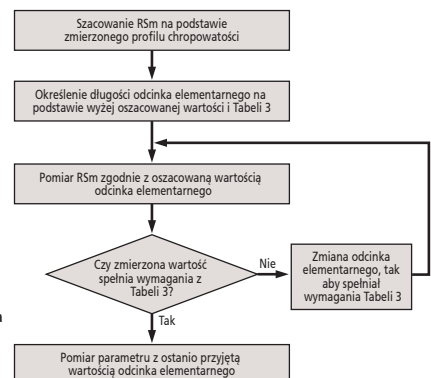
Tabela 3: Odcinki elementarne dla pomiaru okresowych parametrów chropowatości profilu i okresowego lub nieokresowego parametru R_{sm}

R_{sm} mm	Odcinek elementarny l_r mm	Odcinek pomiarowy l_n mm
0,013 < R_{sm} ≤ 0,04	0,08	0,4
0,04 < R_{sm} ≤ 0,13	0,25	1,25
0,13 < R_{sm} ≤ 0,4	0,8	4
0,4 < R_{sm} ≤ 1,3	2,5	12,5
1,3 < R_{sm} ≤ 4	8	40

Procedura ustalania odcinka elementarnego, gdy nie jest on określony.



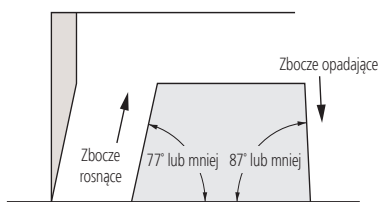
Rys.1 Procedura określania długości odcinka elementarnego profilu nieokresowego, jeśli nie został on określony wcześniej.



Rys.2 Procedura określania długości odcinka elementarnego profilu okresowego, jeśli nie został on określony wcześniej.



Kąt śledzenia

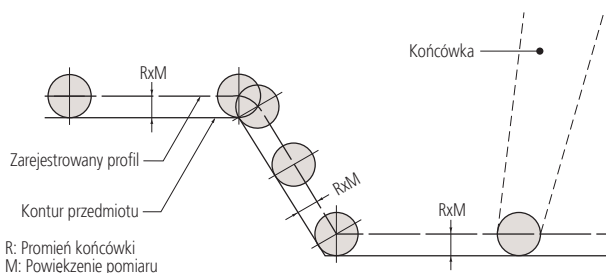


Maksymalny kąt, przy którym końcówka może przemieszczać się w górę i w dół wzdłuż konturu mierzonego przedmiotu w kierunku przejazdu końcówki nazywany jest kątem śledzenia. Jednostronnie ścięta końcówka o kącie ścięcia 12° (jak na rysunku powyżej) może śledzić zbocze rosnące pod kątem maksimum 77° , a zbocze opadające pod maksymalnym kątem 87° . W przypadku końcówki stożkowej (stożek 30°) kąt śledzenia jest mniejszy. Zbocze rosnące o kącie wznoszenia 77° lub nieco mniejszym może w rzeczywistości mieć kąt większy niż 77° ze względu na efekt jaki wnosi chropowatość powierzchni. Chropowatość powierzchni wpływa również na siłę nacisku pomiarowego.

W przypadku modelu CV-3200/4500 ten sam typ końcówki (SPH-71: jednostronnie ścięta, ostra końcówka o kącie 12°) może śledzić zbocze rosnące o kącie maksymalnym 77° i zbocze opadające o kącie 83° .

Kompensacja promienia końcówki

Zarejestrowany profil reprezentuje ślad środka kulistego zakończenia końcówki pomiarowej przesuwanego po mierzonej powierzchni. (Typowa wartość promienia to $0,025\text{mm}$.) Oczywiście nie jest to to samo co profil rzeczywistej powierzchni, więc aby uzyskać właściwy zapis profilu konieczne jest skompensowanie efektu jaki wnosi promień końcówki.

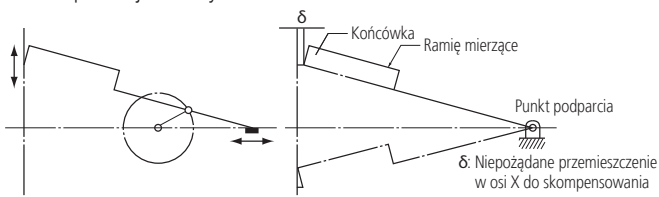


Jeśli profil jest odczytany bezpośrednio z rejestratora, konieczne jest uprzednie skompensowanie promienia końcówki stosownie do przyjętego powiększenia pomiaru.

Kompensacja obrotu ramienia

Kończówka pomiarowa prowadzona jest na przechylnym ramieniu, więc obraca się w miarę śledzenia powierzchni, co powoduje, że punkt styku nie przemieszcza się jedynie w kierunku osi Z. Dlatego też, dla zapewnienia właściwej dokładności konieczne jest zastosowanie kompensacji w kierunku osi X. Istnieją trzy metody kompensacji obrotu ramienia.

- 1: Kompensacja mechaniczna
- 2: Kompensacja elektryczna



- 3: Kompensacja programowa.

Aby dokładnie zmierzyć kontur przedmiotu wymagającego dużych przemieszczeń w pionie, należy zastosować jedną z tych metod kompensacji.

Dokładność

W związku z tym, że detektory osi X i Z wykorzystują linały, dokładność powiększenia wyświetlana jest nie jako wartość procentowa, ale jako dokładność liniowego przemieszczenia w każdej z osi.

Zabezpieczenie przed przeciążeniem

Jeśli na ostrze końcówki wywierana jest zbyt duża siła (przeciążenie) związana, być może, ze zbyt stromym zboczem cechy przedmiotu lub też wadami powierzchni itp., to specjalny układ zabezpieczający automatycznie zatrzymuje pracę przyrządu i włącza alarm dźwiękowy. Ten typ przyrządów jest zwykle wyposażony w oddzielne układy zabezpieczające dla kierunku śledzenia (oś X) i pionowego kierunku pomiaru (oś Y).

W modelu CV-3200/4500 układ zabezpieczający działa również po wyjęciu ramienia z uchwytu detektora.

Proste i złożone prowadzenie ramienia

W przypadku prostego ramienia przechylnego, ślad jaki kreśli końcówka podczas przemieszczania w pionie (kierunek Z) jest łukiem stwarzającym niepożądane przesunięcie w osi X, dla którego trzeba wykonać kompensację. Im dłuższy jest ten łuk tym większe jest niepożądane, wymagające kompensacji, przemieszczenie w osi X (δ). (Patrz rys. u dołu po lewej.) Alternatywą dla kompensacji jest stosowanie złożonego mechanicznego przemieszczania współbieżnego, dzięki któremu uzyskuje się liniowy ślad przemieszczenia w osi Z i można nie wykonywać kompensacji w osi X.

Metody pomiaru w osi Z

Chociaż ogólnie przyjętą metodą pomiaru przemieszczenia w osi X jest pomiar z wykorzystaniem linału cyfrowego, metody pomiaru w osi Z dzielą się zasadniczo na analogowe (ze stosowaniem przetwornika transformatorowo-różnicowego itp.) i cyfrowe.

Metody analogowe różnią się rozdzielczością w osi Z zależnie od powiększenia pomiaru i zakresu pomiarowego. Metody wykorzystujące linały cyfrowe charakteryzuje stała rozdzielczość.

Ogólnie pomiar cyfrowy zapewnia większą dokładność pomiaru niż analogowy.

■ Metody analizy konturu

Po ukończeniu operacji pomiaru kontur można analizować przy użyciu jednej z dwóch poniższych metod.

Sekcja przetwarzania danych i program do analizy

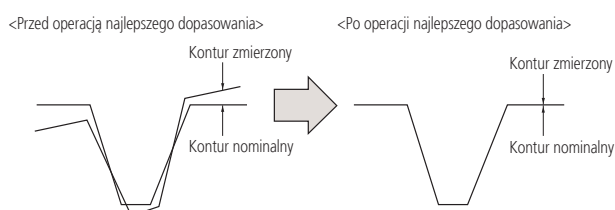
Zmierzony kontur wprowadzany jest w czasie rzeczywistym do sekcji przetwarzania danych a dedykowany program umożliwia wykonanie analizy przy użyciu myszy i/lub klawiatury. Kąty, promienie, wysokości, krok pomiaru i inne dane wyświetlane są bezpośrednio w postaci wartości liczbowych. Analiza z wykorzystaniem układów współrzędnych jest niezwykle prosta. Wykres po przejściu przez kompensację promienia końcówki przesyłany jest do drukarki jako zarejestrowany profil.

■ Tolerowanie z danymi nominalnymi

Zmierzony kontur przedmiotu można, w odróżnieniu od analizy wymiarów, poddać analizie odchyłek kształtu poprzez porównanie go z konturem nominalnym. W tej technice obliczana i rejestrowana jest każda odchyłka konturu mierzonego w odniesieniu do nominalnego. Konturem nominalnym może być również kontur zmierzony na innej części. Można w ten sposób porównywać produkowane części z częścią wzorcową. Funkcja tolerowania kształtu konturu jest szczególnie użyteczna, gdy kształt pewnych fragmentów zarysu wpływa w znacznym stopniu na jakość produktu lub ma wpływ na współpracę części po zmontowaniu.

■ Najlepsze dopasowanie

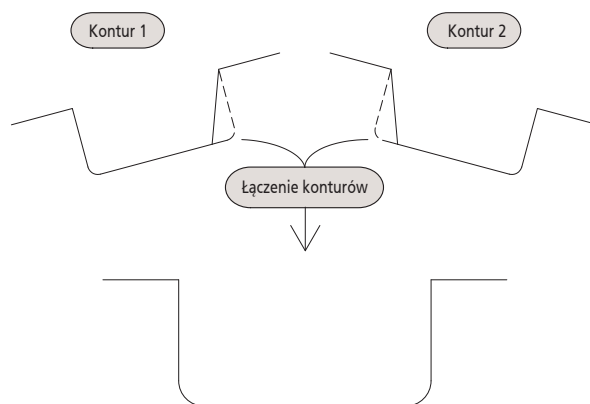
Jeśli istnieje wzorec kształtu i położenia profilu powierzchni, tolerowanie konturu wykonywane jest w odniesieniu do tego wzorca. Jeśli nie ma takiego wzorca lub jeśli wymagane jest tolerowanie samego kształtu, można wykonać najlepsze dopasowanie konturu mierzonego i nominalnego.



Algorytm najlepszego dopasowania wyszukuje odchyłki pomiędzy oboma zestawami danych i tworzy układ współrzędnych, w którym suma kwadratów odchyłek jest minimalna, co odpowiada sytuacji, gdzie obydwa kontury pokrywają się.

■ Łączenie konturów

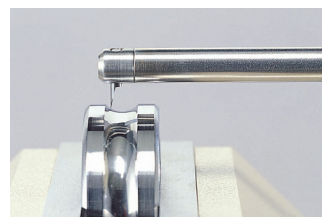
Zwykle jeśli odwzorowanie pełnego konturu nie jest możliwe ze względu na ograniczenie maksymalnym kątem śledzenia, pomiar należy rozłożyć na kilka części mierzonych i analizowanych oddzielnie. Funkcja łączenia konturów pozwala na uniknięcie tej niepożądanej sytuacji. Łączenie dwóch konturów w jeden odbywa się poprzez nałożenie na siebie ich wspólnych elementów (proste, punkty) oraz usunięcie punktów nieprawidłowych. Dzięki tej funkcji uzyskuje się pełny kontur do dalszych analiz w zwykłym trybie.



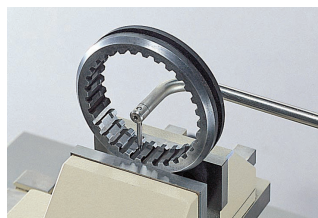
■ Przykłady pomiarów



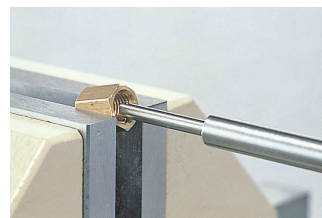
Podwójna końcówka do pomiarów z igłą skierowaną w dół i do góry



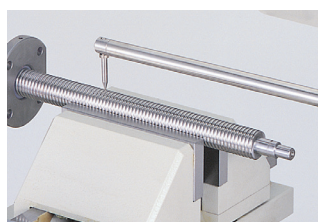
Kontur zewnętrznej/wewnętrznej części pierścienia łożyska



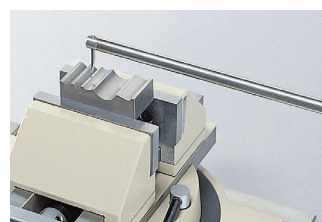
Uzębienie wewnętrznego koła zębatego



Kształt gwintu wewnętrznego



Kształt gwintu zewnętrznego



Kontur przyrządu



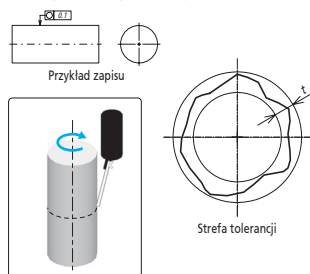
ISO 4291: 1985 Metody oceny odchyłek okrągłości -- Pomiar zmian promieni

ISO 1101: 2012 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) -- Tolerancje geometryczne -- Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia

Strona
40

Okrągłość

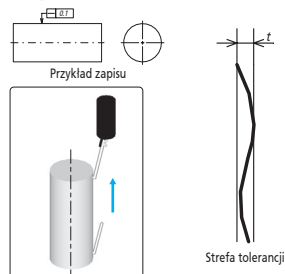
Dowolny rysunek musi zawierać się wewnątrz strefy tolerancji utworzonej przez dwa leżące w tej samej płaszczyźnie okręgi o różnicy promieni t



Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Prostoliniowość

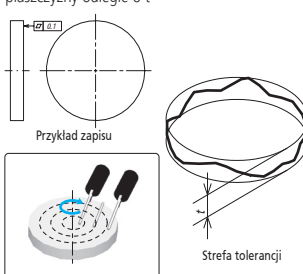
Dowolny rysunek powierzchni powinien leżeć w strefie tolerancji utworzonej przez dwie równoległe proste odległe o t



Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Płaskość

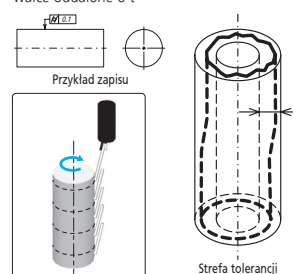
Powierzchnia musi leżeć w strefie tolerancji utworzonej przez dwie równoległe do siebie płaszczyzny odległe o t



Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Walcowość

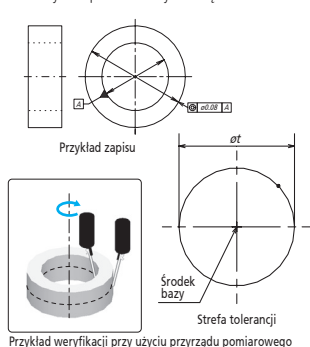
Badana powierzchnia musi zawierać się w strefie tolerancji utworzonej przez dwa współosiowe walce oddalone o t



Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Współśrodkowość

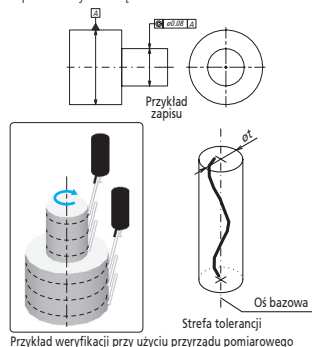
Środek elementu mierzonego musi się znajdować w strefie tolerancji utworzonej przez okrąg o średnicy t współśrodkowy z bazą



Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Współosiowość

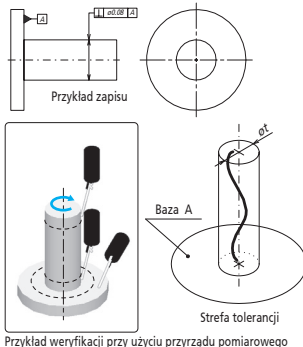
Oś elementu mierzonego musi się zawierać w strefie tolerancji utworzonej przez cylinder o średnicy t współosiowy z bazą



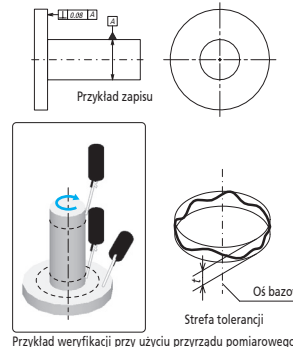
Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Prostopadłość

Zarys powierzchni lub powierzchnia musi zawierać się w strefie tolerancji pomiędzy dwoma wałcami lub dwiema płaszczyznami odległymi o t i prostopadłymi do bazy



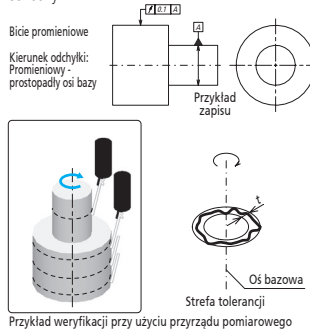
Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego



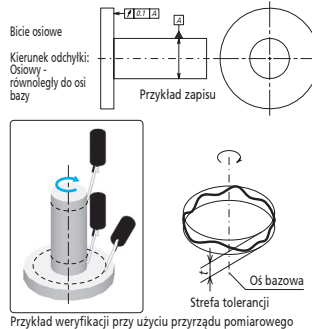
Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Bicie

Strefa tolerancji bicia promieniowego leży pomiędzy dwoma współśrodkowymi z bazą okręgami odległymi o t . Okręgi leżą w jednej płaszczyźnie prostopadłej do osi bazy. Strefa tolerancji bicia osiowego leży pomiędzy dwoma równoległymi do siebie płaszczyznami odległymi o t i prostopadłymi do osi bazy.



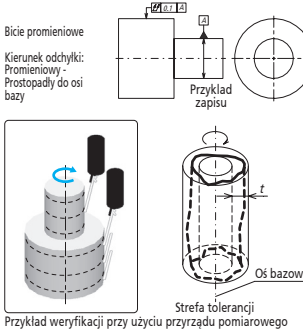
Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego



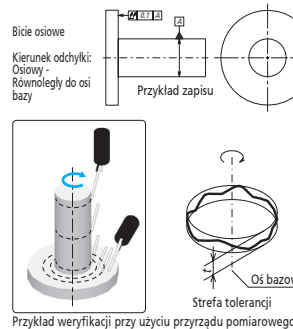
Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Bicie całkowite

Przy biciu promieniowym powierzchnia mierzona musi leżeć w strefie tolerancji utworzonej przez dwa współosiowe z osią bazy walce oddalone o różnicę promieni t . Przy biciu osiowym strefę tolerancji tworzą dwie płaszczyzny oddalone o t i prostopadłe do osi bazy.



Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

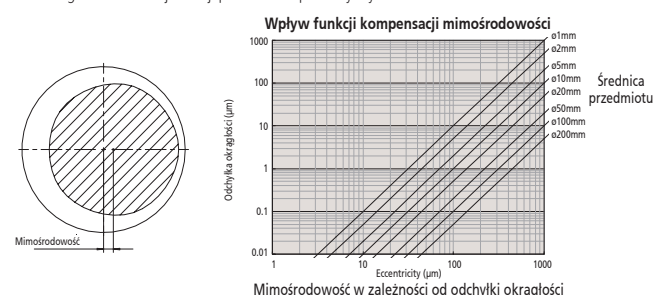


Przykład weryfikacji przy użyciu przyrządu pomiarowego

Regulacje przed pomiarem

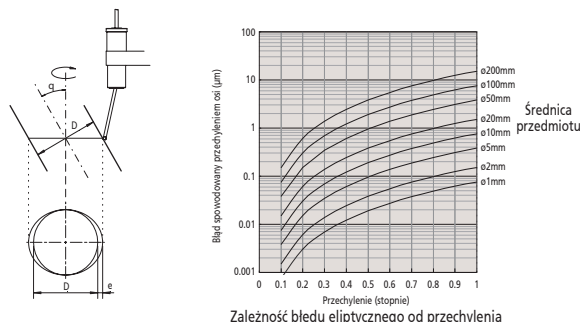
Centrowanie

Przesunięcie (mimośrodowość) pomiędzy osią stołu obrotowego Roundtest a osią przedmiotu powoduje zaburzenie kształtu mierzonego przedmiotu (błąd ślimakowy - limaçon), co w konsekwencji powiększa odchyłkę obliczaną wartości okrągłości. Im większa mimośrodowość, tym większa odchyłka okrągłości. Z tego powodu mierzony przedmiot powinien być wycentrowany (osie zbieżne) przed pomiarem. Niektóre przyrządy do pomiaru okrągłości zapewniają dokładny pomiar dzięki funkcji korekcyj błędów ślimakowych. Działanie tej funkcji przedstawia poniższy wykres.



Poziomowanie

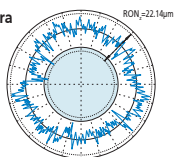
Każde przechylenie osi przedmiotu w odniesieniu do osi obrotu przyrządu pomiarowego powoduje powstawanie błędów eliptycznych. Aby obie osie były do siebie równoległe trzeba wykonać poziomowanie.



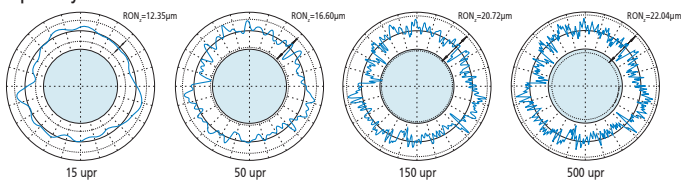
Wpływ ustawień filtra na mierzony profil

Zmierzone wartości okrugłości (RON) silnie zależą od wartości granicznej długości fali filtra - cutoff. Konieczne jest ustawienie filtra właściwie do przeprowadzanej analizy.

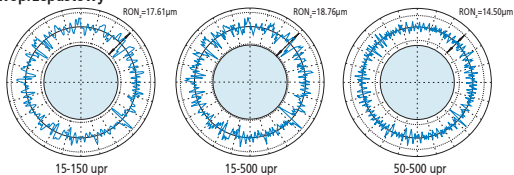
Bez filtra



Filtr dolnoprzepustowy



Filtr pasmowprzepustowy

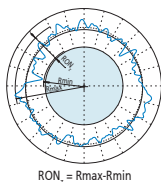


Analiza okrugłości mierzonego profilu

Przyrządy do pomiaru okrugłości (RON) na podstawie danych pomiarowych tworzą okręgi odniesienia, których wymiary określają wartości okrugłości. Istnieją cztery, przedstawione poniżej, metody tworzenia tych okręgów. Każda z nich posiada własny charakter, więc powinna być wybierana ta najlepiej odpowiadająca funkcji mierzonego przedmiotu.

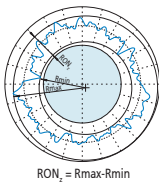
Metoda okręgu najmniejszych kwadratów (LSCI)

Okrąg wpasowany jest w mierzony profil w taki sposób, żeby suma kwadratów odświeżeń punktów profilu od tego okręgu była najmniejsza. Okrugłość definiowana jest jako różnica pomiędzy maksymalnie odświeżonymi punktami profilu od tego okręgu (najwyższy szczyt i najniższa dolina).



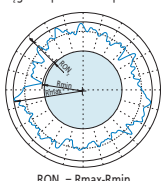
Metoda okręgów strefy minimalnej (MZCI)

Dwa współśrodkowe okręgi pozycjonowane są w taki sposób, aby obejmowały punkty pomiarowe profilu przy najmniejszej różnicy ich promieni. Okrugłość definiowana jest w tej metodzie jako ta różnica promieni.



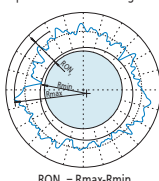
Metoda minimalnego okręgu opisanego (MCC)

Tworzony jest najmniejszy okrąg obejmujący wszystkie punkty mierzonego profilu. Okrugłość definiowana jest w tej metodzie jako maksymalna odległość punktu profilu od tego okręgu. Okrug ten jest czasem nazywany okręgiem 'sprawdzianu pierścieniowego'.



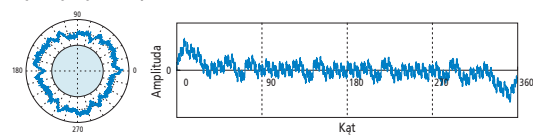
Metoda maksymalnego okręgu wpisanego (MICI)

Tworzony jest największy okrąg jaki może być objęty przez mierzony profil. Okrugłość jest w tej metodzie definiowana jako maksymalna odległość punktu profilu od tego okręgu. Okrug ten jest czasem nazywany okręgiem 'sprawdzianu tłoczkowego'.

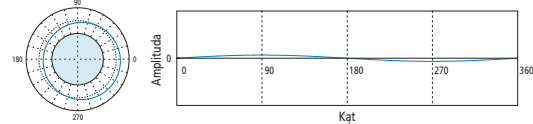


Liczba zafalowań na obrót (UPR) na wykresach okrugłości

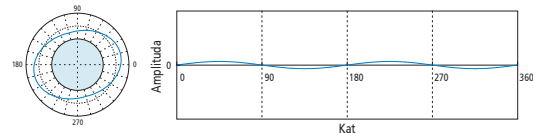
Wykresy wyników pomiaru



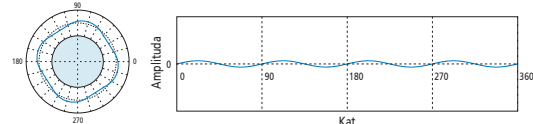
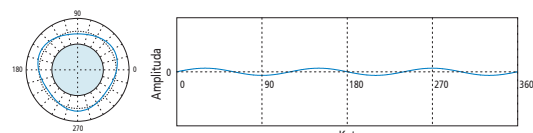
Stan A 1 UPR pokazuje mimośrodowość położenia przedmiotu względem osi obrotu przyrządu pomiarowego. Amplituda składowych zafalowań zależy od wypoziomowania mierzonego przedmiotu.



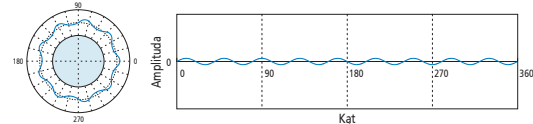
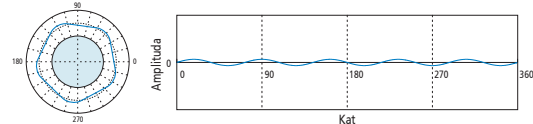
Stan 2 UPR może wskazywać: (1) niedostateczne wypoziomowanie na przyrządzie pomiarowym; (2) bicie promieniowe spowodowane nieprawidłowym zamocowaniem przedmiotu w uchwycie maszyny obróbkowej; (3) kształt przedmiotu został zaprojektowany jako eliptyczny, na przykład tłok silnika spalinowego.



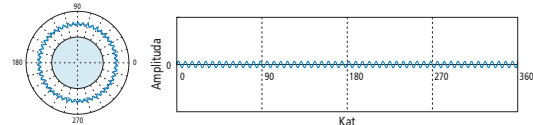
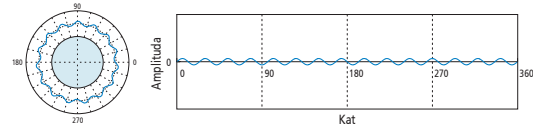
Stan 3 do 5 UPR może wskazywać: (1) deformację spowodowaną zbyt mocnym zaciśnięciem w uchwycie przyrządu pomiarowego; (2) deformację spowodowaną zwolnieniem naprężenia po wyjęciu z uchwytu maszyny obróbkowej.



Stan 5 do 15 UPR często wskazuje na występowanie czynników niezrównoważenia metody obróbkowej lub procesu wytwórczego.



Stan 15 (lub więcej) UPR zwykle spowodowany przez drgania samowzbudne, wibracje maszyny, efekt wywoływany dostarczaniem chłodziwa, niejednorodność materiału itp. Zwykle ma większe znaczenie dla funkcji części niż dla jej zamocowania w zespole.





Metody pomiaru twardości i wskazówki dla wyboru twardościomierza

Metoda badawcza	Mikrotwardość (Micro-Vickers)	Charakterystyki mikropowierzchniowe materiału	Vickers	Rockwell	Rockwell Superficial	Brinell	Shore	Dla gąbki, gumy i tworzyw sztucznych	Przenośne, typ z odbiciem sprężystym
Materiał									
Wafel układów scalonych	●	●							
Węglik, ceramika (narzędzie obróbcze)		▲	●	●					
Stal (materiał po obróbce ciplnej, materiał surowy)	●	▲	●	●	●		●		●
Metal nieżelazny	●	▲	●	●	●				●
Tworzywo sztuczne		▲		●				●	
Kamień szlifierski				●					
Odlew						●			
Gąbka, guma								●	
Kształt									
Cienki arkusz metalu (zyletka, folia metalowa)	●	●	●		●				
Cienka folia, powłoka, lakier, warstwa powierzchniowa (warstwa azotowana)	●	●							
Drobne części, części igłowe (wskazówka, igła krawiecka)	●	▲							
Duża próbka (struktura)						●	●		●
Konfiguracja materiału metalicznego (twardość każdej fazy stopu wielowarstwowego)	●	●							
Płytkę z tworzywa sztucznego	▲	▲		●				●	
Płytkę gumową, gąbkę								●	
Zastosowanie									
Wytrzymałość lub fizyczna własność materiału	●	●	●	●	●	●	●	●	▲
Proces obróbki cieplnej	●		●	●	●		▲		▲
Głębokość warstwy nawęglonej	●		●						
Głębokość warstwy odwęglonej	●		●		●				
Głębokość warstwy hartowania płomieniowego lub indukcyjne wysokiej częstotliwości	●		●	●					
Badanie hartowności			●	●					
Maksymalna twardość zgrzeiny punktowej			●						
Twardość spawu			●	●					
Twardość wysokotemperaturowa (parametry wysokotemperaturowe, plastyczność przy obróbce na gorąco)			●						
Odporność na kruche pęknięcie (ceramika)	●		●						

Klucz: ● Zalecany ▲ Dopuszczalny

Metody pomiaru twardości

(1) Metoda Vickersa

Metoda Vickersa jest najszerzej stosowaną metodą badania twardości, umożliwiającą badanie przy dowolnym nacisku pomiarowym. Badanie to ma ogromną liczbę dziedzin zastosowań, szczególnie w zakresie badania twardości pod naciskiem mniejszym niż **9,807N** (1kgf). Jak pokazuje poniższe równanie, wartość Vickersa określa iloraz nacisku pomiarowego F (N) i powierzchni kontaktu S (mm²) próbki i wgłębnika, obliczanej na podstawie długości przekątnej d (mm, średnia z obu przekątnych) wgłębnika utworzonego w próbce przez wgłębnik (czworoboczny ostrosłup diamentowy o kącie wierzchołkowym $\theta = 136^\circ$) pod naciskiem F (N). k jest stałą ($1/g = 1/9,80665$).

$$HV = k \frac{F}{S} = 0,102 \frac{F}{S} = 0,102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: N \\ d: mm \end{matrix}$$

Błąd obliczonej wartości twardości Vickersa dany jest poniższym równaniem. Tu Δd_1 , Δd_2 oraz 'a' reprezentują odpowiednio błąd pomiaru wnoszony przez mikroskop, błąd odczytu wgłębnika i błąd długości linii krawędzi utworzonej przez końcówkę wgłębnika. Jednostką $\Delta \theta$ jest stopień.

$$\frac{\Delta HV}{HV} \approx \frac{\Delta F}{F} - 2 \frac{\Delta d_1}{d} - 2 \frac{\Delta d_2}{d} - \frac{a^2}{d^2} 3,5 \times 10^{-3} \Delta \theta$$

(2) Metoda Knoopa

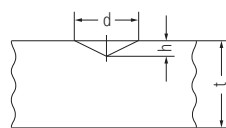
Jak pokazuje poniższy wzór, twardość Knoopa jest wartością uzyskiwaną przez podzielenie siły nacisku pomiarowego F przez zrzuowaną powierzchnię A (mm²) wgłębnika, obliczaną na podstawie długości jego dłuższej przekątnej d (mm). Wgłębienie tworzone jest poprzez wciskanie w próbkę wgłębnika, będącego ostrosłupem diamentowym o podstawie rombu i o kątach przeciwległych ścian $172^\circ 30'$ i 130° , z siłą nacisku F . Twardość Knoopa można mierzyć również na mikrotwardościomierzu Vickersa po wymianie wgłębnika na wgłębnik Knoopa.

$$HK = k \frac{F}{A} = 0,102 \frac{F}{A} = 0,102 \frac{F}{cd^2} = 1,451 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: N \\ d: mm \\ c: Stała \end{matrix}$$

(3) Metody Rockwella i Super Rockwella

Aby mierzyć twardość metodą Rockwella lub Super-Rockwella, należy najpierw za pośrednictwem wgłębnika diamentowego (kąta wierzchołka stożka 120° , promień wierzchołka 0,2mm) lub wgłębnika kulistego (kulka stalowa lub węglkowa) przyłożyć do próbki nacisk wstępny, później właściwy nacisk pomiarowy, a na koniec powrócić do nacisku wstępnego. Wartość twardości oblicza się na podstawie różnicy głębokości wgłębień h (μm) przy nacisku wstępnym i pomiarowym. W pomiarach twardości Rockwella wykorzystuje się obciążenie wstępne 98,07N, a przy twardości Super Rockwella 29,42N. Specjalny symbol powiązany z typem wgłębnika, naciskiem pomiarowym i wzorem twardości znany jest jako skala twardości.

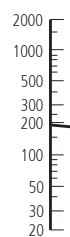
Zależność pomiędzy twardością Vickersa a minimalną grubością próbki



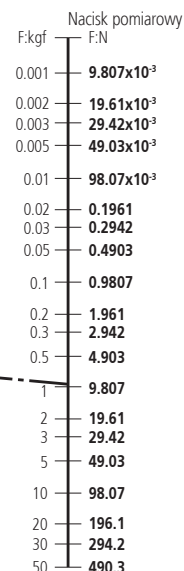
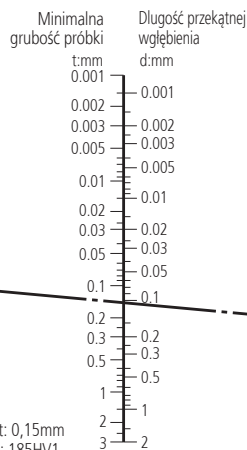
$$HV = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

$t > 1,5d$
 $h \approx d/7$
 t: Grubość próbki (mm)
 d: Długość przekątnej (mm)
 h: Głębokość wgłębienia (mm)

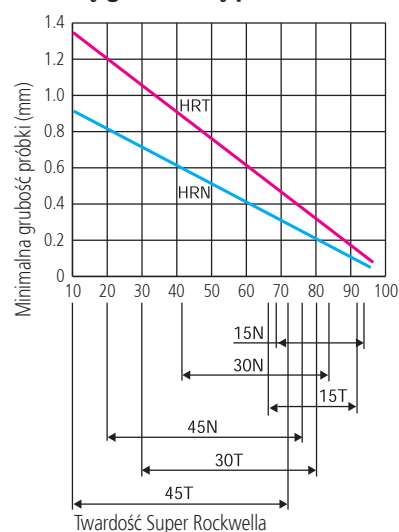
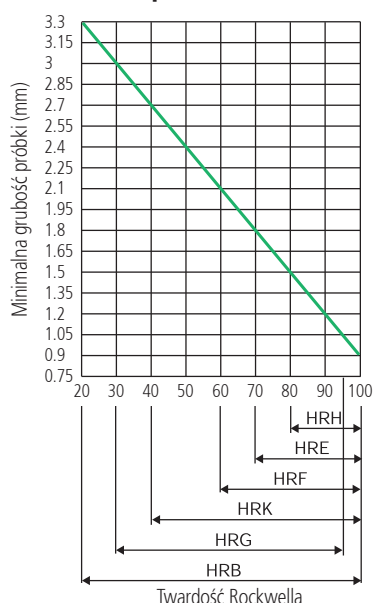
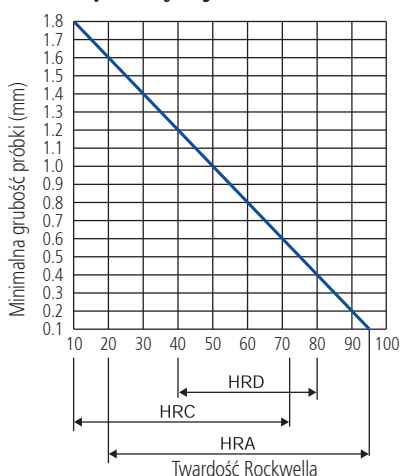
Twardość Vickersa
HV



[Przykład]
 Grubość próbki t: 0,15mm
 Twardość próbki: 185HV1
 Nacisk pomiarowy F: **9,807N** (1kgf)
 Długość przekątnej d: 0,1mm



Zależność pomiędzy twardościami Rockwella/Super Rockwella a minimalną grubością próbki



Skałe twardości Rockwella

Skała	Wgłębnik	Nacisk (N)	Zastosowanie
A	Diamant	588,4	Węgiel, cienka blacha stalowa Stal utwardzana powierzchniowo Stal (więcej niż 100HRB lub mniej niż 70HRC)
D		980,7	
C		1471	
F	Kulka o średnicy 1,5875mm	588,4	Metal łozyskowy, wyżarzana miedź Mosiądz Twardy stop aluminium, miedź berylowa, brąz fosforowy
B		980,7	
G		1471	
H	Kulka o średnicy 3,175mm	588,4	Metal łozyskowy, kamień szlifierski Metal łozyskowy
E		980,7	
K		1471	
L	Kulka o średnicy 6,35mm	588,4	Tworzywo sztuczne, ołów
M		980,7	
P		1471	
R	Kulka o średnicy 12,7mm	588,4	Tworzywo sztuczne
S		980,7	
V		1471	

Skałe twardości Super Rockwella

Skała	Wgłębnik	Nacisk (N)	Zastosowanie
15N	Diamant	147,1	Cienka, twarda warstwa na stali, taka jak warstwa nawęglana lub azotowana
30N		294,2	
45N		441,3	
15T	Kulka o średnicy 1,5875mm	147,1	Cienka blacha z miękkiej stali, mosiądz, brąz itp.
30T		294,2	
45T		441,3	
15W	Kulka o średnicy 3,175mm	147,1	Tworzywo sztuczne, cynk, stop łozyskowy
30W		294,2	
45W		441,3	
15X	Kulka o średnicy 6,35mm	147,1	Tworzywo sztuczne, cynk, stop łozyskowy
30X		294,2	
45X		441,3	
15Y	Kulka o średnicy 12,7mm	147,1	Tworzywo sztuczne, cynk, stop łozyskowy
30Y		294,2	
45Y		441,3	

Bloki kalibracyjne: Nacisk pomiarowy Rockwella i Super Rockwella

Parametr		Twardość Rockwella			Twardość Super Rockwella		
Nacisk wstępny	N	98,07			29,42		
	kgf	10			3		
Nacisk pomiarowy	N	588,4	980,7	1471	147,1	294,2	441,3
	kgf	60	100	150	15	30	45
Wgłębnik diamentowy		A	D	C	15N	30N	45N
Kulka stalowa	Ø 1/16"	F	B	G	15T	30T	45T
	Ø 1/8"	H	E	K	15W	30W	45W
	Ø 1/4"	L	M	P	15X	30X	45X
	Ø 1/2"	R	S	V	15Y	30Y	45Y



Procedura szacowania dokładności WMP określona jest w międzynarodowej normie serii EN ISO 10360. Mitutoyo zawsze chętnie powołuje się na ostatnie ustalenia norm ISO. Ta strona zawiera omówienie parametrów ISO, które Mitutoyo wymienia w tym katalogu.

■ Dopuszczalny błąd graniczny (MPE) pomiaru długości $E_{0,MPE}$ [EN ISO 10360-2]

Procedura badawcza według normy ISO 10360-2: Za pomocą współrzędnościowej maszyny pomiarowej (WMP) wykonywana jest seria pomiarów pięciu różnych wzorców materialnych w każdym z siedmiu kierunków, jak pokazano na Rysunku 1, aby uzyskać zestaw 35 pomiarów. Sekwencja ta jest później trzykrotnie powtarzana dla uzyskania w sumie 105 pomiarów. Jeśli te wyniki, z uwzględnieniem niepewności pomiaru, są mniejsze lub równe wartościom specyfikowanym przez producenta, to uznaje się, że dokładność WMP jest zgodna ze specyfikacją.

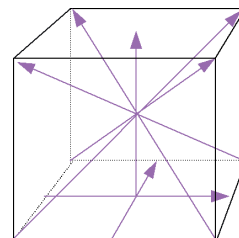
Norma ta pozwala, aby maksymalnie pięć z 35 pomiarów leżało poza polem zgodności (dwa wyniki niezgodne z trzykrotnego pomiaru w tej samej pozycji są niedopuszczalne). Pomiar wymiaru, którego wynik leży poza polem zgodności należy w danym położeniu i kierunku powtórzyć dziesięciokrotnie. Jeśli 10 wyników, łącznie z granicami niepewności, mieści się w polu zgodności, to przyjmuje się, że WMP działa prawidłowo. Przy wyznaczaniu dopuszczalnego błędu granicznego należy uwzględnić niepewności związane z metodami kalibracji i budowy układu współrzędnych przy wykorzystaniu do badania określonych materialnych wzorców długości. (Wartości uzyskane poprzez dodanie rozszerzonej niepewności z uwzględnieniem dwóch powyższych niepewności do wyników wszystkich testów muszą być niższe od wartości specyfikowanej przez producenta.) Wynik badania może być wyrażony w jednej z trzech poniższych postaci (jednostka: μm).

$$E_{0,MPE} = A + L/K \leq B$$

$$E_{0,MPE} = A + L/K$$

$$E_{0,MPE} = B$$

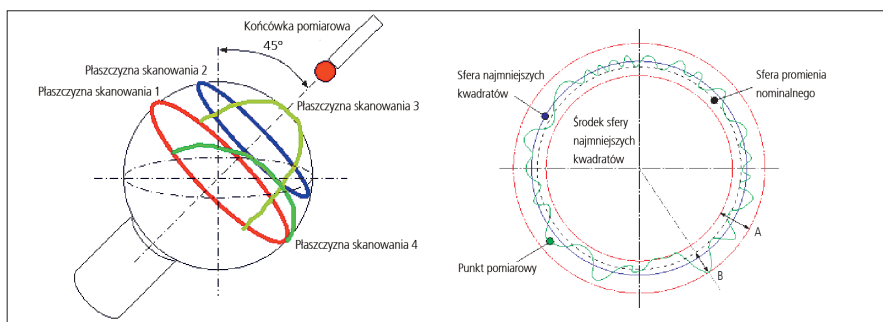
- A: Stała (μm) określona przez producenta
- K: Stała bezwymiarowa określona przez producenta
- L: Mierzona długość (mm)
- B: Wartość górnej granicy (μm) określona przez producenta



Rysunek 1 Typowe kierunki pomiaru w przestrzeni pomiarowej WMP podczas badania

■ Dopuszczalny błąd graniczny skaningowej głowicy pomiarowej MPE_{THP} [EN ISO 10360-4]

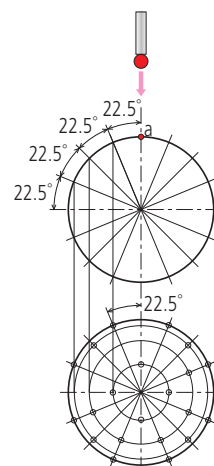
ISO 10360-4 jest normą weryfikującą parametry WMP wyposażonych w sondę skaningową. Jej procedura badawcza przewiduje wykonanie pomiaru kuli badawczej w 4 płaszczyznach w trybie skanowania, a następnie obliczenie zakresu (wymiar 'A' na Rysunku 3), w którym powinny się znajdować wszystkie punkty pomiarowe. Zakres ten odnosi się do środka sfery najmniejszych kwadratów obliczonej na podstawie wszystkich punktów pomiarowych. W oparciu o obliczony powyżej środek sfery najmniejszych kwadratów, oblicza się odległość minimalnego i maksymalnego punktu pomiarowego od powierzchni sfery promienia nominalnego. Jako wynik przyjmuje się wartość większą (wymiar 'B' na Rysunku 3). Do każdego z wymiarów A i B należy dodać niepewność rozszerzoną, łączącą w sobie niepewność związaną z kształtem końcówki pomiarowej i niepewność związaną kształtem kuli badawczej. Jeśli obydwie wartości są mniejsze od wartości specyfikowanej przez producenta, oznacza to, że sonda skaningowa działa prawidłowo.



Rysunek 3 Płaszczyzny pomiarowe dla wyznaczenia maksymalnego dopuszczalnego błędu granicznego sondy skaningowej i koncepcja ich obliczania

■ Dopuszczalny graniczny błąd kształtu pojedynczej sondy $P_{FTU,MPE}$ [EN ISO 10360-5]

Procedura badania zgodna z ww. normą: Badaną sondą należy zmierzyć 25 określonych punktów na kuli badawczej (25 punktów rozmieszczonych jak na Rysunku 2). Na podstawie zmierzonych punktów metodą najmniejszych kwadratów obliczana jest sfera. Następnie obliczane są promienie każdego z 25 punktów w odniesieniu do środka tej sfery, a następnie wyznaczany jest ich rozstęp. Do rozstępu promieni dodawana jest niepewność rozszerzona, łącząca w sobie niepewność związaną z kształtem końcówki pomiarowej i niepewność związaną kształtem kuli badawczej. Jeśli ta ostatecznie obliczona wartość jest mniejsza lub równa wartości specyfikowanej przez producenta, oznacza to, że sonda przeszła badanie.



Rysunek 2 Punkty pomiarowe na kuli badawczej służące do wyznaczenia Dopuszczalnego błędu granicznego kształtu pojedynczej sondy