

14.POMIARY Z WYKORZYSTANIEM TRÓJWSPÓŁRZĘDNOŚCIOWYCH MASZYN POMIAROWYCH.

14.1.MASZYNY POMIAROWE

Ze względu na rodzaj maszyny współrzędnościowej składa się ona z:

- Ruchomego portalu mogącego się przemieszczać w określonym zakresie po osiach X i Y zaś głowica pomiarowa porusza się w kierunku pionowym, czyli po osi Z.
- Konstrukcji stałej, stołu pomiarowego wraz z układem napędowym.
- Układu pomiarowego składającego się z zestawu liniałów pomiarowych z czytnikami elektro-optycznymi dla osi XYZ, alternatywnie osi W stołu obrotowego.
- Głowicy pomiarowej (sondy), którą można wyposażyć w zestawy trzpieni pomiarowych zakończonych najczęściej kulkami z rubinu do pomiarów uniwersalnych lub walcami do pomiaru krawędzi np. perforacje blach karoseryjnych.

Głowica pomiarowa, napędy stołu, układ pomiarowy są sterowane przez dedykowany system informatyczny (komputer i oprogramowanie)

Wyróżniamy następujące typy maszyn współrzędnościowych:

Mostowa - Wykorzystywane są do pomiaru bardzo dużych przedmiotów (np. pojazdów) ponieważ zakres maszyny wynosi do 16 000 mm

Portalowa - Zakres wynosi do 1 200 mm, ruchomy portal lub ruchomy stół.

Wysięgnikowa - Charakteryzuje się zakresami pomiarowymi w przedziale 800 - 2000 mm.

Wspornikowa - Wyposażona w stół obrotowy, zastosowanie w pomiarach krzywek i korpusów.

Główne parametry maszyn pomiarowych:

- Zakresy pomiarowe w osi X, w osi Y, w osi Z,
- Niedokładność wskazania podczas pomiaru wymiaru E ,
- Błąd graniczny dopuszczalny podczas pomiaru wymiaru MPE_E ,

Parametry dotyczące głowicy pomiarowej

- Niedokładność głowicy pomiarowej w trybie pomiarów punktowych P ,
- Błąd graniczny dopuszczalny głowicy pomiarowej MPE_P ,
- Niedokładność głowicy pomiarowej w trybie pomiarów skaningowych T_{ij} ,
- Błąd graniczny dopuszczalny głowicy w trybie pomiarów skaningowych $MPE_{T_{ij}}$,
- Czas trwania skaningu t_{ij} lub t ,
- Maksymalny dopuszczalny czas trwania testu skanowania $MPT_{t_{ij}}$.

Niedokładność maszyny pomiarowej jest charakteryzowana normami VDI/VDE 2717 i PN-EN ISO 10360-1:2003. Niedokładność pomiaru długości U jest to wartość bezwzględna, zależna od mierzonej długości:

$$U = A + K \cdot L \leq B$$

gdzie A - stała opisująca udział błędów przypadkowych w μm , B - wartość dopuszczalna niedokładności w μm , K - współczynnik charakteryzujący zmiany błędów systematycznych w funkcji mierzonej długości L podawanej w mm. Rozróżnia się niedokładność jedno-, dwu-, trójwymiarową. Dla maszyn pomiarowych podawana jest niedokładność przestrzenna

$$M = K + H \cdot L,$$

gdzie: K - stała wartość błędu dla danej maszyny podawana w μm , L - wynik pomiaru, H - współczynnik charakteryzujący trójwymiarowe błędy systematyczne.

Niedokładność jednoosiowa podawana jest osobno dla każdej osi. Błąd wskazania maszyny pomiarowej $E = A + L \cdot K \leq B$, gdzie A - stała wyrażona w mikrometrach, K - stała bezwymiarowa podawana przez producenta maszyny, L - wynik pomiaru, B maksymalna wartość E podana przez producenta.

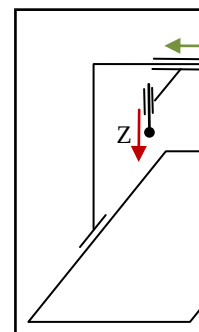
Osobno wyznacza się błąd głowicy pomiarowej P jako rozstęp promieni kulistego wzorca materialnego (kuli badawczej) w trybie próbkowania punktowego z użyciem jednego trzpienia pomiarowego.

W przypadku wykorzystania głowicy pomiarowej z ustalonym zespołem wielotrzpieniowym rozróżniamy: MS- błąd wymiaru, ML- błąd położenia, MF- błąd kształtu.

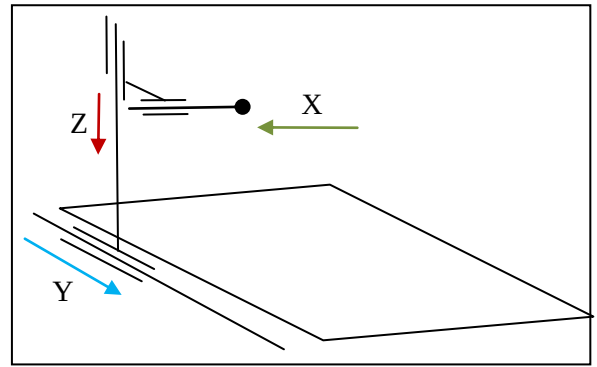
W przypadku wykorzystania głowicy uchylnej rozróżniamy: błąd wymiaru AS, błąd położenia AL., błąd kształtu AF zespołu głowicy pomiarowej. Niedokładność głowic pomiarowych wynosi mniej niż $2 \mu\text{m}$.



Maszyna portalowa ACCURA		
X	Y	Z
2000	2400	1000
2000	3000	1000
2000	4200	1000
2000	2400	1500
Dokładność: $3,9 + L/300 [\mu\text{m}]$		

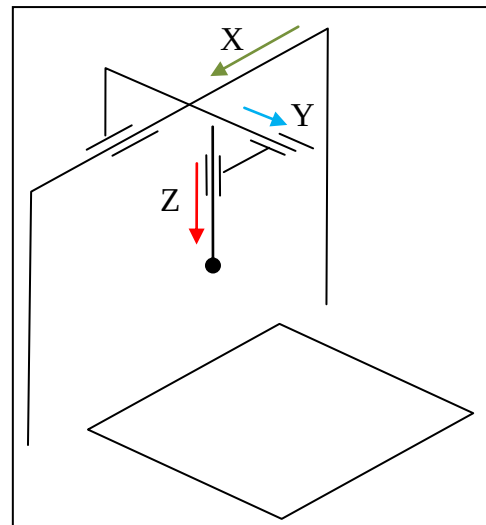


Rysunek 1. Portalowa maszyna pomiarowa Accura firmy ZEISS, schemat kinematyczny, dane techniczne



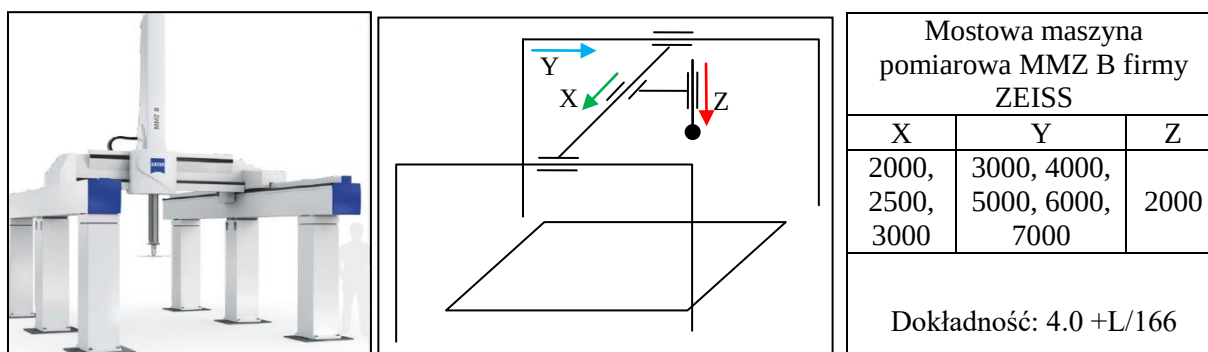
Rysunek 2. Wysięgnikowa maszyna pomiarowa DEA Mercury, schemat kinematyczny, dane techniczne

Maszyna wysięgnikowa DEA MERCURY		
x	Y	Z
Od 2500	1400	1600-2100-2500-30000
Od 2500	1600	1600-2100-2500-30000
Od 2500	1800	1600-2100-2500-30000
Od 2500	2000	1600-2100-2500-30000
Dokładność: $MPE_E = \text{od } 15 + 2000/L$		



Maszyna kolumnowa QM-Measure		
X	Y	Z
300	300	300
300	500	300
$E = 3.0 + 0.4 * L / 100$		

Rysunek 3. Kolumnowa maszyna pomiarowa QM-Measure firmy Mitutoyo, schemat kinematyczny, dane techniczne



Rysunek 4. Mostowa maszyna pomiarowa MMZ B firmy ZEISS, schemat kinematyczny, dane techniczne

14.2 GŁOWICE POMIAROWE

Głowice pomiarowe (sondy pomiarowe) służą do lokalizacji punktów pomiarowych. Lokalizacja punktu pomiarowego odbywa się przez uzyskanie styku końcówki dotykowej głowicy z powierzchnią mierzonego przedmiotu. Lokalizacja punktu pomiarowego za pomocą głowic bezstykowych odbywa się na innych sposobami, np. za pomocą optycznego nastawiania maszyny.

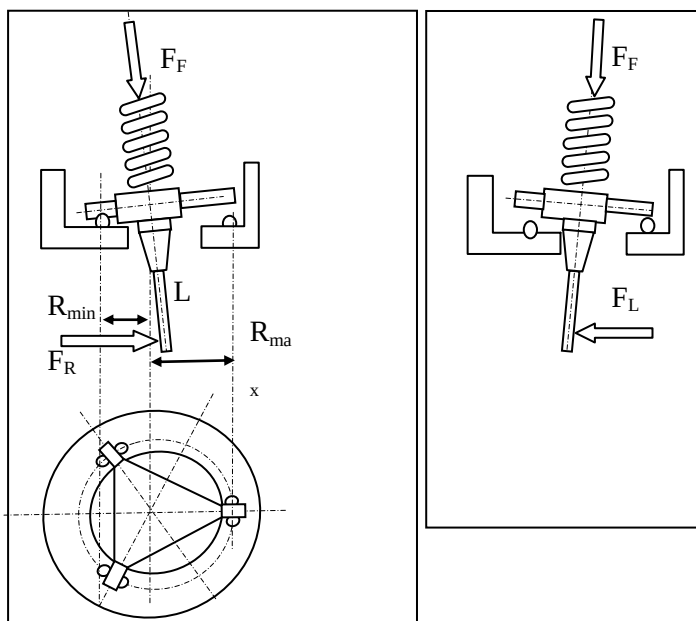
Po usunięciu nacisku pomiarowego trzpień pomiarowy powinien wrócić do pierwotnego położenia. Zasadniczą cechą sondy pomiarowej Renishaw jest lokalizacja kinematyczna mechanicznego elementu w takim położeniu, żeby trzpień pomiarowy miał tendencję (zdolność) do ustawiania się w tej samej pozycji (powtarzalnej) po wychyleniu w dowolną stronę.

Głowice pomiarowe stykowe różnią się w zależności od sposobu osiągnięcia styku z powierzchnią przedmiotu.

Głowice sztywne – operator ręcznie doprowadza do styku końcówki pomiarowej z przedmiotem. Wielkość nacisku pomiarowego zależy od doświadczenia operatora. Wadą metody jest duży rozrzut nacisku pomiarowego, zaletą niski koszt głowicy.

Głowice przełączające – lokalizacja punktu pomiarowego następuje w chwili osiągnięcia przez system pomiarowy wymaganego nacisku końcówki pomiarowej na powierzchnię przedmiotu. Generowany jest sygnał, powodujący zarejestrowanie wskazań z układu pomiarowego maszyny

Mechanizm wyzwalaający głowicy pomiarowej jest zbudowany w postaci trzech wałeczków opartych na 6 kulkach.



Rysunek 6. Zasada działania przełącznika sondy Renishaw. Wymagana mniejsza siła nacisku pomiarowego

Rysunek 5. Przełącznik w pozycji, gdy potrzebna jest większa siła nacisku pomiarowego

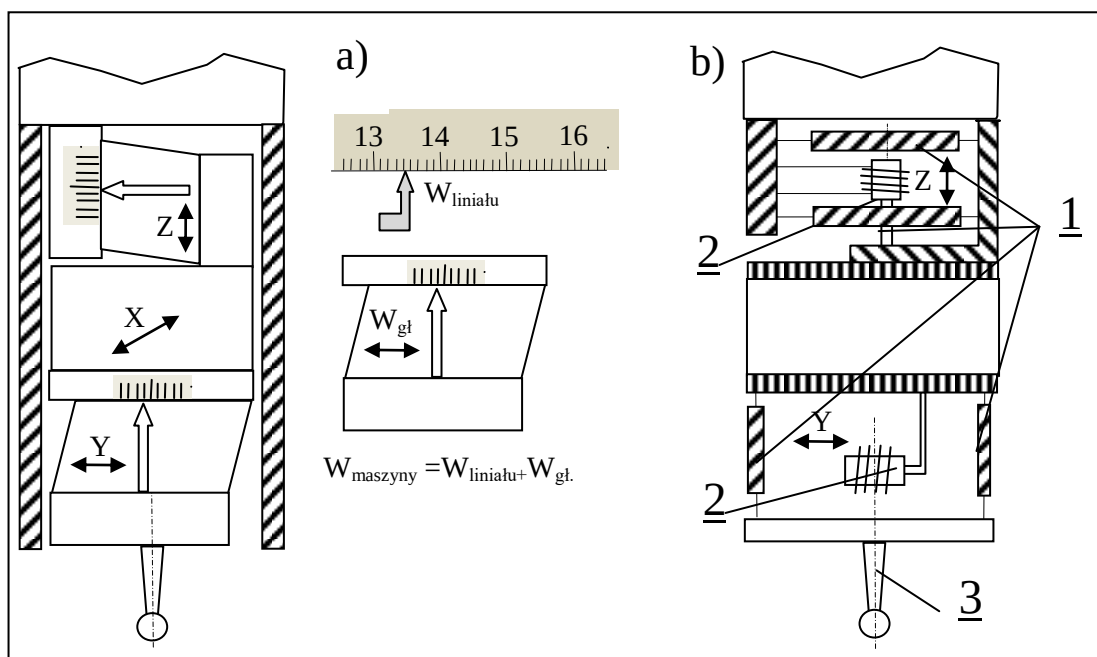
Trzpień pomiarowy sondy steruje trzema przełącznikami, każdy wyposażony w dwie pary styków: każdy wałeczek oparty jest na dwóch kulkach. Dzięki naciskowi wywieranemu przez sprężynę wałeczki przełącznika zamykają obwód elektryczny. Zmiana nacisku wałeczków na kulki wywołana naciskiem pomiarowym powoduje rozwarcie styków i odczytanie wskazań z liniałów pomiarowych urządzenia. W nowszej wersji przełącznika sprawdzana jest zmiana nacisku na styk przełącznika spowodowana wystąpieniem nacisku pomiarowego. Do pomiaru nacisku używane są czujniki piezoelektryczne. Zmniejszenie nacisku ponad poziom sygnalizujący realizację pomiaru wyzwała sygnał pomiarowy.

Zastosowanie przetworników piezoelektrycznych umożliwiło liniowy pomiar nacisku i zbudowanie mechanizmu zwiększającego powtarzalność. Pierwszy sygnał pomiarowy generowany jest przy nacisku 0.01 N. Dalsze zwiększenie nacisku (do kilku setnych Newtona) powoduje wysłanie drugiego sygnału-potwierdzającego i zatrzymanie maszyny. Powtarzalność głowic z przetwornikiem piezoelektrycznym nie przekracza 0.5 μm .

Analizując momenty wywołane siłami F_L i F_R

$$F_F \cdot L > F_F \cdot R_{Min} \text{ i } F_L \cdot L < F_F \cdot R_{Max}$$

Moment wywołany siłą F_F jest większy w przypadku nacisku siłą F_L , ponieważ ramie działania siły R_{Max} jest większe. Czyli siła potrzebna do wygenerowania sygnału pomiarowego $F_R < F_L$. Zastosowanie trzech przełączników rozmieszczonych na obwodzie okręgu powoduje że niektóre kierunki są uprzywilejowane: odczyt następuje przy mniejszym nacisku pomiarowym.



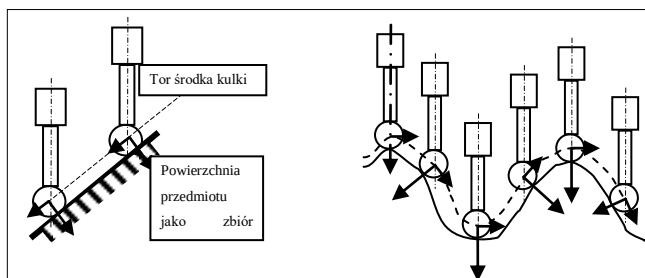
Rysunek 7. Zasada działania głowicy skanującej. a) b)

Głowice mierzące umożliwiają ciągły pomiar powierzchni. W odróżnieniu od głowicy przełączającej końcówka dotykowa przez cały czas dotyka powierzchni przedmiotu. W głowicach mierzących (skaningowych) (Rysunek 7. Zasada działania głowicy skanującej. a) b) styk końcówki dotykowej z powierzchnią przedmiotu jest rejestrowany za pomocą czujników indukcyjnych '2' zamocowanych wewnątrz głowicy. Czujniki zamocowane są za pomocą płaskich sprężyn '1' połączonych równoległobokami. Każdy czujnik głowicy ma możliwość przemieszczenia w zakresie ± 2.5 mm. Nacisk pomiarowy jest uzyskiwany za pomocą elektromagnesów i może być zmieniany poprzez zmianę natężenia i kierunku prądu w elektromagnecie. Wychylenie końcówki pomiarowej '3' spowodowane stykiem końcówki pomiarowej z przedmiotem powoduje wyłączenie napędu maszyny, kompensację siły wywołanej za pomocą układu sprężyn. Kompensacja nacisku pomiarowego ma na celu zwiększenie powtarzalności pomiarów: umożliwia pomiary bez konieczności uwzględniania ugięcia trzpienia pomiarowego i odkształcenia przedmiotu.

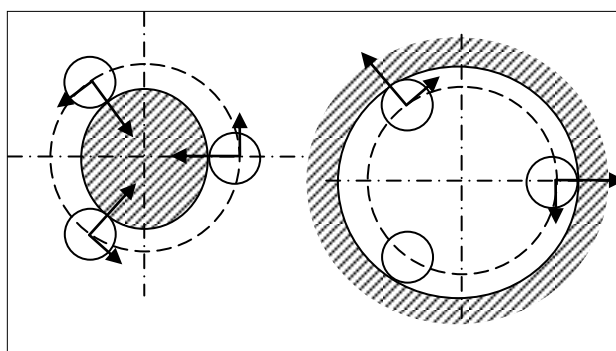
Położenie końcówki dotykowej rejestrowane jest za pomocą przetworników indukcyjnych i liniałów przemieszczenia maszyny. Położenie końcówki jest sumą wskazań przetworników i współrzędnych położenia zarejestrowanych przez komputer maszyny,

Pomiar ciągły przedmiotu może być zrealizowany po zdefiniowaniu toru skanowania. Napęd maszyny przemieszcza końcówkę pomiarową zgodnie ze zdefiniowanym torem. Końcówka pomiarowa w trakcie pomiaru zachowuje styk z powierzchnią mierzoną. Procedura umożliwia automatyczne sprawdzanie powierzchni o złożonych kształtach.

14.3. KOMPENSACJA WYMIARÓW NARZĘDZIA POMIAROWEGO

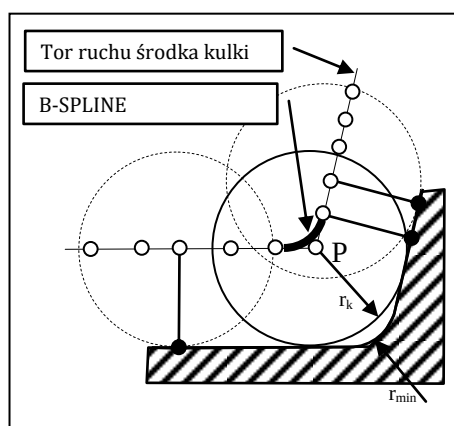


Rysunek 8. Kompensacja wymiarów narzędzia dla wymiarów mieszanych



Rysunek 9. Kompensacja wymiarów narzędzia do wymiarów wewnętrznych i zewnętrznych

System pomiarowy maszyn współrzędnościowych rejestruje tzw. punkty pomiarowe. Są to współrzędne wskazywane w chwili próbkowania. Zwykle są to punkty leżące blisko środka geometrycznego końcówki dotykowej. Punkty obserwowane są wyznaczone jako przybliżenie rzeczywistego punktu styku. Znając wymiary końcówki dotykowej (długość wektora korekcji) i kierunek wektora korekcji można wyznaczyć położenie punktu styku.



Rysunek 10. Błędna interpretacja pomiaru z powodu zastosowania końcówki dotykowej o zbyt dużym promieniu

Wynikiem pomiarów za pomocą optycznych głowic pomiarowych jest zbiór punktów o znanych współrzędnych związany z powierzchnią mierzoną. Wynikiem pomiaru końcówkami dotykowymi są punkty związane z umownym środkiem końcówki dotykowej. W przypadku sondy pomiarowej wyposażonej w kulę rejestrowana są współrzędna środka kuli. Każdy z zarejestrowanych punktów leży w odległości r_k - promienia kuli od powierzchni obserwowanej. Wyznaczenie powierzchni obserwowanej otrzymuje poprzez korekcję wyników pomiarów uwzględniającą promień kuli. Korekcja jest realizowana za

pomocą oprogramowania. Błędne wyznaczenie powierzchni obserwowanej może być spowodowane złym dobraniem końcówki pomiarowej jak i błędną interpretacją wyników obliczeń.

Na rysunku Rysunek 10. Błędna interpretacja pomiaru z powodu zastosowania końcówki dotykowej o zbyt dużym promieniu jest pokazana sytuacja gdy do pomiarów zastosowano kule o zbyt dużym promieniu (większym niż promień krzywizny sprawdzanej powierzchni). W wyniku pomiarów otrzymano punkt zwrotny, gdy kula gwałtownie zmienia kierunek (punkt P). Program błędnie wyznaczył tor środków kuli wprowadzając gładkie przejście i pomijając punkt zwrotny P. Błąd pomiaru w tym przypadku może sięgać nawet kilkaset mikrometrów.

14.4. REALIZACJA POMIARÓW

Plan pomiarowy na maszynie współrzędnościowej powinien uwzględniać etapy pomiarowej można podzielić na etapy:

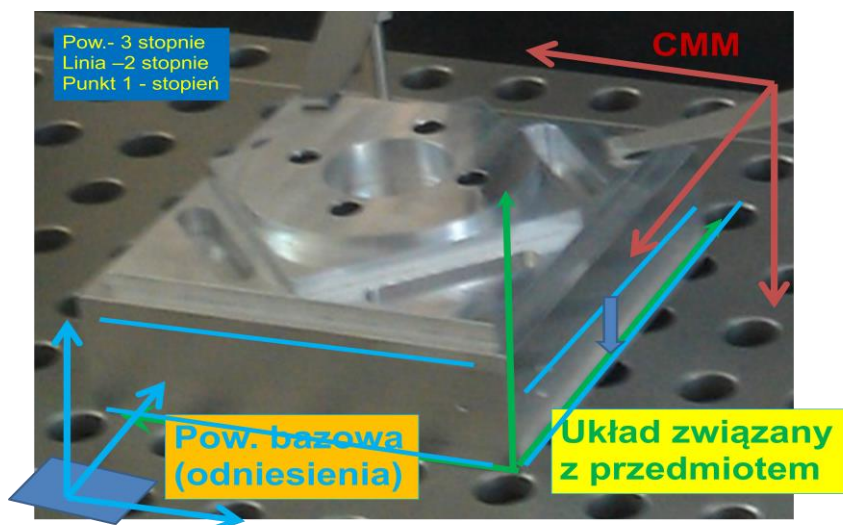
- Definiowanie lokalnych układów współrzędnych.
- Pomiary wielkości geometrycznych
- Konstruowanie teoretycznych obiektów geometrycznych skojarzonych - uwzględniających odchyłki względem obiektów obserwowanych
- Wymiarowanie elementów zgodnie z dostarczoną dokumentacją

USTALANIE LOKALNYCH UKŁADÓW WSPÓLRZĘDNYCH

Maszyna pomiarowa wyposażona jest w system pomiarowy, który jednocześnie determinuje położenie układu współrzędnych związanego z maszyną pomiarową XYZ_{CMM} . Wymiary przedmiotu są zdefiniowane w układzie lokalnym związanym z przedmiotem pomiarowym XYZ. Przeliczenie z wymiarów w otrzymanych w układzie XYZ_{CMM} do układu XYZ, realizowane jest za pomocą oprogramowania dostarczonego z maszyną pomiarową. Nominalne wymiary przedmiotu zdefiniowane są w układach lokalnych związanych z mierzonym przedmiotem. Wymiary obserwowane powinny być defilowane w tym samym układzie współrzędnych co wymiary nominalne. W czasie pomiarów zachodzi konieczność definiowania dodatkowych lokalnych układów współrzędnych. Poprawność ustalenia położenia nowego układu współrzędnych względem starego sprawdza się analizując pozostałe stopnie swobody:

- ustalenie względem płaszczyzny odbiera trzy stopnie swobody i pozostawia: przemieszczenie względem dwóch osi i obrót wokół osi prostopadłej.
- ustalenie względem linii pozostawia obrót i przemieszczenie względem rozpatrywanej linii,
- ustalenie względem punktu pozostawia trzy stopnie swobody: obroty wokół osi układu współrzędnych.

Odebranie wszystkich stopni swobody (obrotów wokół 3 osi i przemieszczeń wokół trzech osi) zapewnia ustalenie nowego układu współrzędnych.



Rysunek 11 Wyznaczenie układu współrzędnych związanego z przedmiotem

Wyznaczenie układu współrzędnych związanego z przedmiotem (rys) przebiega następująco:

Na stole pomiarowym została zamocowana płyta pomiarowa.

1. Płyta jest powierzchnią bazowa dla mierzonego przedmiotu.
2. Położenie powierzchni w układzie XYZ_{CMM} związanym z maszyną pomiarową określa się mierząc zbiór punktów na tej powierzchni.
3. Należy zdefiniować linie na powierzchni bazowej. Zwrot osi X należy określić wskazując dodani koniec osi wybranej linii.
4. Punkt przecięcia linii jest środkiem układu współrzędnych.
5. Oś Z jest prostopadła do obu linii leżących na płaszczyźnie. Należy wskazać dodatni zwrot osi.
6. Wyznaczyć kierunek osi Y, prostopadły do osi X i Z.

Za pomocą pomiarów można znaleźć położenie płaszczyzny, położenie powierzchni walcowej, powierzchni stożkowej, kuli, położenie punktu. Oprogramowanie zapewnia możliwość konstruowania obiektów geometrycznych z oparciem o zmierzone cechy wyrobu.

POMIARY

Pomiary są realizowane wykorzystaniem oprogramowania dostarczonego z maszyną pomiarową. Dostępne procedury pozwalają na pomiary typowych powierzchni: punkt, linia, okrąg, płaszczyzna, sfera, walec, stożek, dowolna krzywa. Obiekty są zapamiętywane w dwóch postaciach: zbiór wskazywanych punktów (element integralny obserwowany) i element teoretyczny wyznaczony na podstawie pomiarów (element integralny skojarzony)

BUDOWA STANOWISKO POMIAROWEGO

Stanowisko pomiarowe składa się z maszyny pomiarowej AXIOM II, Na komputerze sterującym maszyną zainstalowano oprogramowanie ABERLINK 3D. Oprogramowanie jest wykorzystywany do gromadzenia i wstępnej obróbki wyników pomiarów.



Rysunek 12. Maszyna pomiarowa AXIOM TOO z zaznaczonymi kierunkami osi

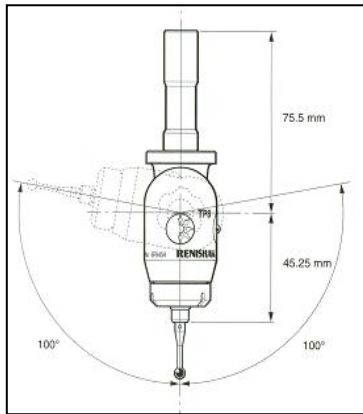
Współrzędnościowa maszyna pomiarowa AXIOM II firmy ABERLINK ma realizuje pomiary z dokładnością 0.008 mm na długości 300 mm w trzech kierunkach. Rozdzielczość systemu pomiarowego jest wynosi 0.0005mm. Głowica pomiarowa firmy Renishaw z gwintem M3 do pozwala na pozwala na zainstalowanie trzpieni pomiarowych i głowic pomiarowych. Stół pomiarowy umożliwia na pomiary przedmiotu o wymiarach 640x600x500 mm. Zamiast końcówki dotykowej może by zastosowana kamera CCD do pomiarów bezdodotkowych. Kamera wyposażona jest w obiektyw telecentryczny umożliwiający otrzymywanie wyraźnych obrazów w przedmiotów będących w odległości większej niż 130 mm od obiektywu. W odległości 400 mm obszar widzenia kamery wynosi 35x35 mm. Oświetlenia przedmiotu umożliwia 16 diod umieszczonych w obiektywie.

Maszyna wyposażona jest w trzy liniały pomiarowe. Odczyt wskazań z liniałów następuje na sygnał z głowicy pomiarowej

Łożyska powietrzne pozwalają na płynne przemieszczanie się głowicy pomiarowej względem sprawdzanego przedmiotu. Wstępne napięcie łożysk ma zadanie zwiększyć dokładność pomiarów w obu kierunkach osi.

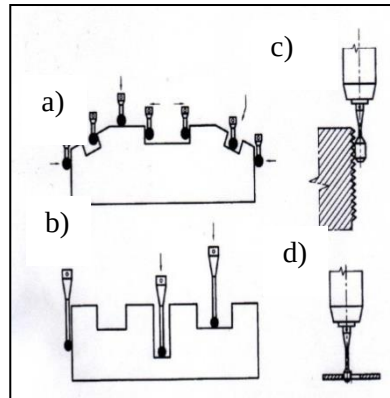
Korpus urządzenia jest wykonany z aluminium w kształcie bramy. Odkształcenia cieplne ma urządzenia powodują zmianę wymiarów bez ryzyka zmiany kierunków osi pomiarowych. Zmiany temperatury otoczenia są kompensowane jako poprawki przez dostarczone oprogramowanie. Stół jest ramą w kształcie plastra miodu, na którym jest umieszczona granitowa płyta pomiarowa. Pozwala to na pomiar przedmiotów o masie do 300 kg.

Urządzenie jest wyposażone w dedykowane oprogramowanie graficzne do: kalibracji pomiarów, realizacji pomiarów w trybie ręcznym i automatycznym, analizy i przygotowania dokumentacji.



Rysunek 13. Głowica pomiarowa firmy Renishaw

Impulsowa głowica pomiarowa maszyny pomiarowej umożliwia odczytywanie współrzędnych z powtarzalnością $0.5\mu\text{m}$ w pięciu kierunkach: najazd z dwóch stron osi X, najazd z dwóch stron osi Y, najazd w kierunku osi Z. Nacisk pomiarowy może być zmieniany w zakresie od 0.11N do 0.3N. Końcówka pomiarowa sondy może być nastawiana wstępnie w zakresie $\pm 100^\circ$.



Rysunek 14. Przykłady zastosowań różnych trzpień pomiarowych : a) trzpień krótkie, b) trzpień długie, c)końcówka walcowa do pomiarów gwintu d)trzpień walcowy do pomiarów otworów w cienkiej płycie

Oprogramowanie pomiarowe umożliwia wykonanie i archiwizację wyników pomiarów. Wyposażone jest w procedury biblioteczne do pomiarów najczęściej spotykanych powierzchni: punktów, linii, płaszczyzny, kuli, stożka walca.

Z menu głównego programu należy wybrać procedurę pomiarową. Program otworzy okienko dialogowe do rejestracji kolejnych pomiarów.

Po zakończeniu pomiarów program może wykonać rysunek przedmiotu z wykonanymi pomiarami.

WYKONANIE ĆWICZENIA

Dla wybranego przedmiotu:

- przygotować dokumentację przedmiotu,
- określić bazy pomiarowe
- przygotować plan pomiarowy
- wykonać pomiary
- wykonać dokumentację

POLITECHNIKA WARSZAWSKA		LABORATORIUM METROLOGII TECHNICZNEJ			
		Temat ćwiczenia			
		Pomiary z wykorzystaniem trójwspółrzędnościowych maszyn pomiarowych			
		Nazwisko i imię studenta			
Zakład Automatykacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem		1).....			
		2).....			
		3).....			
Wyk.		4).....			
Zal.		5).....			
Pomiar		Wyniki		Schemat pomiaru	
Rysunek przedmiotu					
Plan pomiarowy przedmiotu:					
1		7			
2		8			
3		9			
4		10			
5		11			
6		12			
Wyniki pomiaru					
Opis		Wyniki		Opis	
Uwaga: wyniki pomiarów podawać wraz z niepewnością pomiarów					

Literatura

1. Large Bridge-type and Gantry Measuring Machines, ZEISS, www.zeiss.de/imt, 2011,
2. <http://www.hexagonmetrology.pl>, katalog internetowy firmy Hexago, 2014
3. <http://www.mitutoyo.com/>, strona firmy Mitutoyo, 2014
4. [http:// www.zeiss.de/imt](http://www.zeiss.de/imt), strona internetowa firmy Zeiss. 2014.
5. <http://www.oberon3d.pl/>, strona internetowa firmy Oberon3D.
6. [http:// www.smart-solutions.pl](http://www.smart-solutions.pl), strona internetowa firmy Smartsolutions
7. <http://www.nikonmetrology.com>, strona internetowa
8. Gawlik J., Sładek J., Ryniewicz A., Krawczyk M., Kupiec R.: Metrologia współrzędnościowa w inżynierii produkcji - dokładność pomiaru a dokładność wytwarzania, Inżynieria maszyn, R15, z3, 2010
9. Gąska A: Modelowanie dokładności pomiaru współrzędnościowego z wykorzystaniem metody Monte Carlo, Politechnika Krakowska, Kraków 2011