



Artykuł promocyjny

PRECYZJA W DUŻYM WYMIARZE

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe serii MMZ

Wśród współrzędnościowych maszyn pomiarowych (WMP) produkowanych przez Carl Zeiss urządzenia serii MMZ są największymi maszynami o konstrukcji portalowej, umożliwiającymi pomiary bardzo ciężkich i jednocześnie precyzyjnych części. Użytkownicy tego typu maszyn od dawna wykorzystują wszelkie zalety wysokiej dokładności pomiarów skaningowych ZEISS, bazującej na precyzyjnej mechanice firmy Mauser. Obecna modernizacja całego typoszeregu MMZ pozwoliła na rozszerzenie funkcjonalności tych urządzeń dzięki umożliwieniu stosowania różnych głowic (*Multi-sensor Technology*) oraz znacznemu zwiększeniu dokładności pomiarowej, co po raz kolejny sprawiło, że typoszereg MMZ jest bezkonkurencyjny cenowo w klasie precyzyjnych, wielkogabarytowych współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Seria MMZ oferowana jest również w wersji S-ACC o podwyższonej dokładności pomiarowej.

Do zmodernizowanej rodziny maszyn MMZ Carl Zeiss oferuje sprawdzone i niezawodne oprogramowania pomiarowe UMESS UNIX i UMESS Linux oraz CALYPSO – nowoczesne, zorientowane na część mierzoną i oparte na architekturze CAD. Pochodne pakiety oprogramowań podstawowych umożliwiają pomiary zarysów krzywoliniowych, powierzchni krzywokreślnych, uzębień itp.

Maszyny serii MMZ i MMZ-G – z racji wielkości swych przestrzeni pomiarowych, osiąganych dokładności oraz sensoryki pomiarowej umożliwiającej precyzyjny skaning lub szybkie, kontrolne pomiary impulsowe – są najbardziej uniwersalnymi urządzeniami pomiarowymi 3D. Ze względu na wysoką dokładność mogą być wykorzystywane zarówno do pomiaru niewielkich i precyzyjnych części (np. sprawdziany), jak i do pomiaru bardzo dużych, dokładnych i ekstremalnie ciężkich przedmiotów (np. wielkogabarytowe przyrządy montażowe, modele, formy, wrzecienniki i korpusy obrabiarek, ściany łożyskowe maszyn drukarskich, bloki i głowice małych silników okrętowych).

Głowica skaningowa umożliwia wyznaczanie w jednym zamocowaniu technologicznym **wymiarów** (średnice, odległości, kąty), **odchyłek położenia** (pozycja, prostopadłość, równoległość, symetria, współśrodkowość, współosiowość, bicia) oraz **odchyłek kształtu** (okrągłość, walcowość, płaskość, prostoliniowość). Otwiera to nowe możliwości zastosowań, redukuje czasy trwania procesów, ogranicza operacje ręczne, a w efekcie zmniejsza koszty produkcji (w tym znacząco koszty osobowe). Technika skaningowa optymalizuje funkcyjnie i czasowo również inne, najbardziej zawile zadania pomiarowe, jak np. *reverse engineering*.

Dzięki temu maszyny te nadają się doskonale do zakładów o bardzo szerokim i różnorodnym profilu produkcji, gdzie wymagana jest wysoka dokładność pomiarów (np. przemysł lotniczy, obrabiarkowy, narzędziowni).

Zoptymalizowana konstrukcja układu mechanicznego maszyn MMZ i MMZ-G, stworzona metodą elementów skończonych (FEM), umożliwia szybkie przemieszczenia portalu i pinoli głowicy pomiarowej. Przemysłana konstrukcja ustroju mechanicznego i osłon powoduje, że maszyny MMZ i MMZ-G są wyjątkowo odporne na zanieczyszczenia oraz inne zakłócenia zewnętrzne (np. temperaturę). Te cechy umożliwiają ich stosowanie w pobliżu linii produkcyjnej, nawet w najcięższych warunkach pracy.

Zakresy pomiarowe, dokładności

Portalowe maszyny pomiarowe serii MMZ (rys. 1), zwarłe konstrukcyjnie urządzenia bazujące na pełnym korpusie, mają standardowo przestrzenie pomiarowe o wymiarach maks.: $X = 2000$ mm, $Y = 3000$ mm i $Z = 1600$ mm.

Łoża maszyn portalowych o większych zakresach pomiarowych, zaliczanych do serii MMZ-G (rys. 2), budowanych z maksymalną przestrzenią pomiarową $X = 3000$ mm, $Y = 6000$ mm, $Z = 2200$ mm, osadzone są na specjalnym fundamencie konstrukcyjnym.



Rys. 1. Maszyna pomiarowa Zeiss MMZ

Zdefiniowana niepewność pomiarowa maszyn MMZ i MMZ-G gwarantowana jest nawet przy maksymalnych parametrach ruchu i we wszystkich miejscach przestrzeni pomiarowej, również tych, które teoretycznie powinny dawać wyniki *Worst Case* – dotyczy to 100% wykonanych pomiarów testowych. Maszyny MMZ wytwarzane są w wersji standardowej oraz wersji S-ACC (*Super Accuracy – super dokładność*). Wprowadzenie na rynek wersji S-ACC wymagało od producenta zastosowania m.in. zaawansowanej techniki korekcji głowicy pomiarowej ADAPT (*Adaptive Dynamic Accuracy Probe Technology*) [1], zagęszczenia korekcji układu kinematycznego maszyny CAA (*Computer Aided Accuracy*) [1] oraz zaostrzenia warunków temperaturowych, które zobowiązany jest zapewnić użytkownik. Poniżej podane są przykładowe niepewności pomiarowe dla maszyn MMZ 16/20/12 w wersji S-ACC:

$$U_1 = 1,8 + L/350 \text{ } \mu\text{m}; \quad MPE_E = U_3 = 2,0 + L/350 \text{ } \mu\text{m}; \\ V_2 = 2,0 \text{ } \mu\text{m}; \quad MPE_P = 3,2 \text{ } \mu\text{m}.$$



Rys. 2. Maszyna pomiarowa Zeiss MMZ-G

Konstrukcja maszyny

Krótką charakterystyką konstrukcji mechanicznej maszyn MMZ i MMZ-G:

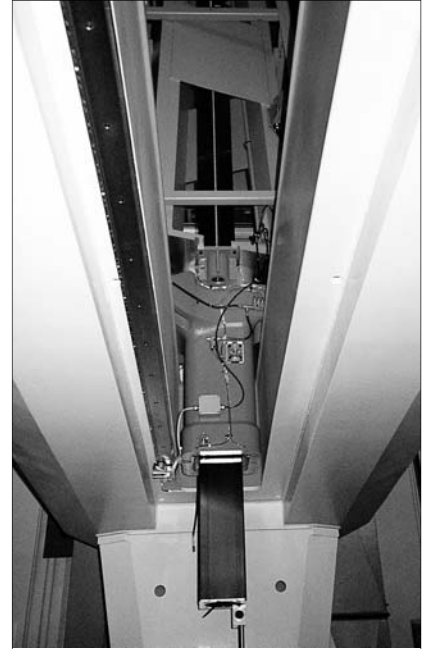
- odprężona, spawana konstrukcja stalowa korpusu/łoża maszyny minimalizująca podatność termiczną ustroju mechanicznego;
- centralne prowadzenie pinoli;
- precyzyjny napęd portalu;
- niepodatność układu mechanicznego na zmienne masy mierzonych części;
- konstrukcja stołu w kształcie litery L z podniesioną prowadnicą osi Y, pozwalająca na zastosowanie zwanego i stabilnego portalu osi X i Z;
- prowadnica osi Y zintegrowana ze spawanym łożem maszyny;
- łożyskowanie toczne (instalacja sprężonego powietrza jest zbędna).

• **Spawane: podstawa maszyny, portal i pinola.** Podstawę maszyny serii MMZ stanowi pełny korpus, a maszyny serii MMZ-G dwa łoża. Stalowe podstawy, portale i pinole skonstruowane zostały metodą FEM opracowaną dla przemysłu lotniczego i kosmicznego. W przeciwieństwie do konstrukcji wykonywanych z granitów, metoda FEM z pełną skutecznością optymalizuje konstrukcje stalowe (rys. 3). Wszystkie elementy konstrukcyjne optymalizowane są pod kątem maksymalnej sztywności i minimalnej masy, co umożliwia duże prędkości przemieszczeń, a więc znacząco skraca czasy pomiarów przestrzennych, szczególnie pomiarów części wielkogabarytowych. Zastosowanie materiałów homogenicznych do budowy pozbawionych naprężeń elementów układu kinematycznego zwiększa stabilność termiczną systemu i tym samym redukuje niepewność pomiarową maszyny.



Rys. 3. Konstrukcja stalowa maszyny MMZ

Ten sam efekt zapewnia centralne prowadzenie pinoli w portalu, zwiększające stabilność i sztywność systemową (rys. 4). Pinola wykonana jest z cienkościennego stalowego profilu spawanego, utwardzonego laserowo oraz precyzyjnie szlifowanego i docieranego. Specjalny, zaawansowany technicznie sposób łożyskowania gwarantuje – mimo dużych rozmiarów i pozornej wiotkości pinoli – jej stabilne, sztywne i precyzyjne prowadzenie w osiach Y i Z maszyny.

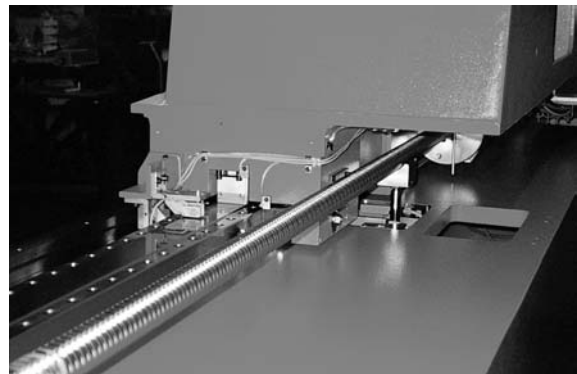


Rys. 4. Centralne prowadzenie pinoli w portalu maszyny MMZ

• **Układ tłumienia drgań.** Minimalizacja masy i wysoka sztywność maszyny MMZ stworzyły możliwość standardowego wyposażania jej w bardzo skuteczny, elastomero-wiskotyczny układ tłumienia drgań. Dzięki temu możliwe jest stosowanie maszyny w pobliżu linii produkcyjnych emitujących drgania podłoża oraz na górnych piętrach zabudowań fabrycznych. Niewielka wysokość maszyny (<4000 mm) pozwala na jej pracę w niskich pomieszczeniach.

Fundament z izolacją antywibracyjną, na którym osadzone są łoża maszyn MMZ-G gwarantuje wysoką dokładność pomiarową, dostęp do przestrzeni pomiarowej dla pojazdów transportowych oraz łatwą integrację systemową ręcznych i automatycznych paletowych urządzeń załadowniczych. Fundamenty projektowane są przez producenta maszyn.

• **Prowadnice beztarciove XYZ.** Płaskie prowadnice z hartowanej laserowo, precyzyjnie szlifowanej oraz docieranej stali (rys. 5), na których przemieszczają się tzw. toczne stopy kulkowe (elementy toczne o pomijalnie niskim tarciu przejęte z techniki kosmicznej) stanowią bardzo stabilny, liniowy system prowadzący, który teorety-



Rys. 5. Prowadnice i toczna śruba pociągowa MMZ

cznie nie podlega zużyciu. Układ ten zapewnia płynne przejazdy, dużą odporność na ścieranie oraz długie okresy bezobsługowe. Ponieważ układ prowadzący nie bazuje na łożyskach pneumatycznych, zbędne jest podłączenie WMP do instalacji sprężonego powietrza.

- **Układy napędowe.** Źródłem napędów osiowych są sterowane komputerowo silniki prądu stałego. Ciężkie portale poruszane są dużymi siłami napędowymi przenoszonymi przez precyzyjne, toczne śruby pociągowe z bezluzowymi kulowymi tulejami zabierającymi (rys. 5). Duże rozmiary układów przenoszenia napędów i optymalne rozmieszczenie punktów przyłożenia sił napędowych minimalizują efekt dźwigni i gwarantują płynne przemieszczenia osiowe portalu z wysoką dynamiką ruchu oraz dużą odporność eksploatacyjną układów. W maszynach serii MMZ-G dla osi $X > 2500$ mm stosowane są dwa synchroniczne układy napędowe w osi Y .

- **Oslony.** Wszystkie prowadnice i układy przenoszenia napędów pokryte są osłonami skutecznie eliminującymi dostęp kurzu i innych zanieczyszczeń. Oslony mocowane są w sposób zapewniający ich łatwy demontaż podczas prac obsługowych. Są one zabezpieczone specjalnym dwuskładnikowym lakierem, wyjątkowo odpornym na ścieranie. Do malowania maszyny użyte zostały dwa kolory: *biel papirusowa* (RAL 9018) oraz *błękit brylantowy* (RAL 5007), stanowiące harmonijną, estetyczną i wyciszającą kompozycję kolorystyczną.

- **Ochrona antykolizyjna i urządzenia zabezpieczające.** Głowica pomiarowa jest standardowo wyposażona w układ ochrony antykolizyjnej, zapewniający natychmiastowe zatrzymanie maszyny przy zderzeniu końcówki z częścią mierzoną lub innym przedmiotem. Również pinola wyposażona jest w elektromechaniczną sprężynową kurtynę antykolizyjną, która powoduje zatrzymanie maszyny po wystąpieniu niezamierzonego zetknięcia kurtyny z częścią mierzoną lub dotknięcia jej przez operatora.

W maszynach MMZ-G dodatkowe zabezpieczenia mogą stanowić oferowane opcyjnie bariery optoelektroniczne. Układy te powodują natychmiastowe wyłączenie napędów w przypadku wykrycia obiektu obcego w obszarze roboczym maszyny pracującej automatycznie. Opcyjnie oferowane są też układy eliminujące powstanie kolizji pomiędzy portalem maszyny a elementami urządzeń dźwigowych.

- **Stół pomiarowy.** Maszyny MMZ wyposażane są standardowo w stalowy stół pomiarowy z siatką gwintowanych otworów mocujących M12, rozmieszczonych w rastrze 200 mm. Alternatywnie może być dostarczany granitowy stół pomiarowy (DIN 876/I) z identyczną siatką gwintowanych tulei M12. Dopuszczalna masa mierzonych części dla maszyn serii MMZ wynosi 5000 kg (opcyjnie – 7000 kg). Masę części mierzonych na maszynach MMZ-G teoretycznie limituje tylko konstrukcja fundamentu.

- **Stół obrotowo-podziałowy,** tworzący czwartą oś maszyny podstawowej, znacznie przyspiesza czasy operacji kontrolnych, istotnie powiększa rzeczywisty zakres pomiarowy WMP oraz zdecydowanie podwyższa dokładność pomiarów odchyłek kształtu sprawdzanych części. Największe oszczędności czasów operacyjnych uzyskiwane są na maszynie ze stołem obrotowo-podziałowym przy pomiarach części o symetrii obrotowej. Stół obrotowo-podziałowy niezbędny jest też przy sprawdzaniu stożkowych uzębień łukowych (np. Gleason). Oferowane stoły mają obciążalność 50÷5000 kg.

- **Osiowe układy pomiarowe XYZ.** Maszyny MMZ wyposażane są w najwyższej jakości optoelektroniczne układy pomiarowe ZEISS PHOCOSIN, bazujące na szklano-ceramicznych liniałach o stałej $0,2 \mu\text{m}$. W maszynach serii MMZ-G dla osi $X > 2500$ mm stosowane są dwa układy pomiarowe w osi Y .

Głowice pomiarowe

W zależności od zadań pomiarowych stojących przed użytkownikiem może on uzbrajać maszynę w jedną z dwóch oferowanych głowic pomiarowych: głowicę skaningową VAST lub przegub obrotowo-wychyłny RDS.

- **Głowica skaningowa VAST HSS** (*High Speed Scanning*) umożliwia szybkie pomiary w jednym zamocowaniu technologicznym **wymiarów** (średnice, odległości, kąty), **odchyłek położenia** (pozycja, prostopadłość, równoległość, symetria, współśrodkowość, współosiowość, bicia) oraz **odchyłek kształtu** (okrągłość, walcowość, płaskość, prostoliniowość) [2]. Na precyzję pomiarów maszyną 3D i ich funkcjonalność w rozstrzygający sposób wpływają parametry metrologiczne i cechy użytkowe głowicy.

Głowica skaningowa VAST (rys. 6) wyposażona jest w elektromagnetyczny układ wymiany kombinacji końcówek pomiarowych. Standardowe tryby pracy to: pomiar statyczny (sondowanie punktów pojedynczych), pomiar wielopunktowy, szybki skaning (*High Speed Scanning*) oraz skaning samocentrujący. Dopuszczalna masa



Rys. 6. Pomiar wału korbowego głowicą skaningową VAST

kombinacji końcówek pomiarowych 600 g; ich maksymalna długość do 600 mm przy dowolnym położeniu przestrzennym, co umożliwia dostęp do części mierzonej ze wszystkich stron oraz pomiary wewnątrz najgłębiej położonych zakamarków kontrolowanych części (rys. 7). Wyważenie głowicy dla różnych obciążeń końcówkami następuje automatycznie. Głowica wyposażona jest w podwójny układ zabezpieczenia kolizyjnego.



Rys. 7. Przykład skomplikowanej kombinacji końcówek pomiarowych głowicy skaningowej

Wymagania techniki pomiarów odchyłek kształtu spełniają wyłączanie WMP wyposażone w bardzo czułe i dokładne skaningowe pomiarowe. Ich najistotniejszymi parametrami metrologicznymi są duży, liniowy zakres regulacji skaningu (zalecane min. $\pm 0,2$ mm) i wysoka rozdzielczość pomiarowa ($< 0,2 \mu\text{m}$). Konieczne jest, aby nacisk pomiarowy był stały i zawsze działał w kierunku normalnym do powierzchni mierzonej [4]. W celu uzyskania porównywalności ze specjalizowanymi przyrządami do pomiarów błędów kształtu, należy stosować w oprogramowaniu WMP i w metodach dokumentacji wyników zalecenia właściwych norm, dotyczące algorytmów obliczeniowych i filtrujących oraz metod dokumentacji wyników pomiarów [3].

Zakres pomiarowy skaningu w każdej z trzech osi głowicy VAST wynosi od $\pm 0,3$ mm do $\pm 1,0$ mm przy całkowitym zakresie wychylnym $\pm 5,0$ mm. Rozdzielczość jej wewnętrznych, indukcyjnych układów pomiarowych ma wartość $0,1 \mu\text{m}$. Maksymalna częstotliwość skaningu wynosi 200 pkt/s, a maksymalna prędkość skaningu – 100 mm/s. Standardowe wartości nacisku pomiarowego to: 0,1; 0,2; 0,4 i 1,0 N. Minimalny nacisk wynosi 0,05 N, wartości pośrednie ustawiane są z krokiem 0,05 N. Nacisk wytwarzany jest przez specjalny generator wektorowy, gwarantujący jego stałą wartość przy każdej wartości wychylenia głowicy i pod każdym kątem natarcia końcówki na powierzchnię mierzoną.

Oprogramowanie pomiarowe ZEISS gwarantuje korzystanie z identycznych algorytmów obliczeniowych, filtrów i metod dokumentacji wyników, jakie wymagane są dla specjalizowanych urządzeń do pomiarów błędów kształtu.

Głowica VAST ma też aktywne łącze sensorowe. Sensory aktywne wytwarzają własne sygnały elektryczne, które poprzez łącza przenoszone są do jednostki obliczeniowej. Sensory są osadzone w głowicy za pomocą talerzy mocujących i wymieniane automatycznie w trybie CNC. Aktualnie oferowane są: czujnik pomiaru temperatury do automatycznego i szybkiego wyznaczania temperatury mierzonej części z dokładnością $0,1$ K oraz głowica pomiaru chropowatości powierzchni do automatycznego i szybkiego wyznaczania koniecznych parametrów chropowatości w trybie CNC. Istotną zaletą tego rozwiązania jest pełna porównywalność uzyskiwanych wyników na różnych częściach, dzięki zapewnionej powtarzalności miejsca pomiaru.

□ **Pomiarowy przegub obrotowo-wychylny RDS.** Głowica obrotowa RDS (rys. 8), dzięki dwóm osiom obrotu, umożliwia dostęp do części mierzonej ze wszystkich



Rys. 8. Pomiar korpusu za pomocą przegubu RDS

stron. Kąt obrotu wynoszący w obu osiach $\pm 180^\circ$ oraz rozdzielczość pozycjonowania przestrzennego w obu osiach $2,5^\circ$ umożliwiają osiągnięcie 20 736 położeń. Pozwala to m.in. na pomiar otworów zorientowanych pod dowolnym kątem przestrzennym. Dokładność pozycjonowania wynosząca $\pm 1''$ oraz duża stabilność termiczna, wynikająca z zastosowania silników pneumatycznych niewielkiej mocy i przeniesienia elektroniki poza głowicę, pozwalają przeprowadzać dokładne pomiary z wykorzystaniem tylko jednej końcówki. Przegub obrotowo-wychylny RDS z głowicą impulsową TP6 jest idealnym narzędziem do szybkiego testowania elementów geometrycznych i charakterystyk narzędzi, np. prototypowych odlewów. Zwiększenie funkcjonalności użytkowej przegubu zapewnia elektromagnetyczny układ wymiany głowic impulsowych.

Oprogramowanie pomiarowe

Maszyny serii MMZ mogą być wspomagane przez dwa bazowe pakiety oprogramowania użytkowego: CALYPSO i UMESS.

• **CALYPSO** to innowacyjne oprogramowanie użytkowe bazujące na jądrze CAD [4]. Wszystkie dane geometryczne zapamiętywane są w postaci modeli CAD. Oprogra-

ramowanie odczytuje bezpośrednio wiele obcych modeli cyfrowych, rozpoznaje geometrię mierzonej części z modelu CAD i samoczynnie określa płaszczyzny bezpieczeństwa w odniesieniu do stosowanych końcówek pomiarowych. Wprowadzane zmiany w konstrukcji mierzonej części CALYPSO rozpoznaje i automatycznie dokonuje odpowiednich zmian w programach pomiarowych CNC. Oprogramowanie to jest w pełni zorientowane na technikę Windows – samoobjaśniające i samorozpoznające, wyposażone w optymalne funkcje graficzne i pełną wizualizację wprowadzanych danych i uzyskiwanych rezultatów. Od operatorów nie jest wymagana znajomość jakichkolwiek języków programowania, zapamiętywanie oznaczeń skrótowych czy poszczególnych procedur obsługi. Calypso wykorzystuje zwykle symbole wg standardu SOI.

Dzięki jądrze CAD, bazującemu na standardzie przemysłowym ACIS, CALYPSO jest też idealnym narzędziem dla tzw. *Reverse Engineering*. Nawet jeżeli nie istnieje opis matematyczny mierzonej części, oprogramowanie generuje automatycznie jej model CAD w trakcie każdego pomiaru. CALYPSO instalowane jest na wydajnych komputerach klasy PC, wspomaganym systemem operacyjnym Windows.

• Seria maszyn MMZ dostępna jest także z bardzo obszernym użytkowo i sprawdzonym oprogramowaniem **UMESS** [5]. UMESS instalowane jest na ekstremalnie sprawnych stacjach roboczych wspomaganym systemem operacyjnym HP UNIX lub na wydajnych komputerach klasy PC pod systemem operacyjnym LINUX.

Oba systemy bazowe CALYPSO oraz UMESS mogą być opcyjnie uzupełniane o dodatkowe pakiety oprogramowania użytkowego, jak: HOLOS do pomiarów i digitalizacji linii i powierzchni krzywokreślnych [6], DIMENSION do digitalizacji odwzorowującej linii i powierzchni krzywokreślnych, QS-Stat do obróbki statystycznej wyników, GON do pomiaru kół zębatych itp.

Wszystkie pakiety oprogramowania użytkowego do maszyn pomiarowych 3D firmy Zeiss dostępne są w różnych językach, również w języku polskim.

LITERATURA

1. M. NOCUN: Nowe sensory pomiarowe rozszerzają możliwości zastosowań współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Materiały konferencji Współrzędnościowa Technika Pomiarowa, Szczyrk 22-24 04.1996, wyd. PŁ – Filia w Bielsku-Białej, 1996.
2. M. NOCUN: VAST rewolucjonizuje technikę pomiarów współrzędnościowych. *Mechanik* 1/1996.
3. M. NOCUN: Możliwości zastosowania maszyn pomiarowych 3D do sprawdzania odchyłek kształtu. *Przegląd Mechaniczny* 23-24/1997.
4. A. JANUSIEWICZ, D. MICHALSKI, M. MIGACZ: Koncepcja pomiarów współrzędnościowych zawarta w programie CALYPSO firmy ZEISS, PŁ – Filia w Bielsku-Białej. *Zeszyty Naukowe* Nr 53/2000.
5. E. RATAJCZYK: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Maszyny i roboty pomiarowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1994.
6. M. NOCUN: Nowa, modularna struktura oprogramowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych. *Mechanik* 3/2001.

Opracowanie: Marek Nocuń, Robert Sowiński
Carl Zeiss Sp. z o.o. – Segment Industrielle Messtechnik Warszawa

Więcej informacji można uzyskać pod adresem:



Carl Zeiss Sp. z o.o.
Segment Industrielle Messtechnik

ul. Chodkiewicza 8/4, 02-525 Warszawa
tel.: (22) 881 02 49 fax: (22) 848 23 53
e-mail: czimt@pol.pl
<http://www.zeiss.pl> <http://www.zeiss.de/imt>