



Zasady doboru współrzędnościowej maszyny pomiarowej

Dobór właściwego wyposażenia pomiarowego jest zadaniem stojącym przed coraz liczniejszym gronem metrologów i technologów. W przypadku wyboru współrzędnościowej maszyny pomiarowej zadanie to jest zdecydowanie bardziej skomplikowane i odpowiedzialne, zarówno ze względu na rozmiar inwestycji, jak i zaawansowanie technologiczne produktu. Różnorodność rozwiązań technicznych oraz opcji wyposażenia i oprogramowania wymaga dużego zaangażowania ze strony nabywcy. Upraszczenie analizy i pochopne decyzje mogą w konsekwencji doprowadzić do realizacji niewłaściwej inwestycji.

Idealną sytuacją podczas doboru współrzędnościowej maszyny pomiarowej jest stan, kiedy użytkownik ma możliwość wykonania wszystkich wymaganych zadań pomiarowych z zachowaniem prawidłowego zapasu dokładności. Należy również pamiętać o tym, aby urządzenie umożliwiało dokonywanie pomiarów produktów, które dopiero będą wytwarzane w przyszłości – zarówno poprzez wykorzystanie istniejącego urządzenia, jak i poprzez jego doposażenie w dodatkowe oprogramowanie lub/i sprzęt. Oczywiście bardzo ważna jest także sprawa kosztów: zarówno samej inwestycji, jak i późniejszego utrzymania współrzędnościowej maszyny pomiarowej.

Obecnie powszechnie uważa się, że głównymi czynnikami mającymi wpływ na wybór maszyny pomiarowej są:

- zakres pomiarowy,
- niepewność pomiarowa urządzenia,
- cena urządzenia.

Jednak takie podejście jest zdecydowanie zbyt dużym uproszczeniem. Prawidłowy dobór maszyny pomiarowej zawsze **powinien prowadzić do rozwiązania zadania pomiarowego** poprzez optymalny wybór urządzenia spośród wielu rozpatrywanych rozwiązań. W przeciwnym wypadku można doprowadzić do sytuacji zakupu sprzętu, który okaże się mało przydatny lub, w najgorszym przypadku, całkowicie niespełniający oczekiwań.



Rys. 1. Maszyna pomiarowa o dużej produktywności ZEISS ACCURA II z centralną głowicą skanującą VAST XT i systemem tłumienia drgań



Rys. 2. Aktywna centralna głowica pomiarowa ZEISS VAST gold: maks. masa końcówek 600 g, maks. długość 800 mm

Aby dokonać prawidłowego wyboru maszyny pomiarowej, oprócz trzech wcześniej wymienionych czynników, należy także uwzględnić:

- typ mierzonych części,
- rodzaj oraz tolerancje mierzonych charakterystyk,
- oprogramowanie pomiarowe,
- rzeczywistą dokładność urządzenia w docelowej konfiguracji,
- środowisko pracy maszyny,
- system tłumienia drgań,
- produktywność,
- dostępność serwisu (technicznego i aplikacyjnego),
- pomiary próbne,
- badanie zdolności systemu pomiarowego.

Typ mierzonych części zasadniczo wymusza rodzaj wymaganej głowicy pomiarowej i oprogramowania pomiarowego. Części obrabiane mechanicznie zazwyczaj wymagają głowic skanujących. Części średnie i duże oraz wymagające głębokich penetracji powinny być mierzone z wykorzystaniem centralnych, aktywnych głowic skanujących. Idealnym rozwiązaniem jest głowica ZEISS VAST gold (rys. 2), która umożliwia pracę z końcówkami o masie do 600 g i długości do 800 mm. Blachy karoseryjne oraz całe karoserie mogą być z powodzeniem mierzone przy użyciu stykowych głowic impulsowych ZEISS DT lub Renishaw TP20, które mocuje się w przegubie obrotowo-uchylnym ZEISS RDS. Z kolei elementy elastyczne, np. z tworzyw sztucznych, wymagają zastosowania głowic

optycznych (rys. 4). Jeżeli jednak zakres produktów, które mają być mierzone na współrzędnościowej maszynie pomiarowej jest bardzo szeroki, niezbędne może okazać się używanie różnych głowic.

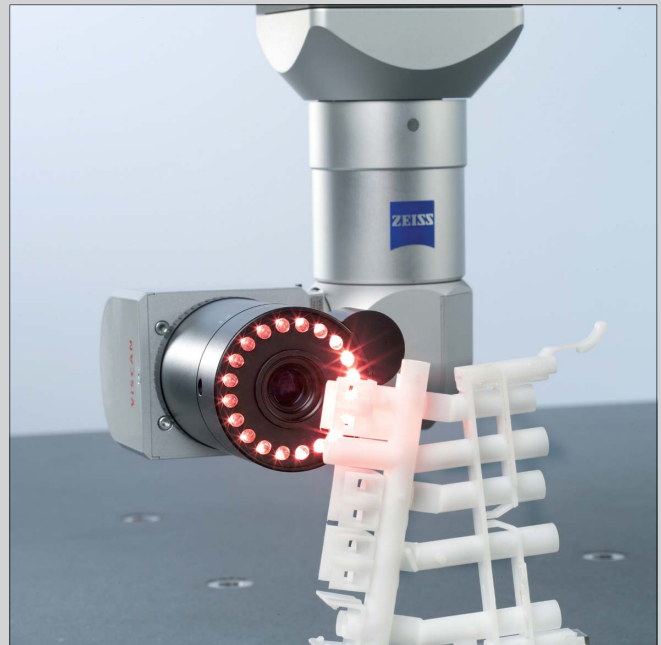
W takim wypadku można dokonać zakupu dwóch urządzeń lub wybrać maszynę pomiarową ZEISS z systemem MASS (*Multi Application Sensor System*), umożliwiającą obsługę centralnych głowic skanujących oraz przegubu RDS z głowicami stykowymi i optycznymi. Rozwiązanie to umożliwia także używanie głowic optycznych i stykowych w jednym cyklu pomiarowym (rys. 6).

Rodzaj mierzonych charakterystyk oraz ich tolerancje. Czynnikiem ten, razem z typem części, ma największy wpływ na wybór oprogramowania i głowicy pomiarowej. Przykładowo, jeżeli wymagane są pomiary błędów kształtu, to niezbędne jest wyposażenie maszyny w głowicę skanującą oraz oprogramowanie umożliwiające graficzną prezentację błędów kształtu. To zadanie zapewni zakup dowolnej maszyny pomiarowej ZEISS z głowicą skanującą i standardowym oprogramowaniem CALYPSO. W przypadku pomiarów blach karoseryjnych prawdopodobnie wystarczające będzie używanie maszyny z oprogramowaniem HOLOS i głowicą impulsową zamocowaną do przegubu RDS. Natomiast do pomiarów kół zębatych w najprostszej konfiguracji potrzebne są głowica skanująca oraz oprogramowanie CALYPSO i GEAR PRO. Niektóre typy kół zębatych wymagają dodatkowo użycia stołu obrotowego.



Rys. 3. ZEISS DuraMax – skanująca maszyna pomiarowa do ustawiania bezpośrednio na linii produkcyjnej. Zakres pomiarowy 500 × 500 × 500 mm

Oprogramowanie pomiarowe. Z punktu widzenia użytkownika bardzo istotne są takie czynniki, jak: swoboda i łatwość pracy z oprogramowaniem, duże możliwości standardowego pakietu, zintegrowane jądro CAD (umożliwiające wykorzystywanie istniejących modeli 3D), polska wersja oprogramowania oraz zgodność algorytmów obliczeniowych z wymogami normy ISO.



Rys. 4. Głowica optyczna ZEISS ViScan zamocowana do przegubu RDS

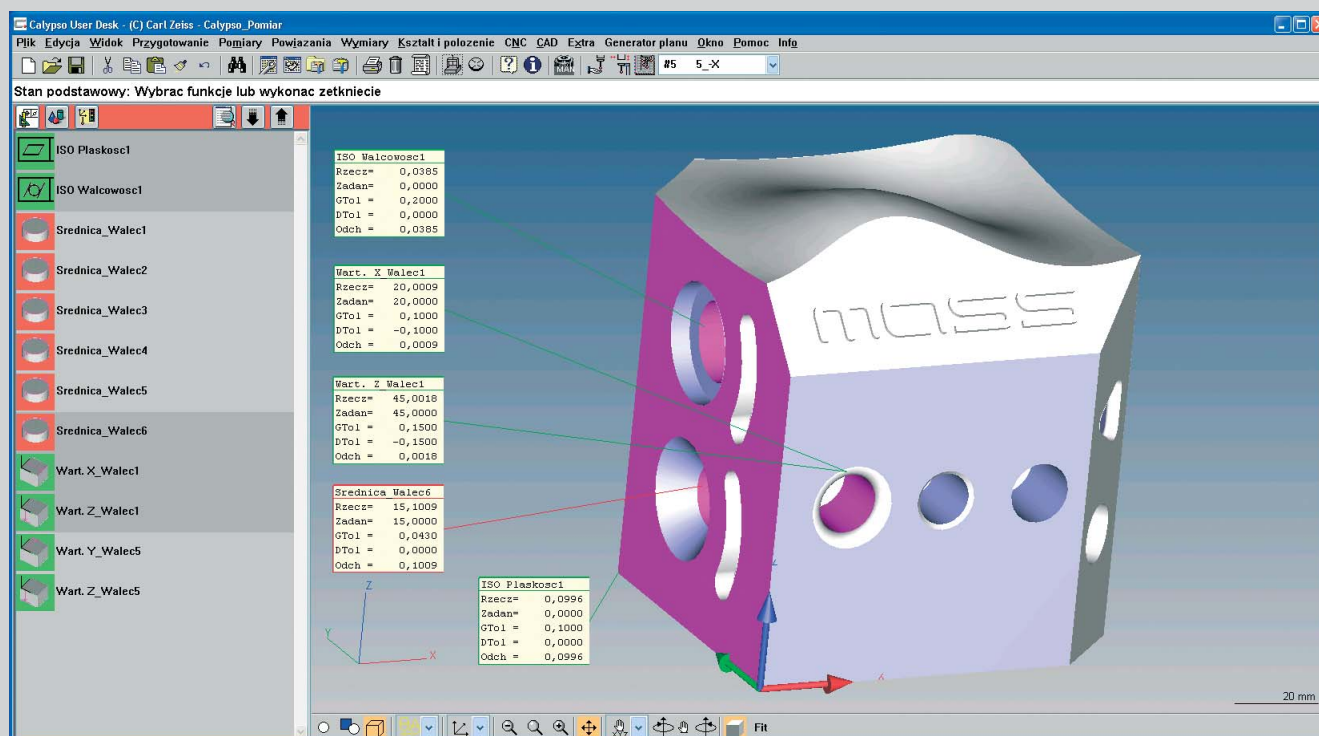
Wszystkie te wymagania spełnia CALYPSO (rys. 5) – standardowe oprogramowanie firmy Carl Zeiss.

Środowisko pracy maszyny: laboratorium pomiarowe czy hala produkcyjna? Maszyny pracujące w środowisku produkcyjnym muszą spełniać dodatkowe, surowe wymagania, takie jak odporność na drgania, zapylenie i zanieczyszczenie, wykazywać dużą stabilność termiczną, uzyskaną m.in. przez zastosowanie liniałów o zerowym współczynniku rozszerzalności termicznej, oraz posiadać specjalny interfejs oprogramowania, umożliwiający prostą i szybką obsługę przez personel produkcyjny. Należy pamiętać, że zazwyczaj wyższe nakłady inwestycyjne na specjalną maszynę pomiarową przeznaczoną na wydział produkcyjny zwracają się bardzo szybko, z uwagi na oszczędności związane z brakiem fundamentu, klimatyzacji i laboratorium pomiarowego oraz z krótkim czasem oczekiwania na wynik pomiaru, wynikającym ze znacznego skrócenia dróg transportowych. Wszystkie te wymagania spełniają maszyny pomiarowe ZEISS CenterMax i DuraMax (rys. 3).

System tłumienia drgań. Współrzędnościowe maszyny pomiarowe są urządzeniami pomiarowymi o wysokiej precyzji; brak systemu tłumienia drgań (wibracje zawsze występują w pobliżu obrabiarek, pras, silników, dróg itp.) uniemożliwia wykonywanie rzetelnych pomiarów przez większość czasu.

Niektóre z maszyn współrzędnościowych nie mają układu tłumienia drgań, co wymusza zbudowanie specjalnego fundamentu z wibroizolacją, zazwyczaj znacznie podnoszącego koszt inwestycji. Inne maszyny mają pasywny lub aktywny system tłumienia drgań. Maszyny wyposażone w aktywne systemy tłumienia drgań najczęściej charakteryzują się wysoką dokładnością lub umożliwiają pracę bezpośrednio w hali produkcyjnej. Wszystkie maszyny pomiarowe firmy Carl Zeiss wyposażone są w system tłumienia drgań.

Produktywność. Jeżeli współrzędnościowa maszyna pomiarowa będzie wykorzystywana w laboratorium pomiarowym średnio przez jedną zmianę, to – ze względu



Rys. 5. Oprogramowanie metrologiczne ZEISS CALYPSO. W standardzie praca na modelach CAD i skanowanie

na żywotność i produktywność – wystarczy zakup urządzenia klasy ENTRY. Natomiast jeżeli maszyna ma być ulokowana w pobliżu stanowisk produkcji oraz pracować w sposób ciągły (3 zmiany oraz soboty i niedziele) to niezbędne jest zastosowanie urządzenia klasy PERFORMANCE lub PREMIUM o odpowiednio sztywnej i wytrzymałej konstrukcji, zapewniającej długoterminową pracę, stabilność metrologiczną, szybkość i łatwość obsługi. Takimi maszynami są: ZEISS ACCURA II (rys. 1), PRISMO navigator (rys. 6) oraz maszyny serii MaxLine: ZEISS GageMax (rys. 3) i ZEISS CenterMax.

Dostępność serwisu (technicznego i aplikacyjnego). Maszyna pomiarowa jest urządzeniem, które powinno służyć kilka lat. Jednak w warunkach polskich bardzo często się zdarza, że urządzenia te pracują przez kilkanaście lat (szczególnie duże, dokładne i drogie maszyny). Systemy jakości wymagają aby maszyny pomiarowe – jak większość narzędzi pomiarowych – były regularnie serwisowane i sprawdzane. Dlatego niezmiernie ważne jest, żeby sprzedawca posiadał szeroką i fachową bazę serwisu technicznego (duża liczba serwisantów w wielu lokalizacjach), co zapewni krótkie czasy reakcji przy optymalnych kosztach. Równie ważny jest serwis aplikacyjny, zapewniający szkolenia na najwyższym poziomie oraz doraźną pomoc w rozwiązywaniu problemów metrologicznych.

Rzeczywista dokładność urządzenia jest zagadnieniem zdecydowanie bardziej złożonym niż podstawowe, maksymalne dopuszczalne błędy graniczne MPE_E , MPE_P czy też MPE_{THP} . Błędy te opisują działanie maszyny w wyidealizowanej sytuacji – cały pomiar jest wykonywany z wykorzystaniem tylko jednego trzpienia w idealnych warunkach środowiskowych. W praktyce sytuacje takie występują niezmiernie rzadko. W pomiarach z wykorzystaniem obrotów przegubu lub gwiazdzistych układów trzpieni błędy maszyny potrafią znacząco odbiegać od specyfikacji MPE_E czy też MPE_P . Dotyczy to zwłaszcza pomiarów z wykorzystaniem przegubów obrotowo-

-uchylnych. Norma ISO 10360 opisuje dodatkowe parametry dla maszyn z końcówkami gwiazdzistymi: MPE_{MF} , MPE_{MS} , MPE_{ML} lub przegubami: MPE_{AF} , MPE_{AS} , MPE_{AL} – jednak żaden producent nie podaje ich w standardowych specyfikacjach.

Aby sprawdzić rzeczywistą przydatność wytypowanej maszyny pomiarowej, można wykorzystać różne metody:

- sprawdzić jej parametry dokładności i zastosować złotą regułę metrologii. Jeżeli spełniona zostanie ta zasada i narzędzie pomiarowe oferuje dokładność przynajmniej 10 razy większą niż tolerancja mierzonego wymiaru, oznacza to, że maszyna jest dobrana prawidłowo pod względem dokładności. Zazwyczaj jednak stosuje się odstępstwa od tej reguły dla kilku charakterystyk. Zmniejszenie współczynnika poniżej 5 powinno prowadzić do dyskwalifikacji urządzenia. Jednocześnie należy pamiętać, że osiąganie współczynników rzędu 20 i więcej prowadzi do przeinwestowania. Stosując wyżej wspomnianą metodę, należy uważać na pułapki. Często spotykanym błędem jest szacunkowy dobór maszyny na podstawie parametru MPE_E , w przypadku gdy mierzone są parametry związane z wzajemnym położeniem (np. współosiowość, równoległość, prostopadłość). Błędy takiego można uniknąć poprzez przeprowadzenie badania zdolności systemu pomiarowego lub wykorzystanie parametrów: MPE_{MF} , MPE_{MS} , MPE_{ML} , MPE_{AF} , MPE_{AS} , MPE_{AL} ;

- przeprowadzić badanie zdolności systemu pomiarowego – w dużym uproszczeniu jest to wielokrotny pomiar rozpatrywanej części na sprawdzanej maszynie w ustalonej konfiguracji (współczynniki Cg i Cgk).

We wszystkich wypadkach należy sprawdzić stosunek rozrzutu lub błędu granicznego do tolerancji mierzonego wymiaru. Szczególną uwagę na dobór środka pomiarowego powinny zwrócić firmy z branży motoryzacyjnej, które – oprócz wyznaczenia współczynników Cg i Cgk – zobowiązane są do bardziej złożonego badania zdolności systemów pomiarowych. Mogą się bowiem zdarzyć przy-

padki, gdy zastosowany środek pomiarowy spełnia wspomnianą powyżej złotą regułą metrologii w odniesieniu do parametru MPE_E , jednak nie jest w stanie pozytywnie przejść badania zdolności systemu pomiarowego. Należy zwrócić uwagę, że system pomiarowy to znacznie więcej niż maszyna pomiarowa, głowica, trzpień i oprogramowanie, które są tylko jego bardzo istotnymi składnikami.

- zastosować wirtualną maszynę pomiarową – jest to oprogramowanie umożliwiające obliczanie niepewności dla każdej zmierzonej charakterystyki z uwzględnieniem używanej maszyny, głowicy, trzpieni i metodyki (niektórzy producenci, m.in. ZEISS, oferują tę opcję). Metoda ta dotyczy z reguły maszyn referencyjnych pracujących w laboratoriach wzorcujących, w bardzo stabilnych warunkach termicznych. Należy pamiętać o okresowym odnawianiu mapy błędów maszyny, na podstawie której dokonywane są obliczenia niepewności pomiaru.



Rys. 6. Precyzyjna maszyna pomiarowa ZEISS PRISMO navigator S-ACC z opcją MASS, umożliwiającą wykorzystywanie różnych głowic

Zakres pomiarowy. Optymalnym rozwiązaniem jest najmniejsza maszyna umożliwiająca pomiary wszystkich wytwarzanych części z pewnym „bezpiecznym zapasem”. Zakup zbyt dużej współrzędnościowej maszyny pomiarowej, oprócz zwiększenia kosztów zakupu, może powodować także problemy z lokalizacją urządzenia.

Aby dokonać prawidłowego wyboru rozmiaru maszyny należy uwzględnić m.in. następujące czynniki:

- uchwyty mocujące części zmniejszają zakres pomiarowy,
- zastosowanie przegubów obrotowo-uchyłnych zmniejsza zakres pomiarowy; rzeczywiste zmniejszenie zależy od przegubu i zastosowanej głowicy,
- zastosowanie głowicy centralnej w niektórych przypadkach umożliwia zwiększenie zakresu pomiarowego w osi X do maks. szerokości portalu, a w osi Y nawet do 1600 mm przy zastosowaniu głowicy ZEISS VAST gold; wiąże się to z nieznaczną utratą dokładności,
- gabaryty największej części z uwzględnieniem długości końcówek oraz zapasu na jej ominięcie,
- głębokość otworów, które mają być mierzone w trybie CNC; należy uwzględnić długość końcówek, które będą użyte do pomiaru.

Pomiary testowe. Z punktu widzenia klienta, wszelkie przeprowadzone analizy powinny zostać zakończone testami urządzeń, które potwierdzą lub podważą prawidłowość dokonanego wyboru współrzędnościowej maszyny pomiarowej. Pomiary testowe są najpewniejszą metodą zweryfikowania przydatności rozpatrywanego urządzenia i umożliwiają rozpoznanie wszelkich dodatkowych aspektów, które wcześniej nie były uwzględnione. Umożliwiają one także bardziej precyzyjne zdefiniowanie ostatecznej konfiguracji. Jedynym kłopotem dla nabywcy jest konieczność poświęcenia czasu. Zanim podejmie się decyzję o zaniechaniu przeprowadzenia pomiarów testowych, warto zadać sobie pytanie: „Czy stać nas na zakup drogiego urządzenia – jakim jest maszyna pomiarowa – które nie spełni naszych oczekiwań?”

Przedstawione rozważania powinny ułatwić proces doboru współrzędnościowej maszyny pomiarowej. Tematyka poruszona w niniejszym artykule podkreśla tylko najważniejsze kryteria doboru. Podstawową ideą jest **optymalne wykonanie żądanego zadania pomiarowego przez nabywane urządzenie pomiarowe**, a nie dokonanie inwestycji samej w sobie. Uwzględnienie wszystkich omówionych czynników wymaga nakładu pracy zarówno od nabywcy, jak i od sprzedawcy, zwłaszcza gdy przeprowadzone będą testy dokładności i funkcjonalności. Jednak takie podejście – oprócz satysfakcji – zapewni nabywcy optymalne wykonanie zadania pomiarowego, a także uchroni go przed wieloma późniejszymi problemami.

Chętnie udzielimy wszelkich potrzebnych informacji.

Opracowanie: Robert Sowiński, Marek Migacz
sowinski@zeiss.pl, migacz@zeiss.pl
Carl Zeiss Sp. z o.o. – Metrologia Przemysłowa



Carl Zeiss Sp. z o.o.
Metrologia Przemysłowa
ul. Św. Andrzeja Boboli 8/4
02-525 Warszawa

tel. 22 881 02 49
fax 22 848 23 53
e-mail: imt@zeiss.pl
www.zeiss.pl www.zeiss.de/imt