

mgr inż. Rafał Wypysiński
Instytut Technik Wytwarzania PW

OKREŚLANIE ZDOLNOŚCI POMIAROWEJ URZĄDZEŃ NA PRZYKŁADZIE PRĘTA WEKTOROWEGO

W Instytucie Technik Wytwarzania Politechniki Warszawskiej opracowano nową metodę i urządzenie do sprawdzania dokładności maszyn sterowanych numerycznie (NC – Numerical Control). W celu podjęcia decyzji o zdolności całego systemu pomiarowego przeprowadzono szereg testów. Skorzystano przy tym z gotowych procedur pomiarowych oraz zaproponowano nowe sposoby testowania przyrządów pomiarowych.

DETERMINATION OF DEVICES MEASUREMENT ABILITY IN CASE OF VECTOR BAR

New method and device for accuracy testing of numerical control machines (NC) was developed in Institute of Manufacturing Technology at Warsaw University of Technology. There were many tests realized for taking a decision about whole system's ability. New methods of measurement devices testing and already worked out methods were used.

1. WSTĘP

Pod pojęciem dokładności rozumie się najczęściej stopień zgodności wyniku pomiaru z wartością rzeczywistą wielkości mierzonej [1]. W praktyce technicznej wartość rzeczywista jest jednak pojęciem czysto abstrakcyjnym i nie jest możliwe jej jednoznaczne określenie. Z tego względu przy definicji pomiarów zamiast niej używa się pojęcia wartości poprawnej, stanowiącej w konkretnym przypadku dostateczne przybliżenie wartości rzeczywistej. Wartość poprawną można zdefiniować jako wynik innego, dostatecznie dokładnego pomiaru [2].

W programie sterującym ruchem maszyn NC (obrabiarek, robotów...) tory ruchu rozpisane są na poszczególne ruchy elementarne osi sterowanych numerycznie. Zaprogramowana ścieżka (kolejne punkty, łuki, krzywe...) może być opisana z dowolną dokładnością numeryczną (dowolna ilość miejsc po przecinku), jednak dokładność geometryczno-ruchowa maszyn, zmienność procesu i inne czynniki powodują, że w praktyce można uzyskać ograniczoną dokładność końcową toru ruchu czy też przedmiotu obrabianego.

Dokładność maszyn NC jest jednym z najważniejszych czynników określających jakość efektu końcowego, przy czym za wskaźnik jakości można przyjąć jakość powierzchni czy też dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotu po obróbce. Umiejętność określania dokładności maszyn jest zatem istotna z punktu widzenia procesu technologicznego. Do tego celu opracowano szereg urządzeń pomiarowych (rys. 1). Wykorzystywane w przemyśle urządzenia pozwalają na przeprowadzenie:

- statycznych testów dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi liniowych i obrotowych (polegające na dojechaniu zespołów wykonawczych maszyny do określonej pozycji, zatrzymaniu ruchu i określeniu różnicy wskazań między układami pomiarowymi obrabiarki oraz dokładniejszym urządzeniem pomiarowym),

- dynamicznych testów okrągłości, wykonywanych w czasie ruchu kołowego na płaszczyźnie, będącego wynikiem złożenia dwóch ruchów liniowych (w tym przypadku istotny jest kształt ścieżki pomiarowej).



Rys. 1. Urządzenia do badania dokładności obrabiarek NC: komercyjne [3] (a – Ball Bar Renishaw, b – interferometr laserowy Renishaw z układem optycznym do badania prostokątności osi liniowych) i testowane w laboratoriach [4] (c – R-test).

Określając dokładność obrabiarek NC w wyznaczonych punktach pomiarowych i wprowadzając odpowiednie wartości poprawek do tablicy korekcji układu sterowania, można w szybki i tani sposób zwiększyć dokładność obrabiarki a więc również dokładność obróbki. Z tego względu opracowywane są nowe koncepcje metod i urządzeń do badania dokładności o rosnących możliwościach pomiarowych.

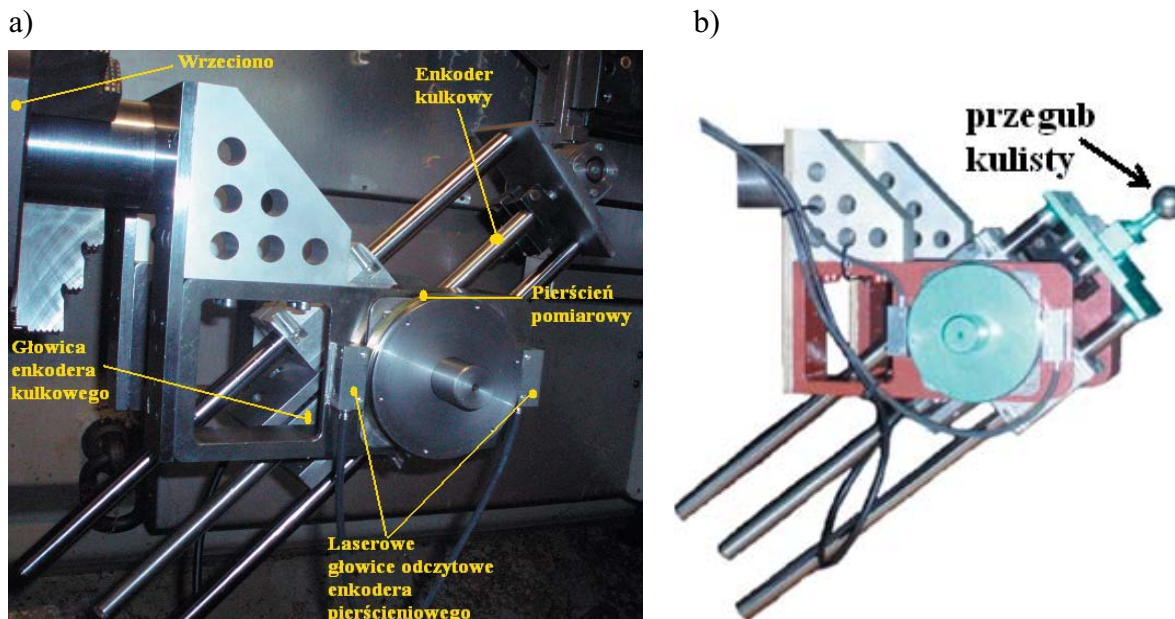
Zarówno komercyjne przyrządy pomiarowe jak i prototypowe urządzenia wymagają określenia ich zdolności pomiarowej, aby mogły prawidłowo realizować swoje zadania.

2. OPIS KONCEPCJI PRĘTA WEKTOROWEGO

W Instytucie Technik Wytwarzania Politechniki Warszawskiej opracowaną metodę badania dokładności maszyn NC, którą nazwano „metodą wektorową” – z uwagi na własności kinematyczne i pomiarowe, zaś wykorzystywane w tej metodzie urządzenie – prętem wektorowym (w skrócie VB – od ang. Vector Bar). Sprawdzanie dokładności jest realizowane przez jednoczesny pomiar dwóch wielkości: kąta obrotu i przemieszczenia liniowego – pomiar w biegunowym układzie współrzędnych. W każdym momencie testu można określić wszystkie charakterystyczne parametry opisujące wektor na płaszczyźnie: zwrot (określany za pomocą enkodera kąтового jako odchylenie od zaprogramowanego położenia zerowego), wartość (określana przez enkoder przemieszczeń liniowych) i kierunek (wzrost lub spadek składowej liniowej) przy znanym punkcie zaczepienia (charakterystyczna wielkość geometryczna, wynikająca z konstrukcji urządzenia).

Opracowaną koncepcję wyróżnia wykorzystanie sztywnego pręta (większość znanych rozwiązań bazuje na prętach/rurach teleskopowych), który przechodzi przez środek obrotu. W ostatecznej wersji jeden koniec pręta jest swobodny, zaś drugi jest zakończony przegubem kulistym i mocowany w uchwycie magnetycznym, który w trakcie pomiarów mocowany jest w miejscu narzędzia. Przegub kulisty pełni dodatkowo rolę zabezpieczenia w trakcie pomiarów, ograniczając możliwość uszkodzenia urządzenia w przypadku kolizji.

Sygnały elektryczne (w standardzie TTL) są przesyłane z głowic odczytowych enkoderów do skrzynki przyłączeniowej i dalej do karty DAQ, umieszczonej w komputerze przemysłowym.



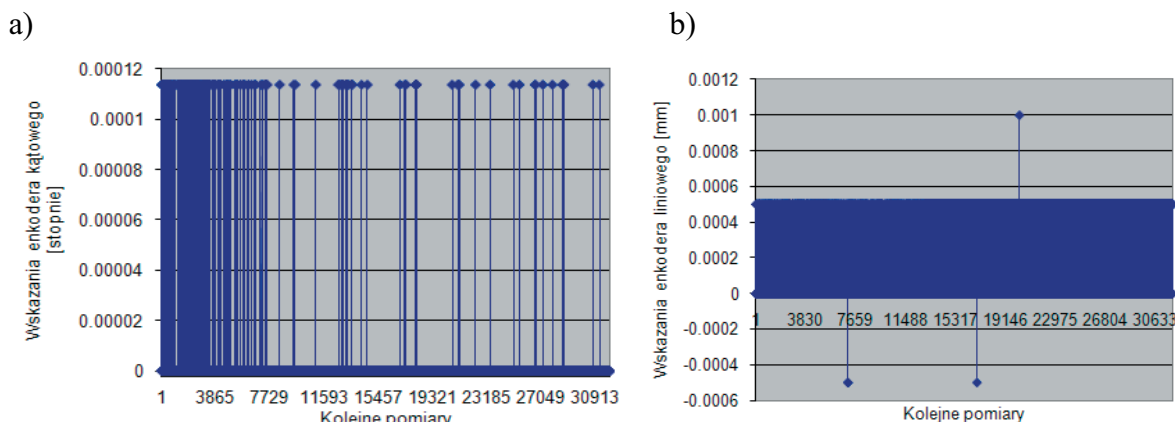
Rys. 2. Pręt wektorowy: a – zamocowany na tokarce NC z łożyskowym przegubem przy adapterze narzędziowym (wcześniejsza koncepcja), b – wersja VB z przegubem kulistym

3. TESTY PRĘTA WEKTOROWEGO

3.1. Badanie stabilności wskazań i powtarzalności VB

Badanie zdolności pomiarowej pręta wektorowego rozpoczęto (zgodnie z zaleceniami procedur pomiarowych) od najprostszych testów, czyli sprawdzenia stabilności wskazań (niezmienności wskazań przy tych samych warunkach pomiaru) oraz dokładności, polegającej na wielokrotnych najazdach na ten sam punkt pomiarowy.

Wskazania enkodera kąтового w czasie testu stabilności różniły się maksymalnie o $0,00011^\circ$ ($0,396$ s kątowej), czyli w granicach rozdzielczości pomiaru samego enkodera. Wskazania enkodera liniowego również zmieniały się w zakresie rozdzielczości enkodera ($0,5 \mu\text{m}$), z wyjątkiem jednego punktu, który może być uznany za błąd i pominięty (gdyż stanowi jeden z 30633 pomiarów).



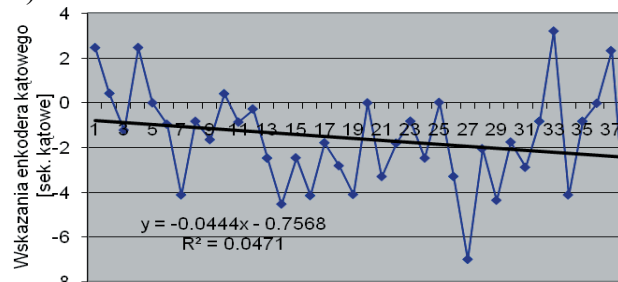
Rys. 3. Wyniki testu stabilności: a – wskazania enkodera kąтового, b – wskazania enkodera liniowego

Testy powtarzalności wskazań pręta wektorowego przeprowadzono w czterech wariantach: z wykorzystaniem wzorca schodkowego, uchwytu magnetycznego (z trzypunktowym stykiem z przegubem kulistym), pryzmy oraz kątownika. Z uwagi na możliwość ruchu VB wyłącznie w jednej płaszczyźnie, błędy ustawienia uchwytu magnetycznego w płaszczyźnie pomiarowej wprowadzały naprężenia w wałku, z którym sprzężony jest enkoder kątowy. Wyniki pozostałych testów były zbliżone do siebie i określiły końcową dokładność i rozrzut wskazań obu enkoderów pomiarowych w opisywanym zastosowaniu. Odchylenie standardowe dla pomiaru kąta wyniosło 2,27 s kątovej zaś dla pomiaru promienia 1,8 μm .

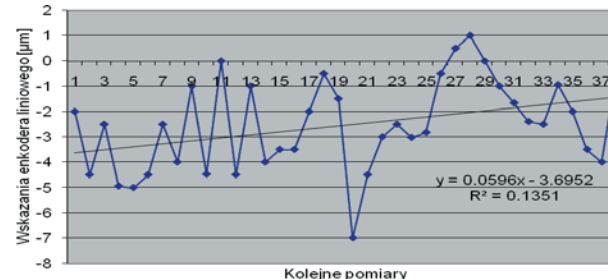
a)



b)



c)

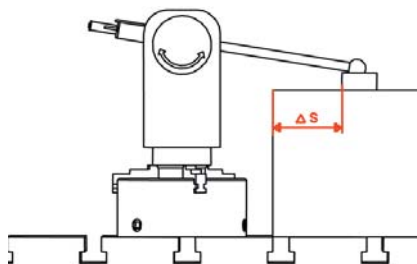


Rys. 4. Sprawdzenie dokładności pomiaru kąta i promienia VB z wykorzystaniem pryzmy: a – budowa stanowiska pomiarowego, b – wyniki pomiaru kąta, c – wyniki pomiaru promienia

3.2 Pomiary ze stolikiem krzyżowym

Na stoliku krzyżowym zamocowano uchwyt magnetyczny. Ustawiono uchwyt w płaszczyźnie pomiarowej VB i następnie dojeżdżano do kolejnych punktów pomiarowych (0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm i 20 mm), wykorzystując drugą oś stolika. Aby uniknąć ewentualnych luzów zwrotnych, na punkty pomiarowe najeżdżano zawsze z tej samej strony.

a)



b)

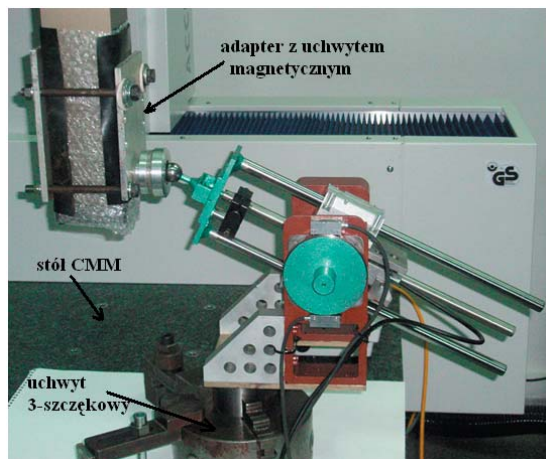
Sample	Count	Mean	Sigma
P0	20	4.4798	4.4465
P5	20	-1.21445	4.64654
P10	20	-4.0072	4.09446
P15	19	4.61337	2.76314
P20	19	2.76597	4.45052
	98	1.27929	5.31457

Rys. 5. Badanie dokładności VB z wykorzystaniem stolika krzyżowego: a – schemat pomiaru, b – wyniki pomiarów dla kolejnych punktów pomiarowych (count – liczba próbek, mean – wartość średnia w μm , sigma – odchylenie standardowe w μm)

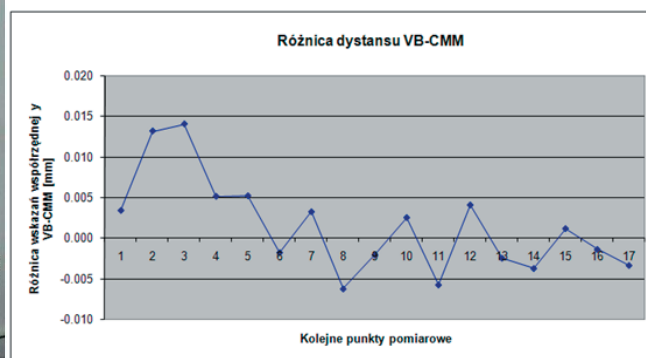
3.2 Badania na CMM

Kolejny test miał na celu określenie stałych wartości geometrycznych pręta wektorowego oraz określenie dokładności pomiarów. Wymagane parametry oraz możliwości pomiarowe, uwzględniające specyfikę opracowanego rozwiązania, posiadają współrzędnościowe maszyny pomiarowe (CMM). Badania przeprowadzono w laboratorium Zeiss na maszynie Calypso, umożliwiającej określenie położenia punktu w przestrzeni 3D z dokładnością $\pm 1,4 \mu\text{m}$.

a)



b)



Rys. 6. Test VB na współrzędnościowej maszynie pomiarowej: a – zamocowanie VB do kolumny CMM za pomocą adaptera, b – przykładowe wyniki pomiaru dla ruchu poziomego CMM

Cechą charakterystyczną rozwiązań prototypowych jest konieczność opracowywania nowych procedur pomiarowych, bazujących na dostępnych procedurach wzorcowych i strategiach pomiarowych, dzięki którym możliwe będzie określenie zdolności konkretnego systemu pomiarowego. Testy VB na współrzędnościowej maszynie pomiarowej polegały na zastąpieniu głowicy stykowej CMM specjalnym adapterem, który umożliwiał zmiany położenia przegubu kulistego VB. Zmiany te były rejestrowane przez układ pomiarowy CMM oraz tor pomiarowy pręta wektorowego. Maksymalna różnica wskazań VB-CMM określiła dokładność nowego urządzenia ($\pm 10 \mu\text{m}$) [5].

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opracowana nowa metoda pomiaru charakteryzuje się dużą uniwersalnością, gdyż umożliwia przeprowadzenie statycznych i dynamicznych testów obrabiarek. Pozwala więc na określanie dokładności i powtarzalności pozycjonowania oraz dynamicznych właściwości i charakterystyk napędów.

Wykonanie testów sprawdzających charakterystyczne parametry urządzenia było o tyle trudne, iż dla prototypowych rozwiązań tego typu nie ma gotowych metod i procedur testujących. Istniejące procedury można traktować tylko jako pewne wzorce, zaś wyznacznikiem są tylko charakterystyczne wartości, które należy w tych testach określić. Należą do nich m.in. stabilność pomiarów, dokładność i powtarzalność. Rozdzielczość pomiaru wynika w przypadku pręta wektorowego z rozdzielczości dwóch wykorzystanych enkoderów. Przeliczając stałe rozdzielczości enkoderów z biegunowego układu współrzędnych na układ kartezjański (gdyż

w takim układzie pracują np. obrabiarki NC) okazuje się, iż rozdzielczość pomiaru jest zmienna (gdyż rozdzielczości osi biegunowych VB należy rzutować na osie kartezjańskiego układu współrzędnych). Rozdzielczość w najmniej korzystnym przypadku wynosi $0,5\text{ }\mu\text{m}$ dla osi X oraz $0,25\text{ }\mu\text{m}$ dla osi Z (pomiar kąta realizowany z rozdzielczością $0,41$ sekundy kątowej, pomiar przemieszczeń liniowych z rozdzielczością $0,5\text{ }\mu\text{m}$).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Zawistowski J., Sałaciński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z metrologii*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2005.
- [2] Białas S., *Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1999.
- [3] Renishaw, *Performance measuring system*, Renishaw, UK 2005.
- [4] Weikert S., *R-Test, a New Device for Accuracy Measurements on Five Axis Machine Tools*, CIRP ANNALS 2004, Volume 53/1-2004
- [5] Wypysiński R., *Nowa metoda badania dokładności maszyn NC*, Konferencja Naukowo – Techniczna Doktorantów i Młodych Naukowców, Warszawa 22–24 września 2008.