

# Ustawianie maszyny sterowanej numerycznie

Witold Habrat, Roman Wdowik

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zagadnienie ustawiania maszyn sterowanych numerycznie. Opisano ręczne i automatyczne metody pomiarowe, których celem jest wyznaczenie punktu(ów) zera przedmiotu obrabianego oraz określenie wymiarów narzędzi obróbkowych. Zaproponowano definicje podstawowych pojęć związanych z ustawianiem maszyn CNC oraz przedstawiono ideę określania korekcji narzędzi. Zaproponowano podejście do ustawiania maszyn sterowanych numerycznie, które przekłada się na uzyskiwaną dokładność wymiarowo-kształtową wykonywanych części

**Słowa kluczowe:** ustawianie maszyn CNC, głowice pomiarowe, układy współrzędnych maszyn CNC

## 1. Wprowadzenie

Ustawianie maszyny sterowanej numerycznie (CNC) to ogół czynności wykonywanych w celu przygotowania takiej maszyny do realizacji określonych zadań technologicznych. Ustawianie maszyny dzieli się na uzbrajanie maszyny, które obejmuje m.in. wyposażenie maszyny w narzędzia, montaż oprzyrządowania technologicznego i ustawienie (ustalenie i zamocowanie) przedmiotu obrabianego oraz na określenie przesunięć punktu zerowego, które polega na wyznaczeniu wektora (wektorów) przesunięcia punktu zerowego, a wykonywane jest w celu wyznaczenia niezbędnych do uruchomienia programu układów współrzędnych i wymiarów narzędzi (rys. 1).



Rys.1. Etapy ustawiania maszyny CNC

Fig. 1. CNC machine setup stages

Zakres czynności obejmujących **uzbrajanie maszyny sterowanej numerycznie** zależy głównie od możliwości technologicznych maszyny oraz od zaleceń zawartych w dokumentacji techniczno-ruchowej. Oprócz wymienionych podstawowych czynności uzbrajania maszyny można w tym zakresie wskazać również montaż specjalnych systemów

bezpieczeństwa, systemów diagnostycznych oraz systemów nadzorujących. Prawidłowe uzbrajanie maszyny CNC ma wpływ przede wszystkim na jakość wykonywanych części, bezpieczeństwo pracy operatora oraz bezawaryjną pracę maszyny. Przy uzbrajaniu należy zwracać szczególną uwagę na właściwe wprowadzenie narzędzi do magazynu lub głowicy rewolwerowej, zgodne z wymaganiami określonymi w instrukcji obsługi, racjonalny dobór i ustawienie przyrządów lub uchwytów obróbkowych oraz należyte ustawienie przedmiotu obrabianego zgodnie z wymaganiami procesu technologicznego.

Wyznaczanie wektora przesunięcia ustalającego punkt zera przedmiotu oraz wyznaczenie wymiarów narzędzi obróbkowych to podstawowe czynności określania przesunięć punktu zerowego. Czynności te mają istotny wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotu obrabianego i są wykonywane zawsze przed uruchomieniem programu sterującego procesem obróbki.

## 2. Definicje pojęć podstawowych

Ze względu na brak jednolitej nomenklatury w zakresie zagadnień będących tematem opracowania, przyjęto na jego potrzeby przedstawione poniżej definicje podstawowe związane z ustawianiem maszyny sterowanej numerycznie.

W celu opisanego ruchu zespołów sterowanych należy zdefiniować punkty charakterystyczne oraz układy współrzędnych maszyny CNC w taki sposób aby uprościć procedury ustawiania maszyny oraz proces programowania. Definiowane punkty i układy związane są z obrabiarką, przedmiotem obrabianym oraz narzędziem (rys. 2).

**Baza stała maszyny** – położenie wszystkich maszynowych osi sterowanych, w którym odtwarzany jest układ współrzędnych maszyny. Położenie to zostaje osiągnięte podczas procedury bazowania maszyny.

**Bazowanie maszyny CNC** – procedura, której celem jest określenie układu współrzędnych maszyny w wyniku doprowadzenia osi sterowanych do bazy stałej maszyny.

**Położenie zerowe maszyny** – położenie maszynowych osi sterowanych ściśle określone względem bazy stałej maszyny, dla którego określa się układ współrzędnych maszyny. Położenie zerowe maszyny może być określone poza zakresem ruchu osi maszynowych.

**Punkt zera maszyny (M)** – umowny punkt, utożsamiany najczęściej z położeniem punktu bazowego narzędzia względem układu współrzędnych maszyny w położeniu zerowym maszyny.

**Układ współrzędnych maszyny** – układ współrzędnych o początku w punkcie zera maszyny, który określa kierunki oraz zwroty maszynowych osi sterowanych numerycznie.

**Punkt zera przedmiotu obrabianego (W)** – umowny punkt związany z przedmiotem obrabianym, narzucony przez technologa lub programistę, wyznaczany przez operatora względem baz ustalających przedmiot. Punkt ten jest początkiem układu współrzędnych przedmiotu.

**Układ współrzędnych przedmiotu** – układ współrzędnych o początku w punkcie zera przedmiotu obrabianego, względem którego realizowany jest program sterujący.

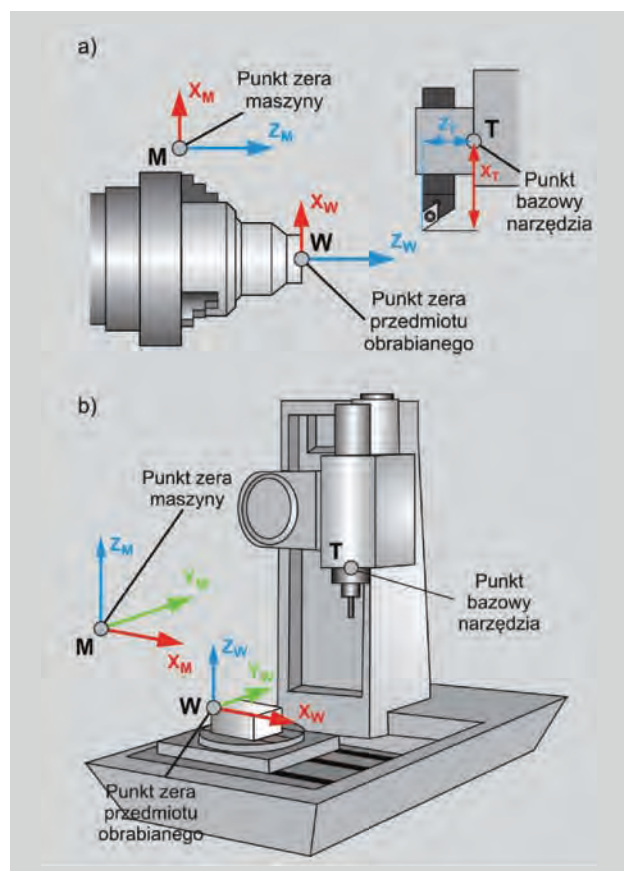
**Punkt zera bieżącego przedmiotu** – punkt, względem którego realizowane są określone fragmenty programu sterującego. Punkt ten może być tożsamy z punktem zera przedmiotu obrabianego lub może być programowo przesuwany w czasie wykonywania programu sterującego. Punkt ten jest początkiem układu współrzędnych zera bieżącego.

**Układ współrzędnych zera bieżącego** – układ współrzędnych o początku w umownym punkcie zera bieżącego przedmiotu.

**Baza pomiarowa** – baza w postaci punktu, krawędzi czy powierzchni, do której można doprowadzić narzędzie wzorcowe lub końcówkę trzpienia pomiarowego, pozwalająca na określenie położenia punktu zera przedmiotu obrabianego w układzie współrzędnych maszyny.

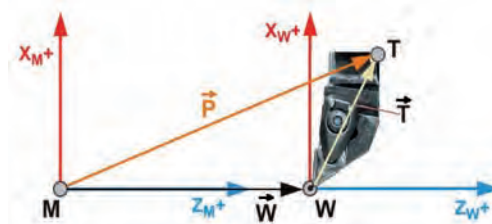
**Punkt bazowy narzędzia (T)** – punkt podstawowy, względem którego wyznaczone są wymiary narzędzia, związane z głowicą rewolwerową lub wrzecionem.

**Punkt ostrza narzędzia (S, K)** – drugi punkt, względem którego wyznaczone są wymiary narzędzia. Dla narzędzi tokarskich przyjmowany jest najczęściej w punkcie środka



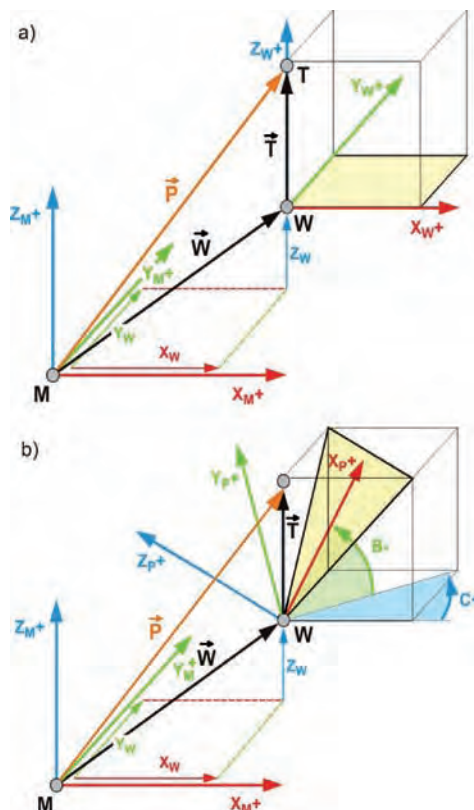
**Rys. 2.** Podstawowe punkty charakterystyczne oraz układy współrzędnych związane z maszyną CNC: a) tokarka, b) frezarka

**Fig. 2.** Main points and coordinate systems connected with CNC machine: a) turning machine, b) milling machine



**Rys. 3.** Schemat ideowy określania przesunięć punktu zerowego dla tokarki 2 osiowej

**Fig. 3.** Idea of zero point shift for 2 axis turning machine



**Rys. 4.** Schemat ideowy określania przesunięć punktu zerowego dla frezarki, a) 3 osiowej, b) 5-osiowej

**Fig. 4.** Idea of zero point shift for milling machine: a) 3 axis, b) 5 axis

promienia zaokrąglenia ostrza (dla programowania z tzw. korektą promieniową) lub w punkcie przecięcia stycznych do promienia zaokrąglenia ostrza, równoległych do osi układu współrzędnych maszyny. Dla narzędzi obrotowych definiowany jest w osi obrotu narzędzia.

**Wyznaczenie wektora przesunięcia zera P** – wyznaczenie wartości wpisu do rejestru układu CNC składowych wektora W oraz wymiarów narzędzia w postaci składowych wektora T (rys. 3, 4). Wyznaczanie wektora przesunięcia zera można opisać zależnością:

$$P = W + T \quad (1)$$

**Rejestry układu CNC** – bazy danych w układzie sterowania numerycznego, z których odczytywane są informacje konieczne do prawidłowego sterowania procesem obróbki. Podstawowe rejestry to tablica **wektorów przesunięć**



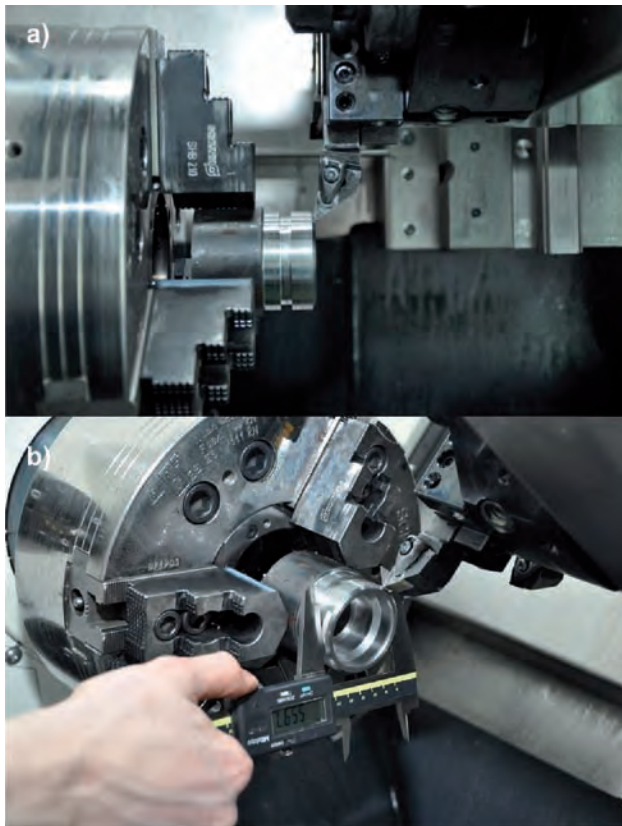
ustalających punkt zera przedmiotu (składowe wektora  $W$ ) i tablica korektorów narzędziowych, do których wpisywane są wyznaczone wymiary narzędzi w postaci składowych wektora  $T$  oraz inne dane charakteryzujące narzędzia.

**Program pomiarowy** – sparametryzowany program sterujący opracowany jako tzw. program wysokiego poziomu, wykorzystywany do określenia przesunięć punktu zerowego z wykorzystaniem głowic pomiarowych lub kalibracji systemu pomiarowego. Sposób opracowania programu pomiarowego w odniesieniu do jego struktury i formatu bloków zależy od specyficznych cech programowania układu sterowania numerycznego.

### 3. Pomiary ręczne i automatyczne

W celu określenia wpisów do rejestrów układu CNC stosowane mogą być pomiary ręczne oraz automatyczne. Podczas stosowania pomiarów ręcznych (rys. 5, 6) wyznaczanie wartości wpisów do rejestrów odbywa się przy wykorzystaniu narzędzi obróbkowych, trzpieni wzorcowych, czujników pomiarowych, płytek wzorcowych itp.

Dla metod automatycznych (rys. 7, 8) wpisy do rejestrów wyznaczane są za pomocą systemów pomiarowych, gdzie główną rolę odgrywają głowice pomiarowe i bramki laserowe



**Rys. 5.** Przykłady pomiarów ręcznych: a) wyznaczanie wymiaru narzędzia tokarskiego w osi  $Z$  przez doprowadzenie punktu ostrza  $K$  narzędzia do bazy pomiarowej przedmiotu, b) wyznaczanie wymiaru narzędzia tokarskiego w osi  $X$  przez doprowadzenie punktu ostrza  $K$  narzędzia do bazy pomiarowej w postaci walca o znanej średnicy

**Fig. 5.** Examples of manual measuring techniques: a)  $Z$  face measurement, b)  $X$  diameter measurement by the contact with defined cylinder diameter



**Rys. 6.** Przykłady pomiarów ręcznych- wyznaczanie punktu zera przedmiotu: a) czujnikiem krawędziowym, b) czujnikiem dźwigienkowym, c) narzędziem

**Fig. 6.** Manual measuring techniques- zero point setting: a) with 3D edge finder, b) with dial test indicator, c) with tool

we. Wyróżnić należy tutaj głowice do pomiaru przedmiotu obrabianego oraz głowice do pomiaru narzędzi obróbkowych, jak również bramki laserowe do pomiaru narzędzi.

Do podstawowych zadań do jakich może być stosowana głowica do pomiaru przedmiotu obrabianego należą:

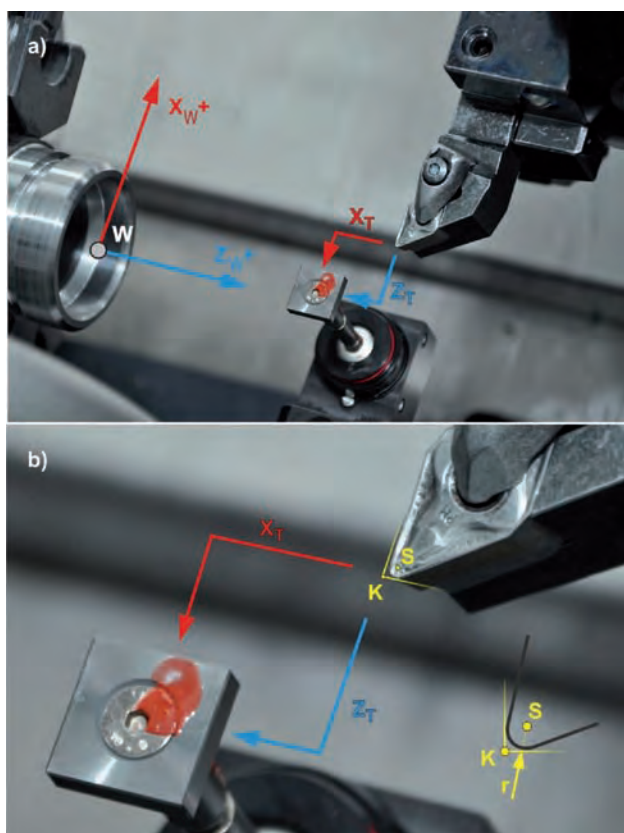
- wyznaczanie punktów zera przedmiotu,
- pomiar przedmiotu przed obróbką (wyznaczenie rzeczywistych wymiarów półfabrykatu),
- pomiar przedmiotu po obróbce lub między zabiegami obróbkowymi.

Głowice do pomiaru narzędzi służą głównie do wyznaczania wymiarów narzędzi obróbkowych tj. do wyznaczania składowych wektora  $T$ , promienia oraz zużycia. W przypadku tokarek głowice te występują najczęściej w postaci ramienia pomiarowego, natomiast na frezarkach stosuje się głównie głowice stykowe (rys. 8a) lub bramki laserowe (rys. 10e).

W przypadku tokarek CNC w zależności od producenta maszyny i układu sterowania numerycznego należy zwrócić uwagę na dwie odmienne metody pomiaru położenia w osi  $X$ , tj. na średnicowy pomiar położenia w osi  $X$  oraz promieniowy pomiar położenia w osi  $X$  (rys. 9).

Średnicowy pomiar położenia w osi  $X$  charakteryzuje się dwukrotnie większą wartością bezwzględną zmiany wartości współrzędnej maszynowej podczas przemieszczania głowicy w osi  $X$  od drogi jaką przebył punkt bazowy narzędzia w osi  $X$ . Dla promieniowego pomiaru położenia, fizyczne przemieszczenie głowicy w osi  $X$  równe jest wartości bezwzględnej zmiany wartości współrzędnej maszynowej w osi  $X$ .

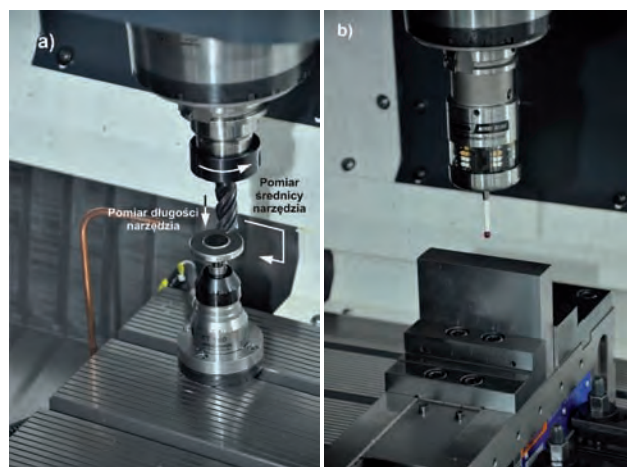
Podczas określania przesunięć punktu zerowego należy zwrócić również uwagę na sposób określania wektorów



**Rys. 7.** Przykład automatycznego wyznaczania wymiarów narzędzia na tokarce: a) przedmiot i głowica pomiarowa, b) punkty ostrza narzędzia

**Fig. 7.** Example of automatic tool offset setting on turning machine: a) workpiece and measuring head, b) insert points

W i T. Wektory te definiowane są zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 3 i 4 lub niekiedy jako wektory o zwrotach przeciwnych W' i T'. Skutkuje to wpisem do rejestru wartości przeciwnych składowych wektora (ze znakiem minus) do wartości zdefiniowanych zgodnie z ideą przedstawioną na rys. 3 i 4.



**Rys. 8.** Przykłady pomiarów automatycznych na frezarce: a) pomiar średnicy (promienia) i długości narzędzia, b) wyznaczanie punktu zera przedmiotu

**Fig. 8.** Examples of automatic measuring techniques on milling machine: a) diameter (radius) and length setting, b) zero point setting

Przykładowo:

$$W' = (-x, -y, -z) \quad (2)$$

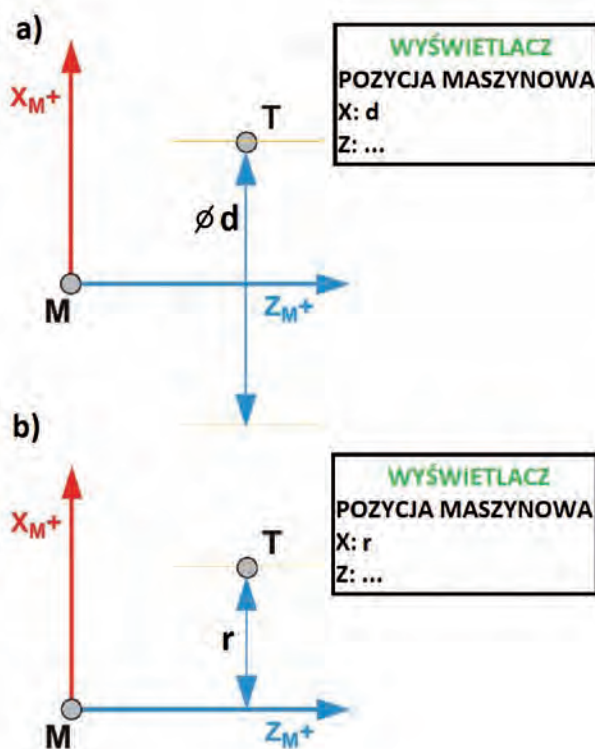
gdzie  $x, y, z$  – wartości rzutów składowych wektora  $W$  na osie  $X_m, Y_m, Z_m$

$$T' = (-x_t, -z_t) \quad (3)$$

gdzie  $x_t, z_t$  – wartości rzutów składowych wektora  $T$  na osie  $X_m, Z_m$

Rozpatrując określanie przesunięć punktu zerowego, które jest częścią ustawiania maszyny CNC należy zwrócić uwagę na możliwość wykonania poszczególnych czynności na maszynie CNC lub poza maszyną. Wyznaczenie wektora przesunięcia ustalającego punkt zera przedmiotu najczęściej odbywa się po zamocowaniu przedmiotu w uchwycie na maszynie, chociaż w pewnych przypadkach może być wykonane poza obrabiarką (np. jeśli uchwyt mocowany jest względem ściśle określonej na maszynie bazy pomiarowej, której położenie zostało już wcześniej wyznaczone). Wyznaczanie wymiarów korekcyjnych narzędzi może odbywać się poza maszyną z wykorzystaniem ustawiaków ręcznych wyposażonych w specjalne gniazda narzędziowe oraz czujniki pomiarowe lub z wykorzystaniem ustawiaków sterowanych numerycznie lub również na maszynie po uzbrojeniu głowicy rewolwerowej lub magazynu narzędziowego.

Możliwości w zakresie wykorzystania metod ręcznych lub zautomatyzowanych określane są zwykle podczas zakupu sys-



**Rys. 9.** Pomiar położenia maszynowego na tokarce CNC: a) średnicowy pomiar położenia w osi X, b) promieniowy pomiar położenia w osi X

**Fig. 9.** Machine X position on turning center: a) diametral definition of X machine position, b) radial definition of X machine position



temów pomiarowych do obrabiarki sterowanej numerycznie. Ze względu na większe koszty zakupu i instalacji urządzeń do pomiarów automatycznych, w porównaniu do zakupu podstawowych narzędzi pomiarowych takich jak czujniki, płytki wzorcowe, itp. wiele firm produkcyjnych stosuje metody ręczne nie ponosząc dodatkowych kosztów.

#### 4. Kalibracja głowic pomiarowych

Prawidłowe zastosowanie głowic pomiarowych możliwe jest po przeprowadzeniu procedury kalibracji systemu pomiarowego. Na system pomiarowy składają się głowica pomiarowa, odbiornik oraz obrabiarka sterowana numerycznie. Kalibracja systemu pomiarowego polega na dostosowaniu go do właściwego funkcjonowania w warunkach pomiaru na określonej maszynie sterowanej numerycznie.

Należy wyróżnić kalibrację głowic do pomiaru przedmiotu obrabianego (rys. 10a–d) oraz kalibrację głowic do pomiaru narzędzia (rys. 10e). Czynności wykonywane w ramach procedur kalibracji są z reguły bardzo podobne dla danego typu głowicy. Należy jednak zwrócić uwagę na różnice wynikające z charakterystyki oraz zasad obsługi określonego układu sterowania numerycznego, do którego zapisywane będą dane z procesu kalibracji umożliwiające późniejszy właściwy pomiar, jak również na specyficzne cechy budowy systemu pomiarowego i warunki jego instalacji na maszynie sterowanej numerycznie.

Dla głowic do pomiaru przedmiotu procedura kalibracji polega głównie na:

- reżymnym zredukowaniu bicia promieniowego końcówki trzpienia pomiarowego przy obrocie wrzeciona – jeśli głowica instalowana jest do wrzeciona (stosowane są tutaj głównie czujniki pomiarowe dźwigienkowe z podziałką 0,001 lub 0,002 mm),

- ustaleniu wymiarów korekcyjnych głowicy – długości głowicy, promienia kulki rubinowej, a dla zastosowań na tokarce gdzie głowica mocowana jest w głowicy rewolwerowej także wymiaru w osi X.

Dla głowic do pomiaru narzędzi na procedurę kalibracji składają się następujące czynności:

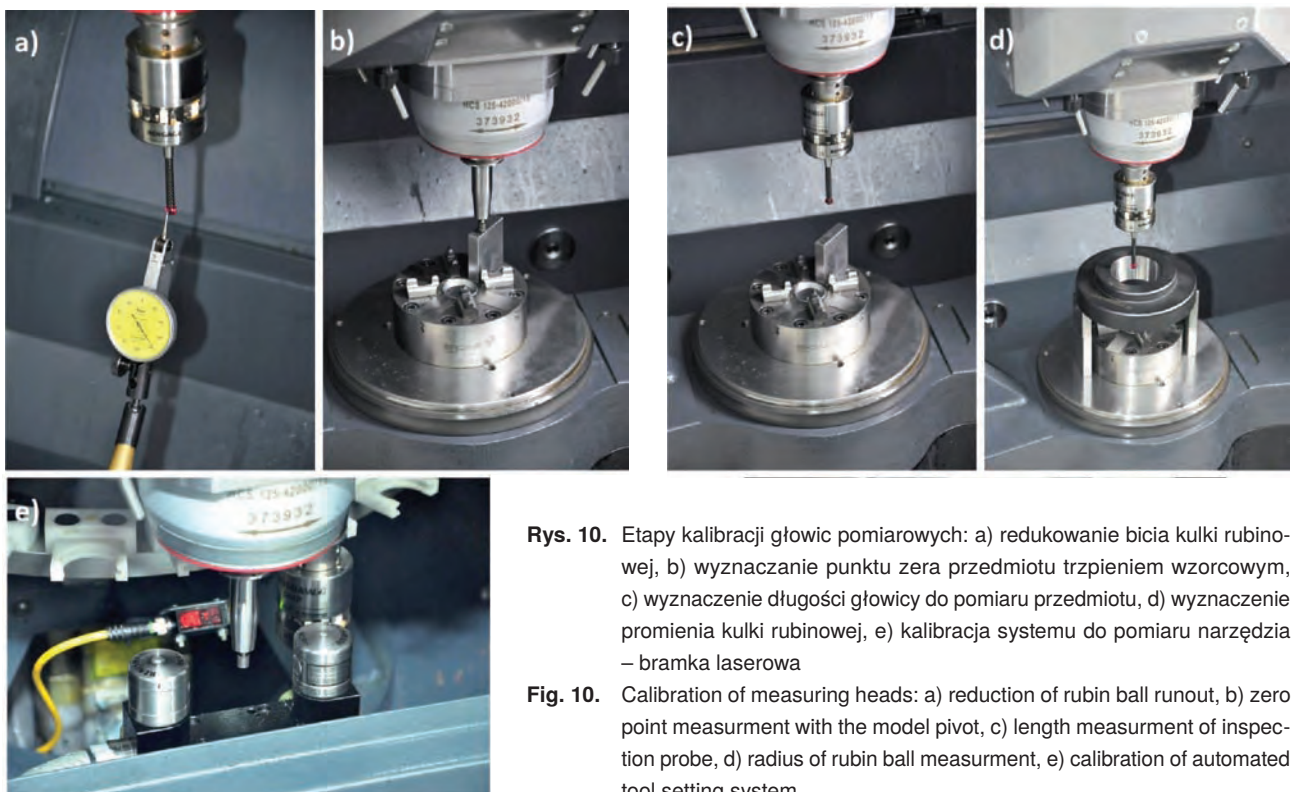
- instalacja głowicy na maszynie,
- określenie położenia głowicy w układzie współrzędnych maszyny, w celu umożliwienia automatycznego pozycjonowania narzędzia do pomiaru.

Instalacja głowicy na maszynie mieści się w zakresie ręcznych czynności obsługowych operatora, natomiast pozostałe czynności wykonywane są na podstawie programu pomiarowego.

#### 5. Wnioski

Pomiary ręczne cechuje przede wszystkim mniejsza dokładność oraz powtarzalność pomiaru. Z tego powodu narzędzia obróbkowe mierzone ręcznie, stosowane do określonych zabiegów w ramach jednej operacji technologicznej zmierzone są z większą niepewnością pomiaru niż narzędzia mierzone automatycznie.

Ustawianie ręczne wprowadza zatem mniejszą dokładność pozycjonowania osi maszyny w trybie ruchów ręcznych przed zapisem danych do rejestrów niż ustawianie automatyczne na podstawie programu pomiarowego w trybie pracy układu sterowania umożliwiającym wykonanie pomiaru. Fakt ten dla ustawiania ręcznego wyniku przede wszystkim z mniejszej precyzji pozycjonowania osi przed zapisem przesunięć punktu zerowego przez operatora obrabiarki w porównaniu do precyzji pomiaru opartego o głowice pomiarowe.



**Rys. 10.** Etapy kalibracji głowic pomiarowych: a) redukcja bicia kulki rubinowej, b) wyznaczenie punktu zera przedmiotu trzpieniem wzorcowym, c) wyznaczenie długości głowicy do pomiaru przedmiotu, d) wyznaczenie promienia kulki rubinowej, e) kalibracja systemu do pomiaru narzędzia – bramka laserowa

**Fig. 10.** Calibration of measuring heads: a) reduction of rubin ball runout, b) zero point measurement with the model pivot, c) length measurement of inspection probe, d) radius of rubin ball measurement, e) calibration of automated tool setting system

Istotnym problemem przy porównaniu omawianych metod pomiaru jest również jego czas. Dla metod ręcznych zauważa się wydłużenie czasu ustawiania oraz zmienne podejście do ustawiania przy wykonywaniu kolejnych pomiarów, które należy rozumieć jako brak odtwarzalności pomiaru. Przede wszystkim należy wymienić tutaj zmienne czasy pozycjonowania przy pomiarze, zmienne tory doprowadzania narzędzia do punktu, w którym następuje zapis korekcji, ewentualnie zmienną metodykę pomiaru.

Przy pomiarze przedmiotu spotyka się ustalone przez programistę punkty zerowe, których wyznaczenie za pomocą głowicy do pomiaru przedmiotu jest niemożliwe lub utrudnione np. zero przedmiotu ustalone przez programistę w środku otworu o średnicy mniejszej od średnicy kulki rubinowej znajdującej się na trzpieniu pomiarowym głowicy. Wtedy należy zastosować inną metodę pomiaru np. pomiar ręczny z wykorzystaniem czujnika dźwignikowego.

## Bibliografia

1. Black S.C., Chiles V., Lissaman A.J., Martin S.J.: *Principles of engineering manufacture*. Butterworth-Heinemann. An imprint of Elsevier Science, 1996, 219–226.
2. Nikiel G.: *Podstawy obsługi i programowania obrabiarek CNC*. Opracowanie niepublikowane. Bielsko-Biała 2008.
3. Habrat W.: *Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Podręcznik operatora*. KaBe, Krosno 2007.
4. Honczarenko J.: *Obrabiarki sterowane numerycznie*. WNT, Warszawa 2007.
5. [www.heidenhain.pl/pl\_PL/produkty-i-aplikacje/instalacja-i-pomiary/sondy-pomiarowe/] – Instalacja i pomiary: Sondy pomiarowe – HEIDENHAIN.
6. [www.marposs.com] – MARPOSS gauging equipment for dimensional inspection & geometric inspection.
7. [www.mh-inprocess.com] – m&h Inprocess Messtechnik GmbH.

8. [www.renishaw.pl] – Renishaw: sondy stykowe, przetworniki kąta obrotu, położenia liniowego i kąтового, kalibracja laserowa, stomatologiczne systemy CAD/CAM, spektroskopia ramanowska oraz roboty chirurgiczne. ■

## CNC machine setup

**Abstract:** The paper presents problems connected with CNC machines setup, mainly describes manual and automated measuring techniques for zero point and tool offsets setting. The paper defines and systematizes the basic concepts, shows zero point transformation idea and suggests correct setup techniques.

**Keywords:** CNC machine setup, probing systems, coordinate systems

### dr inż. Witold Habrat

Adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z automatyzacją procesów technologicznych, a w szczególności sterowaniem numerycznym obrabiarek.

e-mail: witekhab@prz.edu.pl



### mgr inż. Roman Wdowik

Asystent na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z technologią wytwarzania na maszynach CNC.

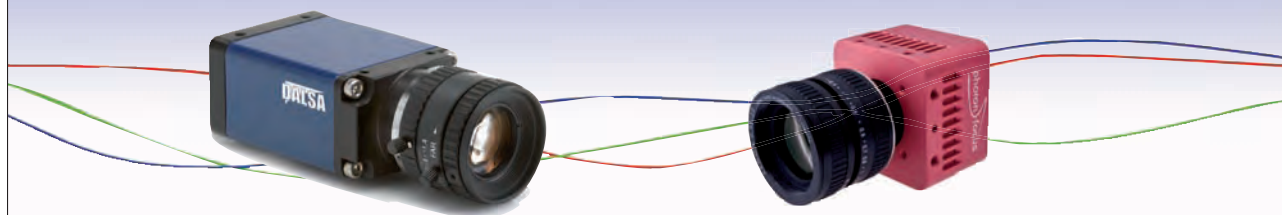
e-mail: rwdowik@prz.edu.pl



REKLAMA ▼

# Twój partner w systemach wizyjnych

Kamery - Obiektywy - Oświetlacze - Oprogramowanie - Akcesoria - Szkolenia



www.parameter.pl | +48 664 921 922 | sales@parameter.pl

